



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Информационных технологий и систем безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Бакалавр)

На тему Автоматизированная система мониторинга шума и вибрации судовых энергетических установок

Исполнитель Харина Елена Игоревна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук
(ученая степень, ученое звание)

Жуков Владимир Анатольевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор технических наук
(ученая степень, ученое звание)

Бурлов Вячеслав Георгиевич
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Информационных технологий и систем безопасности

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой

_____ Бурлов В.Г.

«__» _____ 202__ года

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

студенту _____ Хариной Елене Игоревне _____
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема «Автоматизированная система мониторинга шума и вибрации судовых энергетических установок»

закреплена приказом ректора Университета от «__» _____ 20__ года, № _____.

2. Срок сдачи законченной работы «__» _____ 20__ года.

3. Исходные данные к работе

3.1. Перечень контролируемых параметров шума и вибрации судовых энергетических установок

3.2. Технические характеристики датчиков шума и вибрации

3.3. Нормативно-правовые документы создания систем автоматизации СЭУ.

4. Основные вопросы, подлежащие разработке (краткое содержание ВКР)

- Анализ совершенствования мониторинга объектов морской техники в процессе эксплуатации;
- Анализ контрольно-измерительных приборов для контроля шума и вибрации в элементах СЭУ;
- Разработка автоматизированной системы мониторинга шума и вибрации судовых энергетических установок.
- Составление технико-экономического обоснования разработки системы мониторинга.

5. Перечень материалов, представляемых к защите:

- ВКР (пояснительная записка);
- отзыв руководителя;
- заключение о проверке работы в системе «Антиплагиат»;
- иллюстративный материал (плакаты, слайды, таблицы, схемы, графики).

6. Дата выдачи задания: «__» _____ 20__ года

Руководитель выпускной квалификационной работы
профессор, д.т.н, доцент Жуков Владимир Анатольевич

(должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество) (подпись)

Задание принял к исполнению «__» _____ 20__ года

Студент Харина Елена Игоревна КВ-Б19-2 _____
(фамилия, имя, отчество, учебная группа) (подпись)

Реферат

Дипломная работа: 64 страниц, 26 рисунков, 20 источников литературы.

Объект исследования: система мониторинга шума и вибрации газотурбинного двигателя.

Предмет исследования: определение основных параметров вибрации и выявление основных неисправностей газотурбинных двигателей.

Цель работы: разработка системы мониторинга шума и вибрации газотурбинных двигателей, позволяющая обнаруживать дефекты, когда они находятся на ранней стадии развития.

В дипломной работе производится анализ необходимости мониторинга судовых энергетических установок, рассмотрены подходы к разработке систем мониторинга. Разработана схема системы мониторинга, предложено программное и аппаратное обеспечение.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1: ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, УСТРОЙСТВО И НЕИСПРАВНОСТИ.....	8
1.1. Структура СЭУ.....	8
1.2. Принцип действия газовой турбины и ее основные элементы	13
1.3. Основные неисправности ГТУ	19
1.4. Методы вибродиагностики	23
1.5. Нормы вибрации	33
ГЛАВА 2: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА.....	35
2.1. Характеристика вибродиагностического контроля.....	35
2.2. Формирование требований к системе мониторинга судовой ГТУ	36
2.3. Формирование структурной схемы системы	40
2.4. Обоснование выбора средств контроля.....	46
2.5. Выбор мест расположения датчиков	50
ГЛАВА 3: ПРОГРАММНОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ	53
3.1. Использование ЭВМ для определения причин вибрации механизмов.....	53
3.2. Программное обеспечение системы мониторинга	54
3.3. Технико – экономическое обоснование автоматизированной системы мониторинга.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	65

ВВЕДЕНИЕ

В 2022 году в Российской Федерации была принята Морская доктрина (утверждена президентом РФ 31 июля 2022 года) – документ стратегического планирования, определяющий государственную политику Российской Федерации в области морской деятельности – национальную морскую политику РФ. В доктрине прописано приоритетное значение как гражданского, так и военного судостроения.

Также в России принята Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года.

Эти документы ставят конкретные задачи перед судостроительной промышленностью РФ по наращиванию судового и корабельного состава гражданского и военного флотов.

В советской и российской кораблестроительной школе в качестве главной энергетической установки широко использовались газотурбинная установка (ГТУ). Наряду с паросиловыми и дизельными ЭУ они занимали значительный сегмент корабельного состава надводного флота СССР, а позднее и России.

До 2014г. практический весь парк ГТУ для кораблей ВМФ ВС РФ поставлялся заводами, расположенными на территории Украины, где они исторически размещались при СССР. Однако с 2020 года «Объединённая двигателестроительная корпорация» Госкорпорации Ростех начала поставку ГТУ для кораблей ВМФ.

В связи с этим, актуальность данной дипломной работы обусловлена возрождением отечественного производства судовых газовых турбин и их установкой на корабли Военно–морского флота ВС РФ. Корабельный состав ВМФ ВС РФ, оснащенный главной энергетической установкой газотурбинного типа, будет количественно расти, что в свою очередь, требует внедрения эффективной системы мониторинга для повышения надежности и безопасности эксплуатации газотурбинного двигателя. Такой системой выступает система вибромониторинга, которая при контроле только вибрационных параметров

может предотвратить серьёзные неисправности, приводящие к полной поломке двигателя.

Создание системы мониторинга газотурбинного двигателя, которая будет следить за вибрационными параметрами рабочего процесса двигателя, помогла бы обнаруживать дефекты в основных элементах двигателя, когда они находятся на ранней стадии развития.

Проблема: повышенные требования к надежности и безопасности при эксплуатации газотурбинного двигателя.

Цель исследования: разработка системы мониторинга газотурбинного двигателя, которая предотвращает возможность появления серьезных неисправностей.

Объект исследования: система мониторинга газотурбинных двигателей.

Предмет исследования: определение основных вибрационных параметров и выявление основных неисправностей газотурбинного двигателя.

Задачи:

1. Изучение устройства судового газотурбинного двигателя;
2. Определение основных вибрационных параметров двигателя;
3. Определение основных дефектов различных элементов газотурбинного двигателя, которые могут быть обнаружены с помощью вибромониторинга;
4. Определение основных методов выявления неисправностей;
5. Выбор устанавливаемых датчиков на двигатель для сбора информации;
6. Выбор аппаратного и программного обеспечения;
7. Разработка схемы системы мониторинга двигателей.

Структура выпускной квалификационной работы включает: содержание, введение, три главы, заключение, список использованной литературы.

Во введении обоснована актуальность заявленной темы, определены объект и предмет исследования, цели и задачи.

Первая глава содержит основные сведения о неисправностях ГТД и методы их выявления. В первом параграфе рассматриваются основные элементы судовой энергетической установки. Во-втором параграфе

представлены основные элементы ГТД и принцип работы. В третьем параграфе описаны основные неисправности ГТД. В четвертом параграфе описаны методы вибродиагностики. В пятом параграфе описаны нормы вибрации.

Вторая глава нацелена на проектирование системы мониторинга газотурбинного двигателя. В первом параграфе дается основная характеристика вибродиагностического контроля. Второй параграф направлен на формирование требований системе мониторинга. Третий параграф посвящен разработке принципиальной схемы системы мониторинга. В четвертом параграфе представлен обоснованный выбор средств контроля. В пятом параграфе описано расположение средств контроля.

Третья глава описывает основные задействованные программные и аппаратные средства. Первый параграф третьей главы посвящен обоснованию выбора ЭВМ для определения причин вибрации механизмов. Вторым параграфом посвящён выбору программного обеспечения системы вибромониторинга. В третьем параграфе представлено технико – экономическое обоснование разработанной системы.

ГЛАВА 1: ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, УСТРОЙСТВО И НЕИСПРАВНОСТИ

1.1. Структура СЭУ

Судовая энергетическая установка – это комплекс взаимосвязанных элементов, которые служат для сообщения хода судну, выработки механической, тепловой, электрической энергии, для обеспечения безопасного и эффективного функционирования судна и для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности экипажа и пассажиров.

СЭУ предназначено для выполнения таких задач как:

- обеспечение электроснабжения всех механизмов, включая освещение, навигационные приборы, автоматизацию и другие;
- поддержание температуры на борту, обеспечивая бесперебойность систем контроля температуры воздуха;
- приведение в движение пропульсивных установок, которые выполняют передвижение.

В состав СЭУ входят:

- главная энергетическая установка (ГЭУ) – комплекс технических средств, который обеспечивает движение судна, а также вырабатывает все виды энергии для обеспечения движения судна с заданной скоростью;
- вспомогательная энергетическая установка (ВЭУ) – комплекс технических средств, который обеспечивает судно всеми необходимыми видами сред и энергий для нужд связанных и не связанных с движением судна;
- электроэнергетическая система (ЭЭС) – комплекс источников электроэнергии и распределительных устройств, обеспечивающих все потребности судна электроэнергией.

Часть СЭУ, которая обеспечивает движение судна называют главной энергетической установкой, также эту часть называют пропульсивной установкой. Элементы СЭУ, входящие в состав ГЭУ, называются главными. В

зависимости от типа ГЭУ в ее состав могут входить: главные двигатели (дизели, ГТД, главные паровые котлы или парогенераторы и паровые турбозубчатые агрегаты); главные электрогенераторы и главные передачи (механические, электрические и др.); валопроводы, передающие энергию к судовым движителям;

Таким образом, в состав пропульсивной установки входят главный двигатель и его обслуживающие системы и оборудование, валопроводы и гребные винты.

Вспомогательные ЭУ предназначены для выработки любого вида энергии, кроме электрической для обеспечения общесудовых потребителей. К ним относятся рулевые, якорно–швартовные, грузовые устройства, освещение, отопление, вентиляция и установки кондиционирования воздуха в судовых помещениях, противопожарная и другие общесудовые системы.

На рисунке 1.1 показана общая структурная схема судовой энергетической установки.

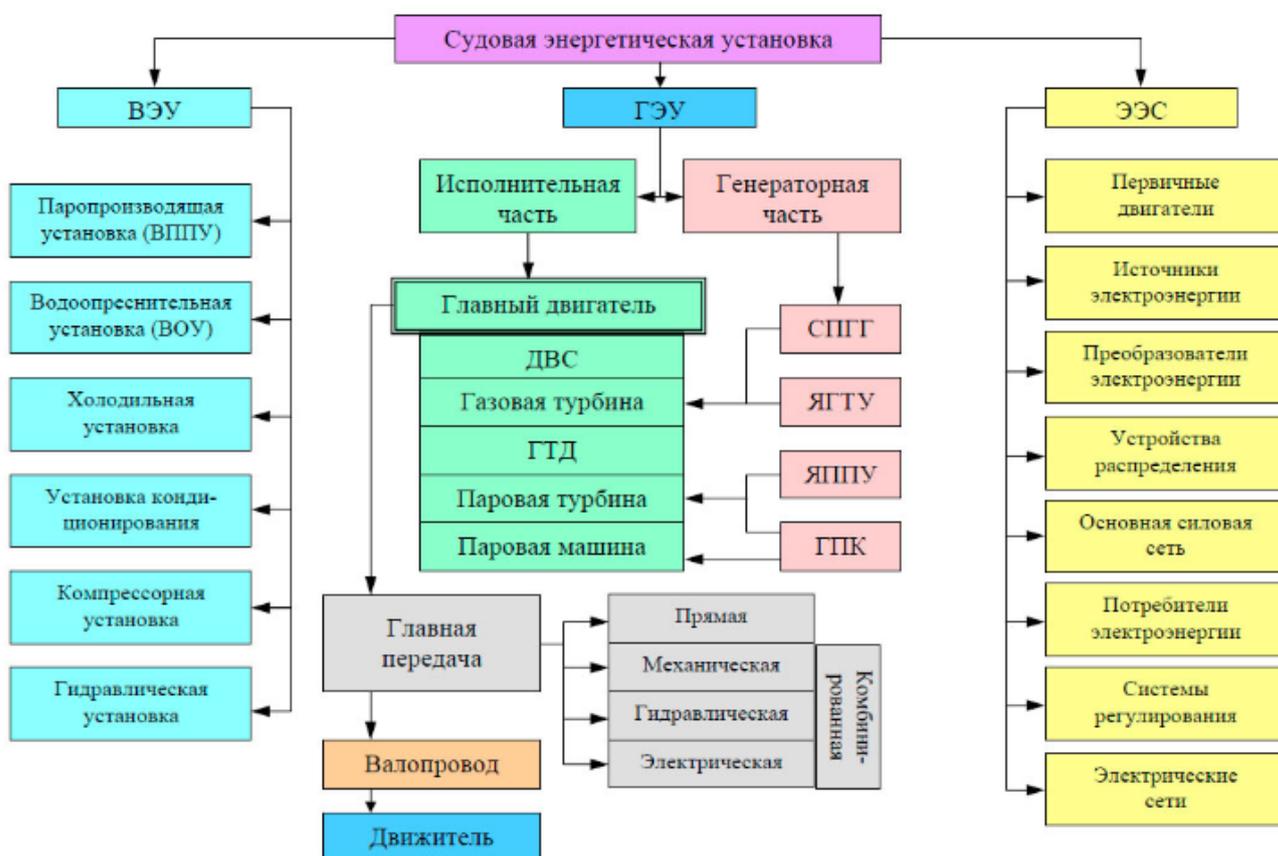


Рисунок 1.1 – Структурная схема СЭУ

Основными типами главных двигателей современных кораблей являются паровые турбины (котлотурбинные и ядерные энергетические установки), дизели и газотурбинные двигатели (ГТД), а также комбинированные энергетические установки.

В качестве генераторной части в различных типах установок могут использоваться:

- свободнопоршневые генераторы газа – СПГГ;
- ядерные газотурбинные установки – ЯГТУ;
- ядерные паропроизводящие установки – ЯППУ;
- главные паровые котлы;

В качестве исполнительной части могут использоваться:

- газовая турбина – в совокупности с СПГГ или ЯГТУ;
- паровая турбина – в совокупности с ЯППУ или главными паровыми котлами;
- паровая машина – в совокупности с главными паровыми котлами.

Механическая энергия, которая вырабатывается главным двигателем, через главную передачу и валопровод передается на движитель.

ГТД могут выступать в качестве главных, так и в качестве вспомогательных энергетических установок.

Главные ГТД имеют мощность от 4 до 20 тысяч киловатт и применяются на кораблях различных классов, таких как ракетные катера, эскадренные миноносцы, большие противолодочные корабли, крейсера и авианосцы. В зависимости от класса на корабле могут быть один или несколько двигателей. Если главных ГТД несколько, то они используются вместе на полной боевой скорости и по отдельности, на пониженных скоростях.

Вспомогательные ГТД используются для привода электрических генераторов мощностью от нескольких десятков до 2 000 кВт. Их называют газотурбогенераторы (ГТГ). Таких ГТГ на корабле может быть несколько. Они

проще по конструкции, чем главные ГТУ, но имеют такие же высокие температуры и давления газа и повышенные частоты вращения. Обычно ГТГ имеют большой ресурс и могут непрерывно работать длительное время без остановки для технического обслуживания. Вспомогательные ГТУ обладают высокой готовностью к действию и поэтому их часто используют для привода не только генераторов тока, но и аварийных средств, например, пожарных или водоотливных насосов.

Газотурбинные двигатели устанавливаются в основном на боевых кораблях. Обычно используют ГТУ двух типов:

- маршевые турбины для обеспечения наиболее экономичного режима режима хода корабля. Используются для повседневной эксплуатации, вход выход в базу, перешвартовки.

- форсажные двигатели для обеспечения максимальной скорости хода корабля.

В связи с тем, что кораблю не всегда нужно иметь максимальную скорость хода и применяются комбинированные силовые установки.

Комбинированные установки используются на кораблях различных классов от ракетных катеров до больших противолодочных кораблей и ракетных крейсеров. Газотурбинные и дизель–газотурбинные энергетические установки (ГТЭУ и ДГТЭУ) обеспечивают кораблю высокие боевые возможности, связанные со значительной полной боевой скоростью, большой автономностью, повышенными запасами боеприпасов из–за минимальных массогабаритных показателей установок и т.п.

Комбинированные установки, в составе которых имеются форсажные ГТД и маршевые ДВС, применяют на противолодочных кораблях, фрегатах, сторожевых кораблях, которым много времени приходится находиться в районе поиска подводных лодок, двигаясь при этом малыми скоростями, а при необходимости на повышенных скоростях выходить в заданный район или точку атаки.

Применение комбинированных силовых установок обусловлено выполнением различных задач боевыми кораблями:

- буксировка корабля;
- сопровождение конвоя;
- погоня за подводной лодкой или кораблем неприятеля;
- уклонение от вражеского оружия.

Основные преимущества ГТУ:

- малый занимаемый объём внутреннего корабельного пространства;
- высокая мощность (больше, чем у дизельных двигателей);
- высокий моторесурс (больше, чем у дизельных двигателей);
- высокая ремонтпригодность;
- лучшее, по сравнению с дизельными ЭУ, соотношение мощности к массе (0,75–0,80 против 1,3–1,5 у дизелей);
- относительная простота в обслуживании (в сравнении с дизельными ЭУ);
- хорошая приспособленность к автоматизации и дистанционному управлению.

Основные недостатки ГТУ:

- низкая экономичность (низкий КПД отсюда повышенный расход топлива);
- высокая шумность;
- рабочие обороты турбины до 8500 – 7500 об/мин, в связи с этим необходимо иметь редуктор, понижающий обороты турбины до необходимых;
- турбины работают только на диз. топливе;
- более высокие требования к топливу.

Отличие ГТУ от ПТУ. Паросиловые установки ПТУ самые малошумные. Сжигая топливо в больших котлах нет шума, как от вращения ротора или рабочих процессов турбин и дизелей, ПТУ имеет самый низкий КПД. Но ПТУ

постепенно отходят на задний план технического прогресса. Потому что в технологическом плане это самый большой комплекс механизмов:

- паровой котел (для получения пара);
- паровая турбина для преобразования энергии пара в кинетическую энергию вращения;
- необходимо иметь опреснительную установку обеспечения работы котлов;
- специальные устройства для утилизации отработанного пара.

Отличия ГТУ от ДВС. ДВС имеет не очень большой ресурс до ремонта, очень мало дизельных двигателей большой мощности, а также более высокое соотношение веса двигателя к его мощности[18].

У ДВС меньшая шумность, возможность работы на мазуте, более простой технологический процесс ремонта, ДВС имеет не столь большие рабочие обороты дизелей, что позволяет работать без редуктора на прямую на винт.

В связи с тем, что объем отработанного воздуха (выхлопных газов) в дизельном двигателе на порядок меньше, чем у турбины, проще установить глушитель после двигателя и добиться значительного снижения акустического уровня работающего двигателя. На турбинах этого добиться очень трудно из-за большого объема выхлопных газов.

Область применения ГТУ довольно обширна. Во-первых, ГТУ широко применяются в качестве главных двигателей самолетов и судов морского флота. Также газовые турбины перспективны как двигатели локомотивов, так как они имеют незначительные габариты и отсутствует потребность в воде[10]. Приводные ГТУ широко используются для привода центробежных нагнетателей природного газа на компрессорных станциях магистральных трубопроводов, а также насосов для транспортировки нефти и нефтепродуктов.

1.2. Принцип действия газовой турбины и ее основные элементы

Основными элементами ГТУ является турбина, компрессор, камера сгорания.

Газовая турбина представляет собой тепловой двигатель, в котором потенциальная энергия газа преобразуется в механическую энергию. Компрессор служит для сжатия газа (воздуха) и повышения его энергии и температуры.

Компрессоры и турбины, которые применяются в ГТУ представляют собой машины, в которых механическая энергия передается рабочему телу в процессе взаимодействия потока газа с лопатками специальной формы, которые, в свою очередь, установлены на вращающемся роторе.

Камера сгорания – это устройство, которое производит подготовку рабочей смеси требуемой температуры за счет химической реакции окисления топлива для последующей ее подачи в проточную часть газовой турбины [1]. В камерах сгорания внутренняя энергия топлива при сжигании преобразуется в потенциальную энергию рабочего тела. В современных ГТУ используется жидкое или газообразное топливо. Для сжигания топлива необходим окислитель. Окислителем служит кислород воздуха.

Другим основным элементом турбомшины является лопаточный аппарат. Он включает направляющие лопатки (сопла), которые размещаются на неподвижном статоре. Сопла преобразовывают потенциальную энергию потока газа в кинетическую, а также придают ему целесообразное направление перед входом на вращающиеся лопатки. Ступенью называется сочетание вращающегося диска и установленными на нем рабочими лопатками. Совокупность отдельных ступеней образует лопаточный аппарат турбомшины [1].

Роторы газовых турбин и компрессоров также являются одними из главных элементов ГТУ. Ротор турбины — это вращающаяся часть турбины, которая состоит из дисков, лопаток, вала. Ротор необходим для преобразования кинетической и потенциальной энергии газового потока в механическую работу

на валу турбины. Лопатки изменяют направление и скорость газового потока, создавая усилие в окружном направлении[17].

Роторы газовых турбин и компрессоров работают в сложных условиях: температура воздуха перед компрессором в зимнее время может снижаться до -50°C , а температура газа перед турбиной быть более 1000°C .

Роторы турбин и компрессоров опираются на опорные подшипники, которые воспринимают их вес. Они воспринимают радиальные нагрузки, которые возникают от собственного веса ротора, его неуравновешенности и расцентровки.

Упорные подшипники воспринимают осевые усилия. Подшипники обеспечивают необходимое положение вращающегося ротора и воспринимают действующие на ротор силы, которые при воздействии газа стремятся сдвинуть ротор в осевом направлении в сторону меньшего давления.

Почти всегда упорный подшипник конструктивно совмещают с одним из опорных подшипников. Такие подшипники называются комбинированными (опорно–упорными).

В ГТУ средней и большой мощности применяются подшипники скольжения, которые долговечны, надежны, хорошо сопротивляются статическим и динамическим нагрузкам. Исключением является только те стационарные и судовые ГТУ, в которых турбокомпрессорами являются авиационные двигатели. У них опорами являются подшипники качения.

Опорный подшипник скольжения – это тип опоры, который наиболее востребован в механизмах с валами, имеющими очень высокую частоту вращения. Подшипник качения в таком случае не подходит, так как центробежные силы вращающиеся оси, воздействуют на шарики или ролики и быстро разрушают деталь[16].

В подшипниках скольжения реализовано трение скольжения, где две поверхности, разделённые третьей средой, перемещаются друг относительно друга. В подшипниках качения реализовано трение качения.

Для надежной работы подшипников к ним под определенным давлением должно непрерывно подводится масло, которое одновременно охлаждает подшипник.

К подшипникам турбин предъявляются очень высокие требования. Они должны быть надежны и долговечны. Износ подшипника может привести к серьезной аварии, а неточность установки вызывает вибрацию турбины.

Устройство и принцип работы газотурбинной установки. ГТУ могут работать по открытому или замкнутому циклу. Если рабочей средой является газ (продукт сгорания топлива), который после совершения работы уходит в атмосферу, то значит ГТУ действует по открытому циклу. Если рабочей средой может быть воздух или какой-либо газ, непрерывно циркулирующий в системе, значит ГТУ работает по замкнутому циклу.

В настоящее время на судах в качестве главных двигателей применяют ГТУ, работающие по открытому циклу, у которых сгорание топлива осуществляется при постоянном давлении[19]. На рисунке 1.2 изображена схема газотурбинной установки.

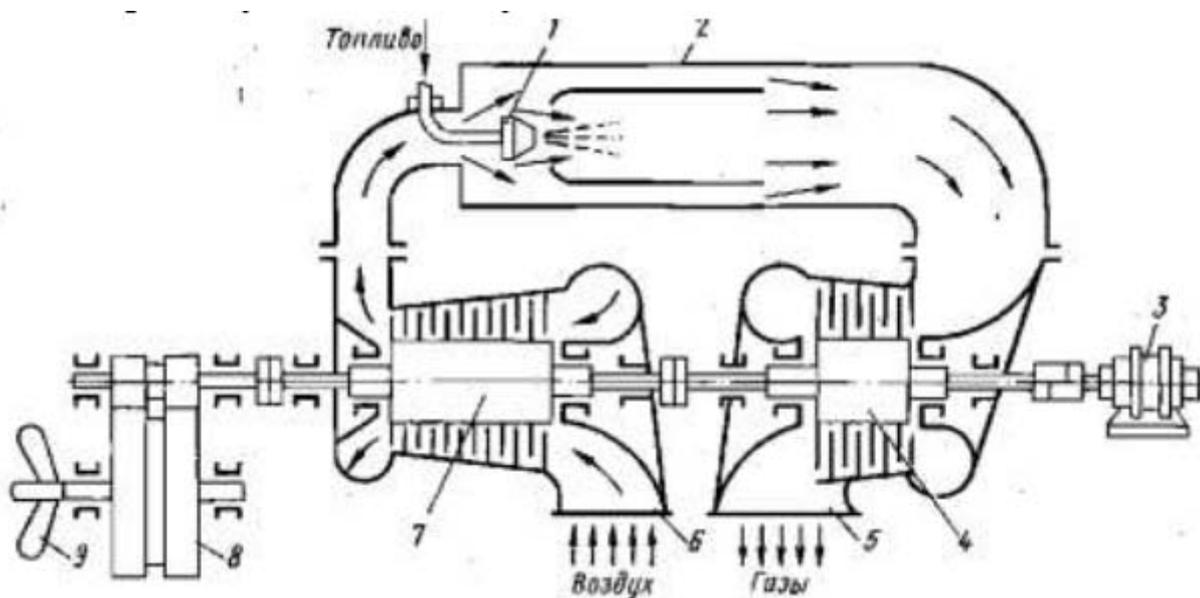


Рисунок 1.2 –Схема газотурбинной установки

Через патрубок 6 в компрессор 7 засасывается воздух, там он сжимается до определенного давления. Сжатый воздух из компрессора подается

непрерывным потоком в камеру сгорания 2, куда через форсунку 1 поступает топливо. Топливо в камере сгорания перемешивается с воздухом, который служит окислителем, поджигается и сгорает при постоянном давлении. Выделяющиеся при сгорании газы высокой температуры охлаждаются путем смешения с воздухом и направляются в газовую турбину 4. В газовой турбине энергия продуктов сгорания преобразуется в направляющих лопатках в кинетическую энергию потока газа (газ разгоняется до больших скоростей), а затем кинетическая энергия газа преобразуется в рабочих лопатках в механическую энергию вращения ротора. Турбина приводит во вращение компрессор, находящийся с ней на одном валу. Патрубок 5 служит для выпуска отработавших газов в атмосферу. Турбина в этой схеме вращает одновременно гребной винт 9 через редуктор 8 и компрессор 7. Так как частоты вращения роторов газотурбинных двигателей велики, обязательным элементом ГТД является редуктор, понижающий частоту вращения вала двигателя до оптимальной частоты вращения гребного вала. Пуск установки осуществляется пусковым двигателем 3, который сообщает компрессору необходимую минимальную частоту вращения, после чего в камеру сгорания подается топливо, и установка начинает работать [14].

Как уже было сказано, большинство современных ГТУ работает по этой схеме. Но также применяются замкнутые ГТУ.

В газотурбинных установках, работающих по замкнутому циклу, имеется воздухоподогреватель, в котором нагревают воздух или другой газ, служащий рабочим телом для газовой турбины. В этом случае одна и та же порция рабочего воздуха (циркуляционного воздуха) проходит через турбину и воздухоподогреватель, в результате чего получается замкнутый цикл рабочего тела.

Схема ГТУ замкнутого цикла показана на рисунке 1.3. Циркулирующий по замкнутому контуру воздух при давлении поступает в компрессор 1, сжимается и подается в регенератор 4, где подогревается воздухом, отработавшим в турбине 2. Из регенератора воздух направляется в нагреватель

3, где при сгорании топлива и нагревается до начальной температуры перед турбиной. Нагретый и сжатый воздух входит в газовую турбину 2, где при расширении он расходует свою внутреннюю энергию на совершение механической работы, которая используется для запуска компрессора и гребного винта. Из турбины воздух выходит с высокой температурой, и поэтому он направляется в регенератор 4, где нагревает воздух, поступающий в подогреватель 3. Затем воздух охлаждается заборной водой в воздухоохладителе 5 и снова подается в компрессор.

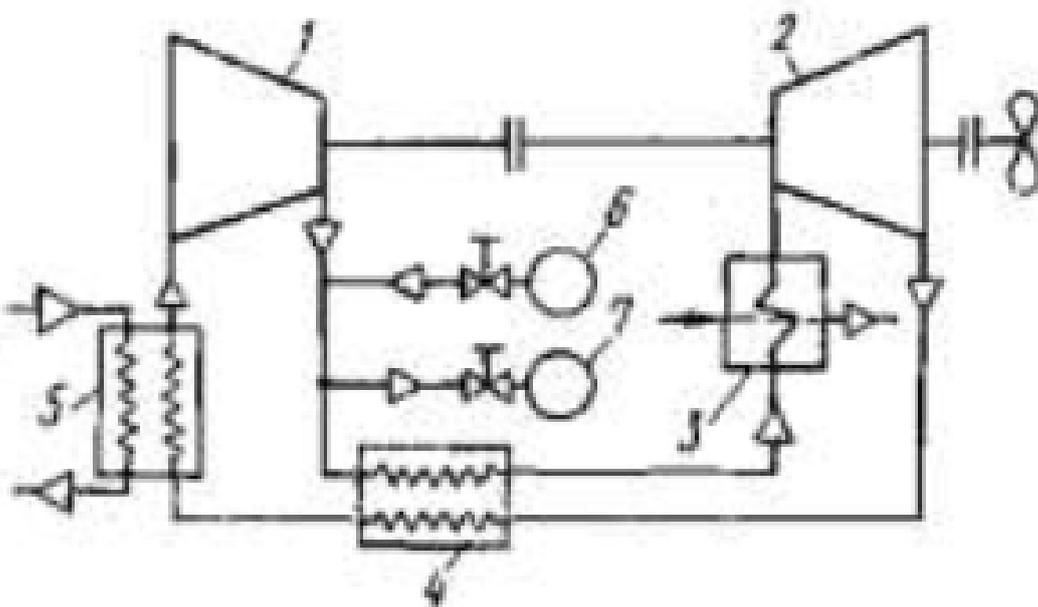


Рисунок 1.3 –Схема ГТУ замкнутого цикла

Таким образом, можно кратко описать работу ГТД: сжатый атмосферный воздух из компрессора поступает в камеру сгорания, туда же подается топливо, которое сгорает и образует большое количество продуктов сгорания под высоким давлением. В газовой турбине энергия газообразных продуктов сгорания преобразуется в механическую работу вращения струей газа лопаток, большая часть которой расходуется на сжатие воздуха в компрессоре, оставшаяся часть работы передается на приводимый агрегат. Работа, потребляемая этим агрегатом, является полезной работой ГТД.

1.3. Основные неисправности ГТУ

Причинами аварий и неполадок ГТУ могут стать конструктивные и технологические недоработки, дефекты материалов, сборка, монтаж, а также неправильной эксплуатации. Конструктивные и технологические недоработки, дефекты сборки и монтажа устраняют при сдаче и пробной эксплуатации ГТУ.

Нарушение режима эксплуатации может привести к тяжелым последствиям, вплоть до полного разрушения оборудования. Кроме того, ошибки в эксплуатации ведут к загрязнению окружающей среды, снижению надежности и экономичности ГТУ.

Вибрационная надежность является важной эксплуатационной характеристикой ГТУ. Низкий и стабильный уровень вибрации, отсутствие резонансных явлений на различных режимах работы гарантирует долговечность агрегата, а также возможность своевременной диагностики и устранения возникающих дефектов.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 13373–1–2009 к основным неисправностям относятся повреждения лопаточного аппарата турбин, дефекты подшипников, а также неисправности, связанные с дисбалансом[7].

В наиболее тяжелых условиях работают рабочие лопатки турбины: на них воздействуют большие центробежные силы, потоки газа, имеющие высокие скорости и температуры, переменные нагрузки. В этих условиях часто наблюдается усталостное разрушение лопаток турбины. Усталость материала, вызванная вибрацией приводит к зарождению трещин усталости. Усталостная поломка происходит, когда резерв прочности материала исчерпывается.

При усталостном разрушении происходит обрыв рабочих лопаток, отрыв части или всей лопатки. Обрыв лопаток на работающем ГТД приводит к снижению частот вращения турбокомпрессорных блоков и турбин, повышается вибрация и температура газов перед турбиной. При значительном падении частоты вращения происходит срыв пламени и остановка ГТД. Если

оторвавшаяся лопатка вызывает заклинивание ротора, то это также приводит к отключению ГТД. Оторвавшаяся лопатка может пробить корпус и вызвать разрушение элементов силовой установки.

Внешне повреждение рабочих лопаток проявляется в резком изменении шума работы. Появляются металлические звуки внутри турбины. Если слышны удары различной силы в проточной части или посторонние звуки турбину немедленно останавливают. При поломке лопаток и в проточной части турбины возрастает вибрация ротора.

При содержании в воздухе вредных примесей может возникать коррозия лопаток, турбины и компрессора. При недостаточно хорошей очистке загрязненного топлива в газовой турбине развивается высокотемпературная коррозия, появляются отложения на сопловых и рабочих лопатках. Отложения вызывают уменьшение КПД турбины.

Источником аварий и неполадок ГТУ могут служить подшипники.

Подшипниковые узлы служат для обеспечения опоры вала или оси, могут работать при наличии радиальных и осевых нагрузок.

Подшипники являются одними из самых точных выпускаемых деталей, так как изготавливаются в строгом соответствии с государственными стандартами и должны соответствовать жестким требованиям. В идеальных условиях подшипники могут работать много лет.

Срок службы подшипников зависит от качества материалов, технологии изготовления, условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Характерными признаками неисправностей подшипников скольжения являются: изменение вибросостояния, повышение температуры баббита вкладышей, наличие включений металла в масле, течь масла.

Для опорных подшипников характерны разрушения такие как: подплавление баббита, выкашивание баббита, отслаивание баббита.

Аварии опорных подшипников приводят к серьезным последствиям, таким как повреждение шеек роторов. Повреждение баббитовой заливки

приводят к расцетровкам в проточной части, что в свою очередь, может привести к разрушению проточной части.

Для упорных подшипников характерными разрушениями являются выплавление баббита колодок, механическое повреждение и износ. К таким видам разрушения ведут низкое качество масла, дефекты ремонта.

Из-за изначально неправильной геометрии подшипника или при неправильной подачи масла, высоких нагрузках может увеличиться износ баббитовой заливки.

Из-за прекращения подачи масла может случиться выплавление баббитовой заливки.

Аварии упорного подшипника сопровождаются разрушением лопаток из-за осевого сдвига ротора.

Повреждение упорных подшипников возникает при увеличении осевого усилия, а опорных — при повышенной вибрации.

Увеличенный или неравномерный износ баббитовой заливки может быть выявлен с помощью вибродиагностики. При указанной неисправности в спектре вибрации появляются и увеличиваются со временем колебания с частотой, равной половине частоты вращения [13].

При выкрашивании или отслаивании баббитовой заливки наблюдаются такие изменения как: повышенный уровень вибрации, повышение температуры баббита.

Причинами неисправностей подшипников качения могут быть:

- разрушения от усталости материала;
- повреждения от повышенного износа;
- повреждения из-за прекращения подачи масла.

Усталостное разрушение подшипников может быть вызвано большими нагрузками.

Резкое начало или прекращение работы может привести к образованию царапин и трещин, увеличению вибрации при вращении.

Увеличенный износ деталей может привести к увеличению радиальных зазоров, вызывающих смещение ротора.

Повреждения могут вызвать инородные частицы, которые попали в смазочный зазор между подшипником и шейкой вала. Даже мелкие частицы могут вызвать нарушения и привести к полусухому трению. Выступающие части приводят к износу шейки вала в виде бороздок. Глубокие бороздки, то есть углубления в виде полос в направлении скольжения с наслоением материала по кромкам, снижают предполагаемый срок службы и могут способствовать образованию задиров на подшипнике.

Внешние признаки, характеризующие повреждения:

- увеличенная вибрация;
- шумы;
- повышение температуры корпуса.

Выявить данные неисправности можно с помощью метода пик/фактор, анализа спектра и роста общего уровня вибрации.

Одним из наиболее распространенных дефектов оборудования является дисбаланс ротора, то есть наличие неуравновешенных масс, сопровождается резким увеличением вибрации. Это приводит к увеличению нагрузки на подшипники, меняет режим их работы и ускоряет разрушение.

Дисбаланс ротора может быть вызван загрязнением, обрыва элементов ротора, неравномерным износом элементов ротора, попаданием в проточную часть посторонних предметов, неправильной посадкой ротора в его подшипниковые узлы.

Возможные причины возникновения дисбаланса:

- дефекты при изготовлении ротора или его элементов;
- неправильная транспортировка или хранение;
- неправильная сборка при первичном монтаже или после ремонта;
- искривление ротора из-за особенностей эксплуатации;
- эксплуатационный износ ротора.

Вибрация, которая вызвана дисбалансом ротора, помимо негативного воздействия на общее состояние агрегата, может стать причиной появления других дефектов.

Основными причинами разрушения ротора являются разрушение рабочих лопаток и повреждение вала ротора.

Самыми опасными разрушениями являются внезапные разрушения, так как они влекут за собой более серьёзные повреждения, такие как разрушение турбины. Такие разрушения возникают:

- из-за плохого качества металла;
- больших динамических напряжений (разбалансировка);
- неправильного холодного старта.

Повреждения из-за плохого металла подвержены цельнокованые роторы из-за дефектов производства. Это нарушение структуры и сплошности металла.

Внезапная разбалансировка приводит к появлению усталостных трещин. Чтобы избежать серьезных последствий разрушения необходим непрерывный контроль вибрации подшипников.

При быстром пуске турбины даже незначительные дефекты могут привести к серьезным последствиям.

Разрушение дисков является одной из самых тяжелых аварий. Причинами могут служить коррозионные повреждения, задевания дисков, использование некачественного металла.

1.4. Методы вибродиагностики

Любая рабочая система подвергается воздействию (внутреннему или наружному). Нагрузки (статические, динамические и вибрационные) в ходе рабочего процесса способствуют изменению рабочих параметров системы по причине износа деталей, получения повреждений или нарушения целостности. Возбудители шума и вибраций имеют механическое, магнитное или аэродинамическое происхождение.

Механические колебания (вибрации) создают несбалансированные вращающиеся опоры, зубчатые передачи, а также другие детали, для движения которых используются цепи. Их дисбаланс создает вибрации с кратным количеством частот.

Магнитное колебание возникает в воздушном зазоре при измененных состояниях взаимодействующих друг с другом электромагнитных систем.

Аэродинамические колебания создаются движением деталей в механизмах.

Возникновение вибраций говорит о наличии повреждений, параметры которых устанавливают путем измерения колебаний. Они подлежат диагностике и измерению величин с последующим анализом. В соответствии с ГОСТ ИСО 10816–1–97 Вибрация. «Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях» различают три величины[4]:

Виброперемещение (амплитуда) – пределы перемещения точки измерения в момент вибрации. Изменение амплитуды вибрации;

Виброскорость – скорость перемещения точки контроля вдоль оси измерения (т.е. колебание скорости перемещения точки с определенной частотой);

Виброускорение – значение вибрации, которое определяется с помощью величины, воздействующей на нее силы.

Амплитуда виброперемещения характеризует деформацию конструкции при вибрации. Данный параметр имеет низкочастотный спектр.

С помощью виброскорости можно оценить вибронпряженность конструкции и тем самым определить степень накопления усталостных повреждений и долговечность агрегата.

Виброускорение характеризует уровень инерционных нагрузок, которые возникают при колебаниях. Данные нагрузки являются определяющими при оценке состояния крепежных элементов: опор, стыков, узлов и тд. Виброускорение можно измерить пьезоэлектрическими вибропреобразователями.

Вибродиагностирование агрегатов технологических систем при помощи виброускорения получило наибольшее распространение, так как вибропреобразователи виброускорения при простой аппаратуре для обработки сигналов имеют высокую чувствительность.

На рисунке 1.4 показаны частотные характеристики. На низких частотах возбуждаются высокие уровни виброперемещения, а на высоких частотах возбуждаются низкие уровни виброперемещения. Поэтому контролировать вибрацию по параметру виброперемещение эффективно в низкочастотном диапазоне от 0 до 300–500 Гц.

Частотная характеристика виброскорости имеет относительно плоский участок – от 10 до 1000 Гц рекомендуется контролировать вибрацию по параметру виброскорости.

С ростом частоты возбуждаются высокие уровни виброускорения. Контролировать вибрацию по параметру виброускорение эффективно в высокочастотном диапазоне частот – свыше 1000 – 2000 Гц. Использование виброускорения на частотах 100 Гц и ниже будет неэффективно.

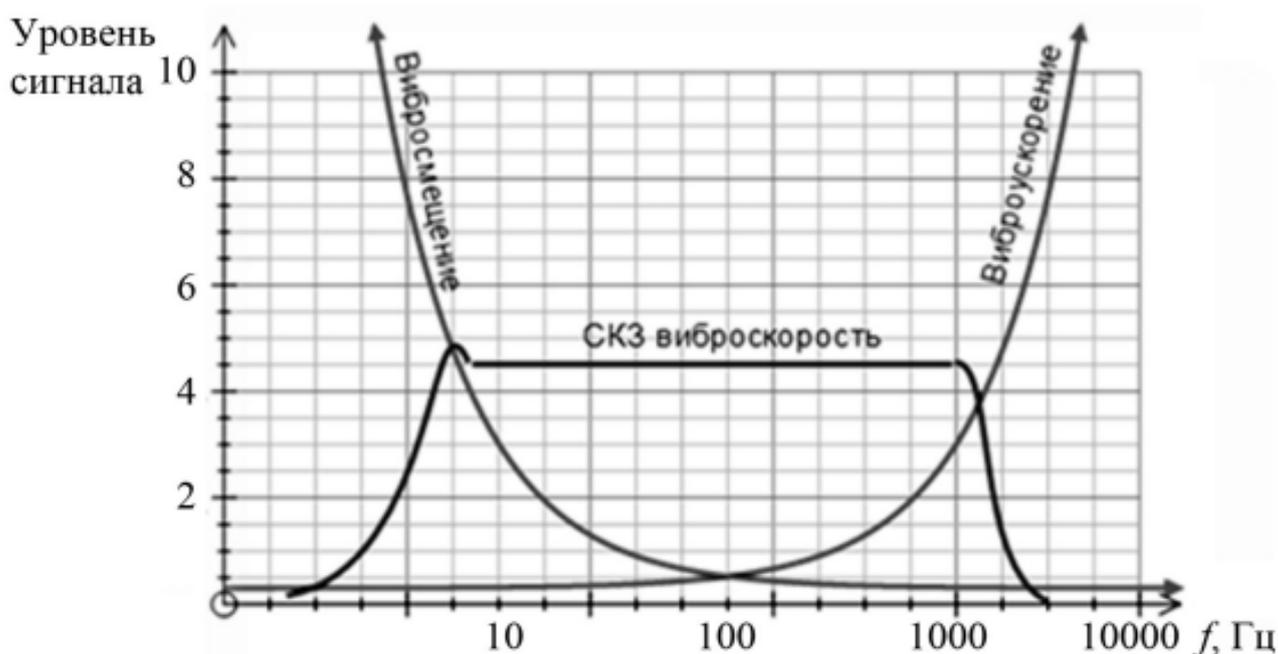


Рисунок 1.4 – Частотные характеристики виброскорости, виброперемещения и виброускорения

Виброускорение, виброскорость и виброперемещение являются взаимосвязанными величинами и, к примеру, зная функцию виброперемещения, можно однократным дифференцированием перейти к функции виброскорости, а двухкратным дифференцированием – к функции виброускорения. Верно и обратное: однократным интегрированием функции виброускорения получим функцию виброскорости, а двухкратным интегрированием – функцию виброперемещения[11].

На практике процесс дифференцирования сопровождается большим ростом шумов, поэтому не применяется на практике. А интегрирование, наоборот, очень точно передает форму сигнала и очень легко реализуется с помощью простых электрических цепей. Поэтому для виброконтроля агрегата используется параметр виброускорение. Именно этим обстоятельством обусловлено широкое применение акселерометров (измерителей виброускорения) в качестве основных датчиков вибрации.

В процессе измерения вибраций рассматривается наиболее информативный тип колебаний и параметр, обеспечивающий максимальную равномерность частотного спектра. Частотные составляющие, выделяемые в процессе анализа спектра, подразделяют на три группы: гармоники, несинхронные составляющие, субгармоники.

Гармоники – крайние точки на частотах, кратных частоте вращения, свидетельствующие о неуравновешенности, несоосности или ослаблении соединений.

Несинхронные составляющие – свойственны частотам некратным частоте цикла, что говорит о наличии дефектов подшипников.

Субгармоники – отражают вихри в масляном клине подшипника, излишнее трение между деталями и ослабление соединений, располагаются ниже частоты вращения и могут отражать.

Наиболее важными составляющими считаются гармоники. Совпадая с частотами определенных элементов, они могут увеличиваться и образовывать источник акустического шума, передающийся другим механизмам.

На рисунках 1.5 и 1.6 изображен спектр вибрации, выраженный в ускорении, скорости и смещении.

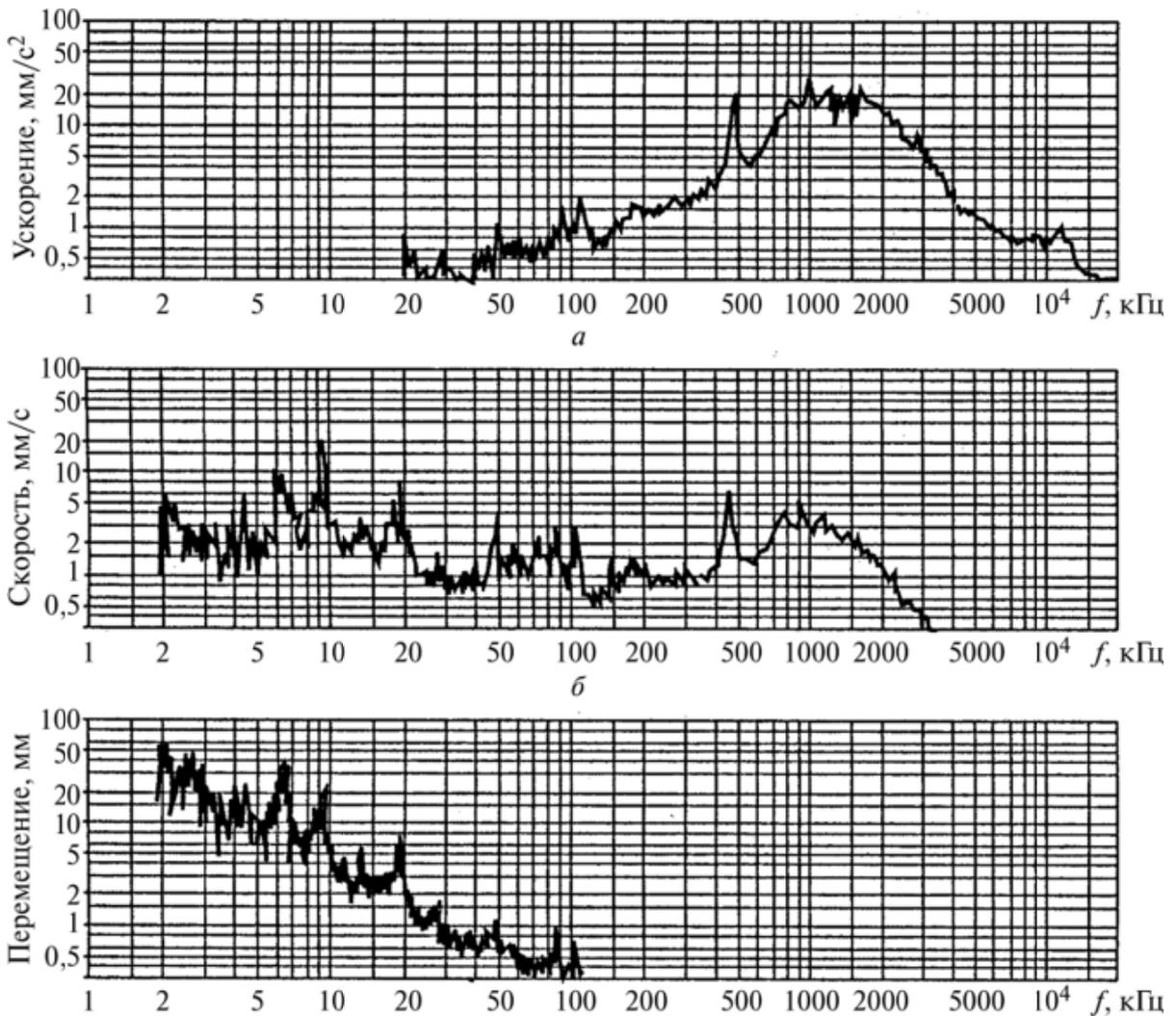


Рисунок 1.5 –Спектрограммы ускорения (а), скорости (б) и перемещения (в) механических колебаний электрической дрели

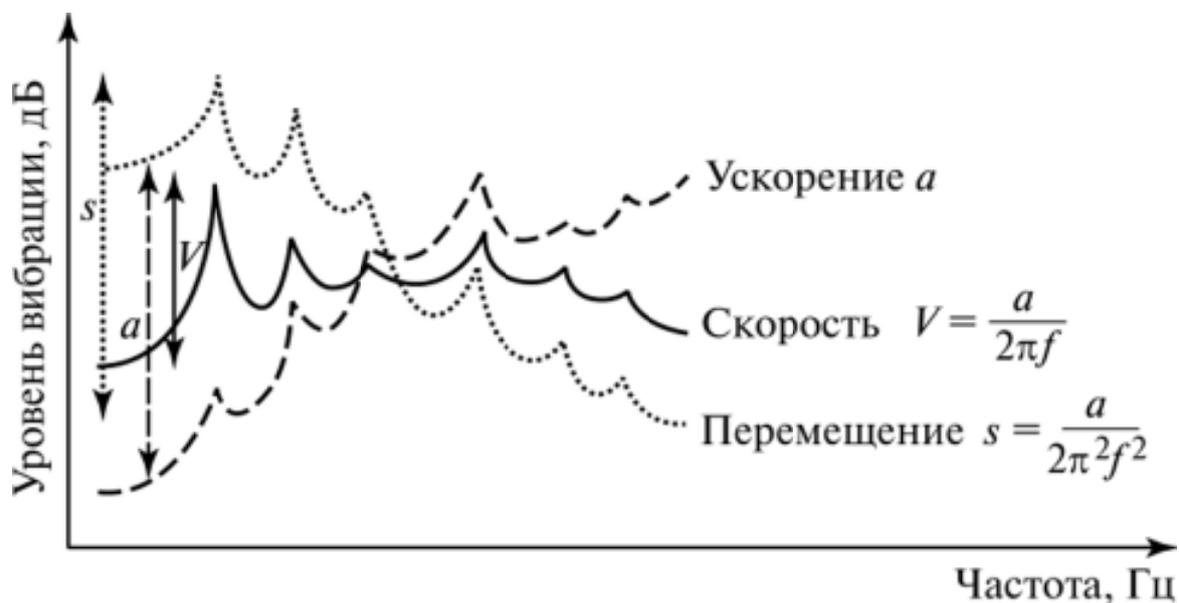


Рисунок 1.6 – Типичный спектр вибрации машины, выраженный в ускорении, скорости и смещении

Одним из самых простых способов виброконтроля является анализ общего уровня вибрации, в котором анализируется изменение амплитудных значений измеряемого параметра. Данный метод позволяет обнаружить неисправность на самой последней стадии, но природу дефекта определить не сможет[11].

Общий уровень вибрации – суммарная энергия вибрации (виброскорость, мм/с), измеренная в установленном частотном диапазоне (обычно 10 – 1000 Гц).

Критерии степени развития дефекта ориентированы на нормативные уровни вибрации, соответствующему определенному механизму. Механизм признается неисправным, если общий уровень вибрации превысил норму.

Оценка общего уровня вибрации осуществляется Пикам, по размаху Пик–Пик, по среднему уровню или по среднеквадратичному значению (СКЗ)[12]. Эти факторы могут быть математически связаны друг с другом. На рисунках 1.7 и 1.8 показана количественная оценка амплитуд механических колебаний.

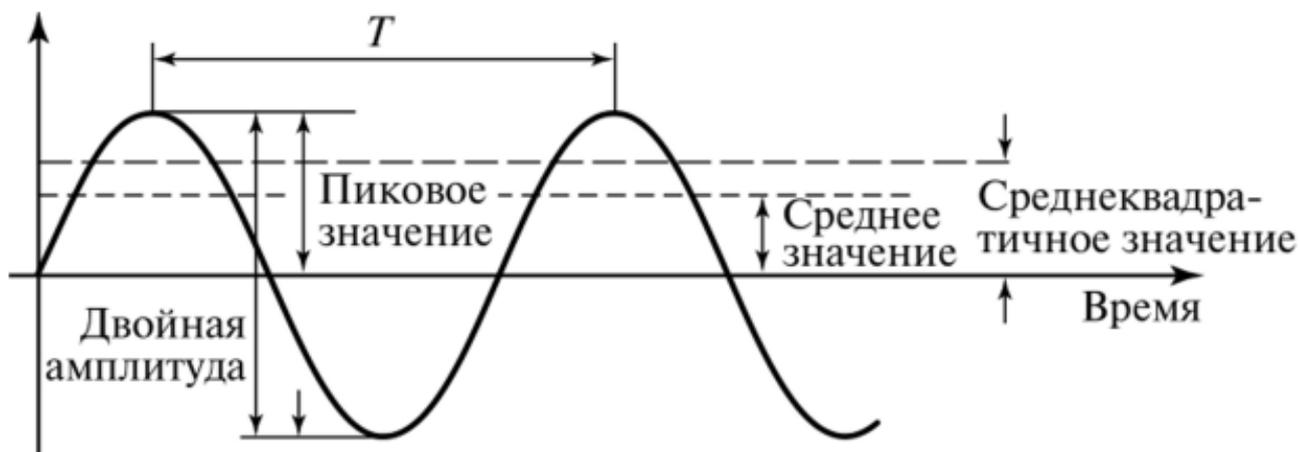


Рисунок 1.7–Количественная оценка амплитуд механических колебаний

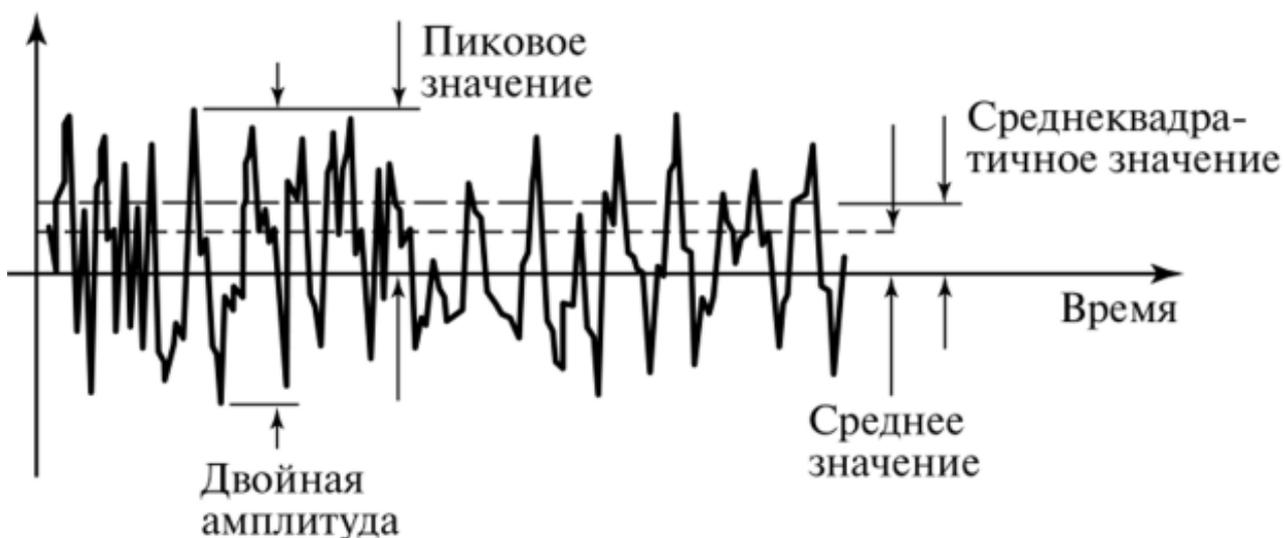


Рисунок 1.8 – Количественная оценка амплитуд механических колебаний

Среднее квадратическое значение (СКЗ) представляется в виде квадратного корня из усредненных по времени и возведенных в квадрат мгновенных значений связано с энергией и, следовательно, с разрушающей способностью механических колебаний.

Двойная амплитуда (Пик–Пик) используется при количественной оценке перемещения механических колебаний.

Пиковое значение является максимальным значением механических колебаний, учитываемых именно при количественной оценке кратковременных механических ударов.

Среднее значение связано с временным развитием механических колебаний.

Повышение или изменение вибрации может рассматриваться как признак появившейся или развивающейся неисправности какого-либо узла двигателя. В этой связи разрабатываются методы вибрационной диагностики – методы, позволяющие по характеру изменения вибрации определить тип неисправности двигателя.

Наиболее распространенными методами вибрационного контроля поиска дефектов по (диагностическим параметрам) [2]:

- по величине СКЗ виброскорости;
- по спектрам вибрационных сигналов;
- по пикфактору вибросигнала;
- по спектру огибающей вибрационного сигнала.

Метод диагностирования по среднеквадратичному значению виброскорости в диапазоне 10 – 1000 герц, позволяет быстро проверить основную работоспособность (более подходит для входного контроля).

СКЗ значение рассчитывается по формуле(1):

$$X_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [X(t)]^2 dt} \quad (1)$$

Формула содержит t_0 – текущее значение временной координаты, T – период измерения. Данный метод выявляет дефекты подшипников на самых последних стадиях их развития, когда общий уровень вибрации значительно вырастет. Диагностируется с помощью простого виброметра. Метод диагностирования по спектрам вибрации базируется на анализе спектра вибрации. По частотному составу спектра можно идентифицировать возникновение и развитие дефектов подшипника. Каждому дефекту на элементах соответствуют свои частоты. Наличие той или иной частотной составляющей в спектре говорит о возникновении соответствующего дефекта, а амплитуда – о степени развития дефекта[20].

Метод диагностирования по пикфактору требует знание двух параметров:

- СКЗ вибрации, то есть энергия вибрации;
- пиковая амплитуда вибрации.

Тогда пикфактор определяется как отношение(2):

$$K_{\text{пик}} = \frac{X_{\text{max}}}{X_{\text{ср.кв.}}} \quad (2)$$

Пикфактор – это параметр, который реагирует на появление отдельных коротких импульсов.

Пик–фактор характеризует развитие повреждения[15]. Значения пик–фактора в начальном периоде работы механизма равны от 3 до 4. При зарождении повреждений значения пик–фактора увеличиваются до 10–15.

Когда повреждение увеличивается, то снижаются значения пик–фактора до 3 – 4. На рисунке 1.9 показано изменение значения пик–фактора.

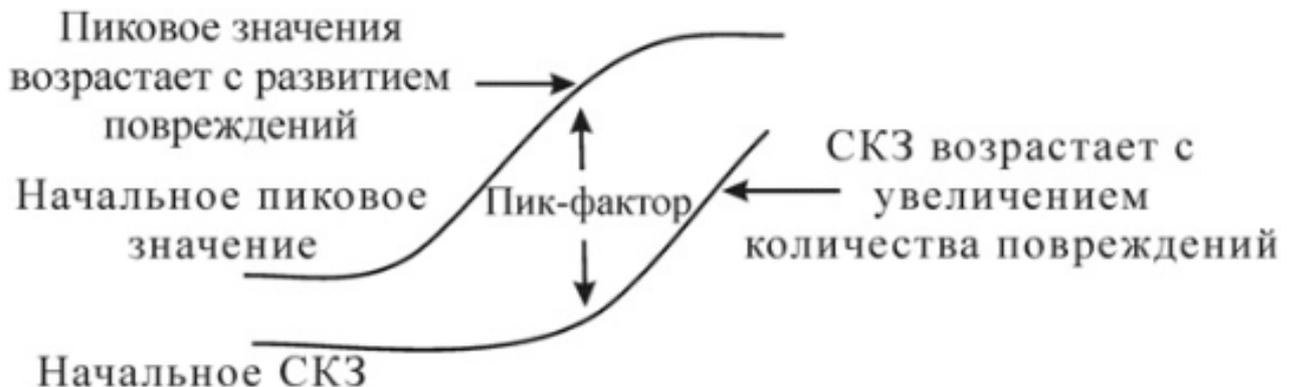


Рисунок 1.9 –Изменение значения пик–фактора

Метод диагностирования по спектру огибающей вибросигнала позволяет выявлять образование дефектов подшипников на самых ранних стадиях. Метод базируется на анализе высокочастотной составляющей вибрации и выявлении модулирующих ее низкочастотных сигналов.

Спектр огибающей при отсутствии дефектов представляет собой почти горизонтальную волнистую линию, а при появлении дефектов начинают

возвышаться дискретные составляющие[11]. На рисунке 1.10 представлен спектр огибающей при отсутствии и появлении дефекта.

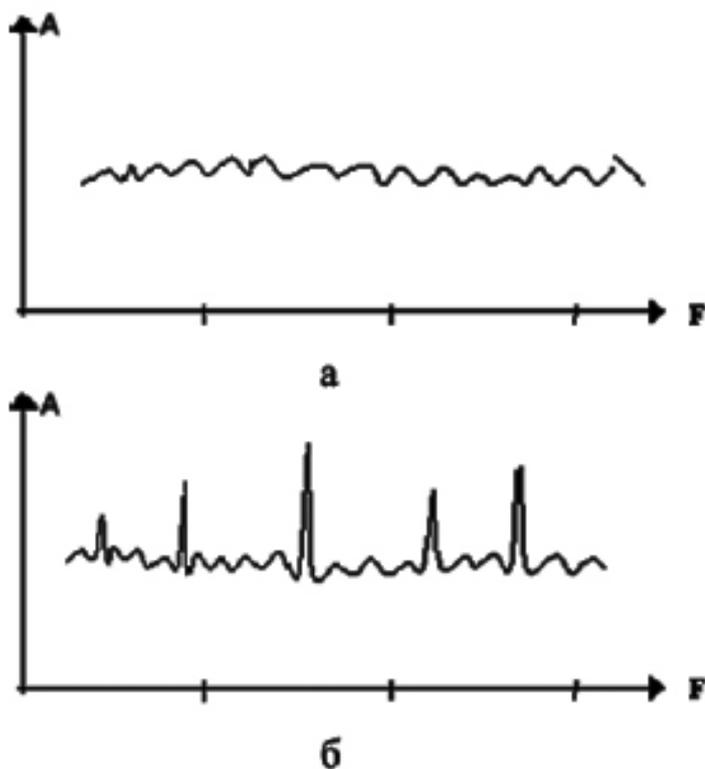


Рисунок 1.10 –Спектр огибающей: а – при отсутствии дефектов, б – при появлении дефектов

Достоинством данного метода является информативность и помехоустойчивость. Недостаток – для реализации данного метода необходим дорогостоящий анализатор спектра с функцией анализа спектра огибающей.

Каждый из методов вибродиагностики имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Выбор того или иного метода зависит от таких факторов, как условия эксплуатации, возможное конструктивное выполнение, тип комплектующих элементов и т.п.

Методы технической диагностики выявляют дефекты и прогнозируют их развитие, тем самым сокращают количество отказов. Обнаруженные дефекты гарантированно устраняют во время плановых ремонтов.

1.5. Нормы вибрации

Высокий уровень вибрации может стать причиной усталостных поломок элементов конструкции двигателя и размещенных на нем агрегатов. По этой причине должен быть определен допустимый уровень вибрации, с превышением которого работа двигателя не допускается.

Нормирование вибрации производится в соответствии ГОСТ. Существует ряд стандартов, нормирующих вибрацию турбоагрегатов.

В качестве основного критерия для вибрации используется среднее квадратичное значение (СКЗ) виброскорости, дополнительным критерием является размах перемещений.

В настоящее время действуют следующие нормативные документы.

ГОСТ Р 55265.2–2012 (ИСО 10816 – 2:2009) Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях.

ГОСТ Р 55263–2012 (ИСО 7919 – 2:2009) Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся частях.

ГОСТ ИСО 10816–4–99 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Газотурбинные установки.

ГОСТ ИСО 7919–4–2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Газотурбинные агрегаты.

В стандартах на базе ISO вводятся понятия зон состояния оборудования:

Зона А – вибрация новых установок, вводимых в эксплуатацию;

Зона В – вибрация машин, пригодных для эксплуатации без ограничения сроков;

Зона С – установки могут функционировать ограниченный период времени до начала ремонтных работ;

Зона D – уровень вибрации в данной зоне может вызывать серьезные повреждения установок.

На рисунке 1.11 изображены зоны состояния оборудования.

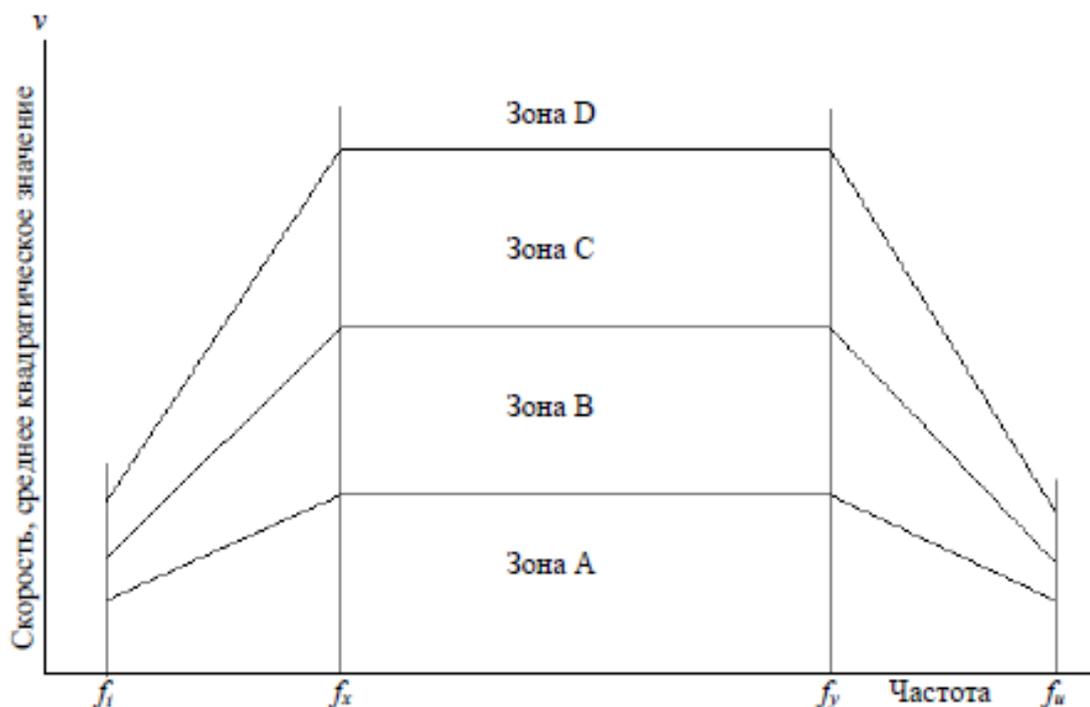


Рисунок 1.11 – Общий вид кривых на основе среднего квадратического значения виброскорости

При достижении показателей «Уведомление» и «Предупреждение» машина нуждается в восстановлении нормального вибрационного состояния, проведение ремонтно – восстановительных работ. Достижение вибрацией уровня «Останов» требует принятия мер по снижению вибрации или остановку машины, так как дальнейшая эксплуатация машины может привести к ее повреждению.

ГЛАВА 2: ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

2.1. Характеристика вибродиагностического контроля

Для обеспечения технической безопасности плавания необходим мониторинг параметров двигателей в процессе их эксплуатации. Информация о текущих параметрах двигателей во время эксплуатации позволяет предупреждать возникновение аварийных ситуаций.

Одним из самых эффективных методов контроля является вибродиагностический контроль. Во время эксплуатации механизма его детали при вращении или перемещении вибрируют в определенном диапазоне величин. Поэтому измерение уровня вибрации является универсальным способом анализа технического состояния оборудования.

Вибродиагностический контроль – метод неразрушающего контроля, предназначенный для поиска неисправностей и оценки технического состояния исследуемого объекта. Он базируется на мониторинге и анализе ключевых показателей вибрации (колебаний), которую создает работающий объект[3].

Преимущество данного метода заключается в том, что он собирает информацию, с помощью которой возможно выявить развивающиеся дефекты, которые могут привести к серьезным повреждениям или к полному разрушению механизма, без разбора оборудования.

Методики виброконтроля могут быть общими, подходящими для всех видов машин, а также индивидуальными, адаптируемыми к особенностям конструкции и условиям их работы.

Методики включают следующие части:

- выбор средств измерений;
- выбор точек контроля;
- выбор способа крепления датчика вибрации;
- выбор длительности измерений;
- выбор алгоритма принятия решений.

Состояние агрегата можно определить как нормальное, если:

- интенсивность вибрации в контролируемых точках соответствует стандартным нормам;
- отсутствуют внезапные изменения вибрации;
- отсутствует существенный рост вибрации во времени;
- отсутствуют изменения спектрального состава вибрации.

Самым высоким уровнем обеспечения контроля вибрации является использование автоматизированной системы мониторинга.

2.2. Формирование требований к системе мониторинга судовой ГТУ

В соответствии с ГОСТ Р 53564– 2009 был сформирован список требований, предъявляемых к разрабатываемой системе мониторинга.

1. Требования к контролю пригодности оборудования

Датчики должны быть установлены таким способом, чтобы не нарушались условия безопасного и правильного функционирования оборудования в существующем технологическом процессе.

2. Требования к блоку оповещения, отображения и регистрации

Система мониторинга имеет следующие формы представления результирующей информации:

- графический интерфейс;
- звуковое предупреждение;
- протоколы отчетов с возможностью распечатки на принтере.

Система мониторинга включает следующие типы экранов для представления информации:

Монитор – для представления информации о состоянии объектов мониторинга;

Анализ – для представления сигналов и результатов их цифровой обработки;

Журнал (отчет) – для представления информации «журнала механика–электрика» и «журнала событий» системы;

Система – для представления информации о состоянии программно–аппаратных средств системы.

Система мониторинга должна отображать состояние всего оборудования на основе цветовой индикации. Общеупотребительной является следующая цветовая индикация основных состояний объекта:

- зеленый цвет – для допустимого технического состояния контролируемого объекта;

- желтый цвет – для технического состояния, которое требует принятия мер;

- красный цвет – для технического состояния «недопустимо».

Кроме того, установить цветовую индикацию (коричневый цвет) для технического состояния, при котором объекту необходим «Ремонт»

Система мониторинга должна автоматически указывать наиболее опасный агрегат и узел, ограничивающий его ресурс.

Система мониторинга должна информировать персонал звуковым сигналом о состоянии оборудования через устройство оповещения.

Система мониторинга должна определять параметры технического состояния и отображать их на дисплее вместе с их предельными уровнями и индикацией технического состояния.

Система мониторинга должна выводить на принтер:

- информацию о техническом состоянии объекта;

- тренды параметров, спектры;

- истории ремонтов за определенный период как по оборудованию в целом, так и отдельно по рабочим машинам или приводам;

- протоколы событий.

Кроме результатов измерений, необходимо регистрировать следующую информацию:

- описание машины и ее основные характеристики;
- точки измерений;
- единицы величин и способы преобразования измеряемых величин;
- дату и время проведения измерений[8].

3. Требования к информационной базе данных и знаний

Система мониторинга должна автоматически архивировать результаты измерений и отображать графики изменения параметров технического состояния во времени (тренды).

4. Требования к блоку управления

Система мониторинга должна автоматически распознавать включенное (выключенное) состояние агрегатов.

Встроенная экспертная система должна автоматически определять и прогнозировать неисправность контролируемого оборудования и выдавать рекомендации персоналу по его действиям.

Система мониторинга должна отображать дату и время включения (отключения) агрегата, вести подсчет общей, месячной наработки, наработки между текущими, средними и капитальными ремонтами.

Система мониторинга должна иметь программный модуль «Журнал механика–электрика» для регистрации наработок и ремонтов агрегатов, проводимых работ и замен узлов оборудования.

Система мониторинга должна автоматически фиксировать в журналах, по возможности, все действия персонала по работе с ней, в том числе факты включения–выключения, перезагрузки, попытки снятия защиты, изменения конфигурации.

Система мониторинга может обеспечить блокировку аварийных агрегатов по комплексу параметров, так и по результатам диалога с оператором.

Система мониторинга должна иметь программную защиту от несанкционированного доступа к функциям администрирования и настройки программных компонент (уровни доступа, пароли).

Программное обеспечение системы мониторинга должно иметь регистрационную информацию для контроля над несанкционированным использованием.

5. Требования к конструкции

Конструкция составных частей системы мониторинга должна обеспечивать механическую прочность при эксплуатации в заданных климатических районах и заданных взрывоопасных зонах. Требования по взрывозащищенности устанавливаются в технических условиях на систему мониторинга.

Электрическое соединение составных частей системы мониторинга должно быть выполнено с использованием кабельных трасс, кабельной трубной проводки и присоединителей (коробок ответвительных). Присоединители должны иметь конструктивное исполнение, обеспечивающее защиту размещенных в них устройств, а также мест подключения кабелей, от механических воздействий и иметь степень защиты от попадания пыли и влаги.

Все металлические части устройств системы мониторинга должны иметь защиту от коррозии.

Конструктивное исполнение составных частей системы мониторинга должно обеспечивать их быстрый монтаж, возможность проведения технического обслуживания, профилактических и ремонтных работ в процессе эксплуатации. Требования к монтажу, техническому обслуживанию и ремонту должны быть установлены в технических условиях на систему мониторинга.

6. Требования надежности

Срок службы системы мониторинга должен быть не менее 10 лет.

Должна быть обеспечена возможность непрерывной круглосуточной работы системы мониторинга в течение межремонтного периода. Допускается кратковременное выключение системы мониторинга для ее обслуживания и ремонта, продолжительность которого не должна превышать интервала прогноза опасного состояния, соответствующего заданному риску пропуска отказа.

7. Требования к методам анализа измеряемых параметров

Система мониторинга должна отображать мгновенные значения измеряемого параметра (сигнала).

Система мониторинга должна позволять проводить анализ сигналов, используя алгоритмы цифровой обработки сигналов.

Система мониторинга должна сохранять временные реализации сигналов при возникновении заданных событий или по требованию оператора.

Система мониторинга должна обеспечивать возможность ручного сохранения трендов, сигналов и конфигурации на внешнем носителе для проведения анализа в лаборатории.

2.3. Формирование структурной схемы системы

В соответствии со стандартами вибрационная система мониторинга состояния и диагностики может быть стационарной и переносной системой.

Стационарная система включает измерения вибрации на неподвижных деталях (корпусах подшипников) и вращающихся деталях.

Стационарная система в общем виде включает измерение вибрации на неподвижных частях (в трех направлениях), на корпусах подшипников, измерение на вращающихся частях (т. е. орбит движения вала).

Стационарные системы проводят непрерывный мониторинг состояния с момента пуска до полной остановки агрегата. Такие системы позволяют получать полную информацию о состоянии объекта и изменении его параметров и своевременно реагировать на происходящие процессы.

На рисунке 2.12 представлена типичная схема стационарной виброизмерительной системы. На рисунке изображен двигатель привода по номером 1, датчик перемещения вала (проксиметр) – 2, датчик фазы – 3, датчик вибрации (акселерометр) – 4, приводимая машина – 5, датчик вибрации в радиальном направлении – 6, датчик вибрации в осевом направлении – 7, согласующий модуль – 8, персональный компьютер – 9, принтер – 10.

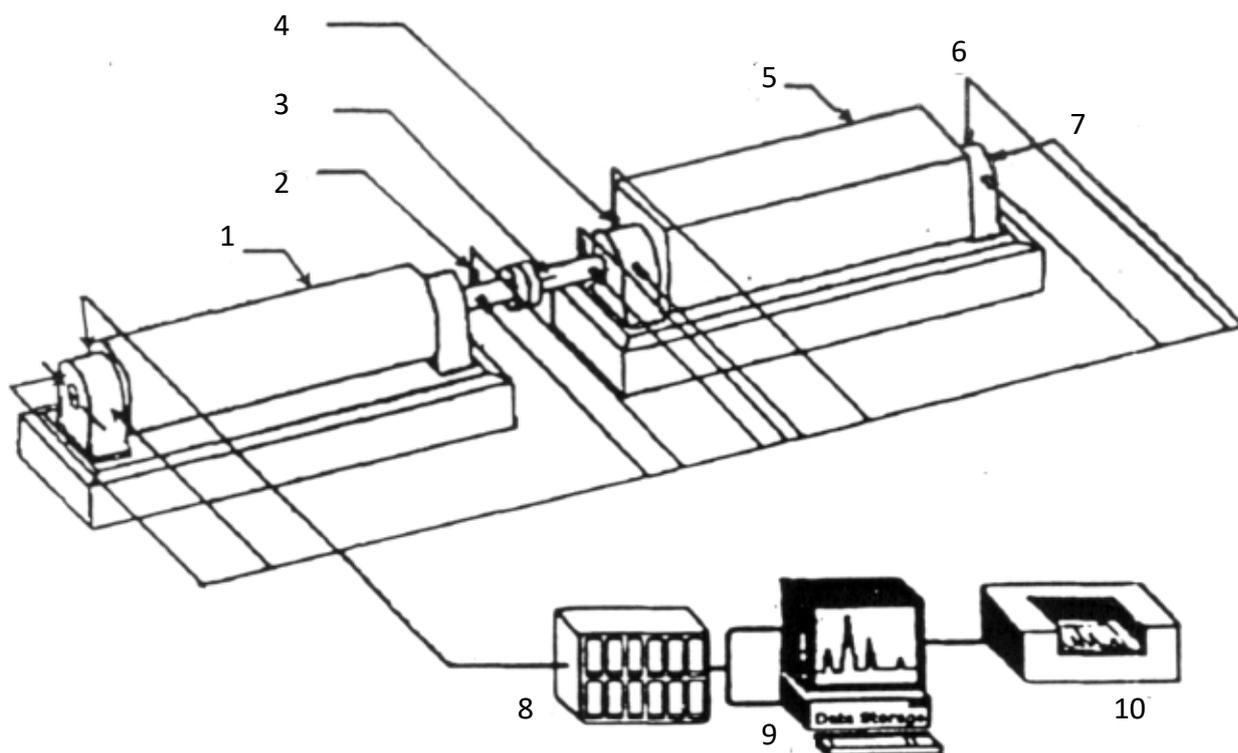


Рисунок 2.12 –Схема стационарной виброизмерительной системы

Переносная система

предусматривает измерение только на неподвижных деталях машин.

Типовая переносная система предусматривает те же измерения за исключением измерений на вращающихся частях. При использовании переносной системы «теряется» большое количество диагностической информации, так как контроль проводится в определенный промежуток времени.

На рисунке 2.13 представлена типичная схема переносной виброизмерительной системы. На рисунке изображен двигатель привода под номером 3, радиально направление – 1, осевое направление – 2, типичные точки измерения – 4, датчик фазы – 5, приводимая машина – 6, датчик вибрации (акселерометр) – 7, сборщик – виброанализатор – 8, кабель перекачки информации в персональный компьютер – 9, персональный компьютер – 10, принтер – 11.

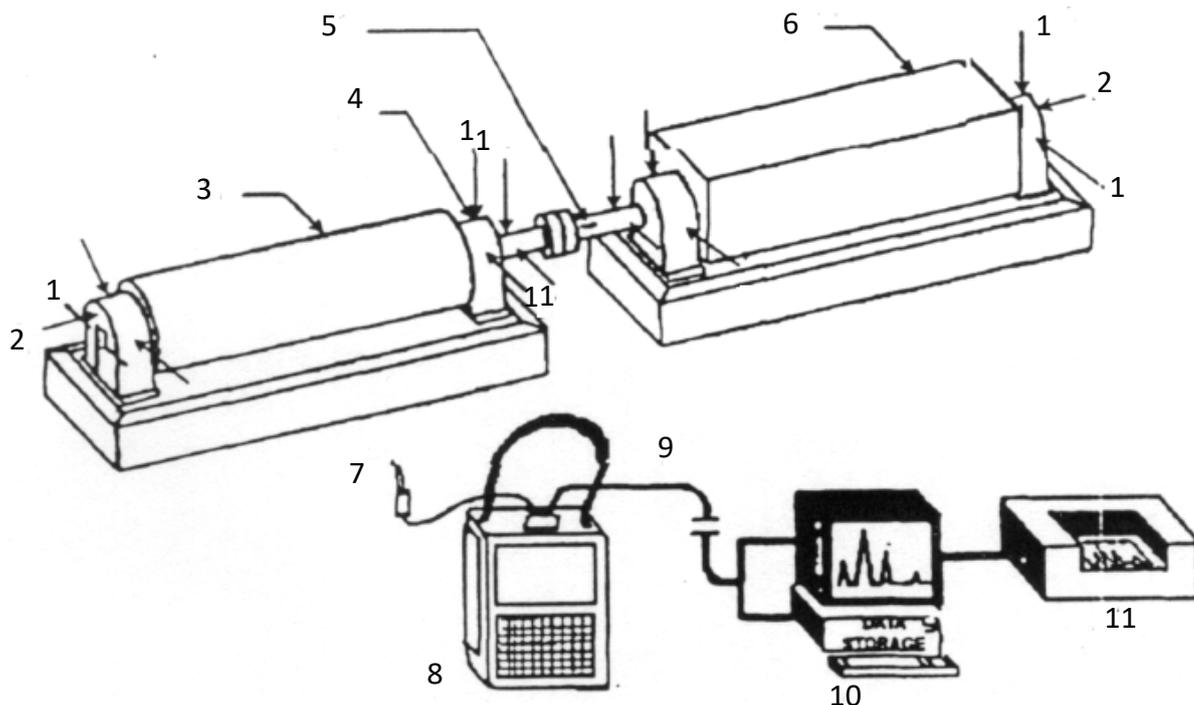


Рисунок 2.13 –Схемапереноснойвиброизмерительнойсистемы

Также возможны комбинированные системы, которые предусматривают предварительный монтаж преобразователей, которые не могут быть установлены без остановки машины и к которым «сборщик» присоединяется во время периодического мониторинга.

Стационарные системы виродиагностирования выглядят надежнее для контроля параметров судовой ГТУ, так как в отличие от переносных осуществляют непрерывный контроль (мониторинг) состояния оборудования, что позволяет:

- автоматизировать процесс сбора и обработки вибрационной информации;
- защитить оборудование от внезапных отказов;
- обнаружить неисправности на ранней стадии их развития;

– проводить вибромониторинг и вибродиагностику дефектов с точностью до узла.

Этапы работы автоматизированной стационарной системы мониторинга:

1. Датчики, установленные на двигателе, подключены к блоку преобразования и обработки сигналов;
2. Блок преобразования и обработки сигналов отвечает за проведения сбора первичных данных и их обработку;
3. Сервер, соединенный с блоком преобразования и обработки сигналов, анализирует полученную информацию и выдает рекомендации по устранению дефектов, если они обнаружены;
4. Компьютер, с установленным программным обеспечением, позволяет следить за интересующими нас параметрами в реальном времени, а также предоставлять результаты в любом удобном виде.

На рисунке 2.14 представлена блок – схема разрабатываемой системы мониторинга.

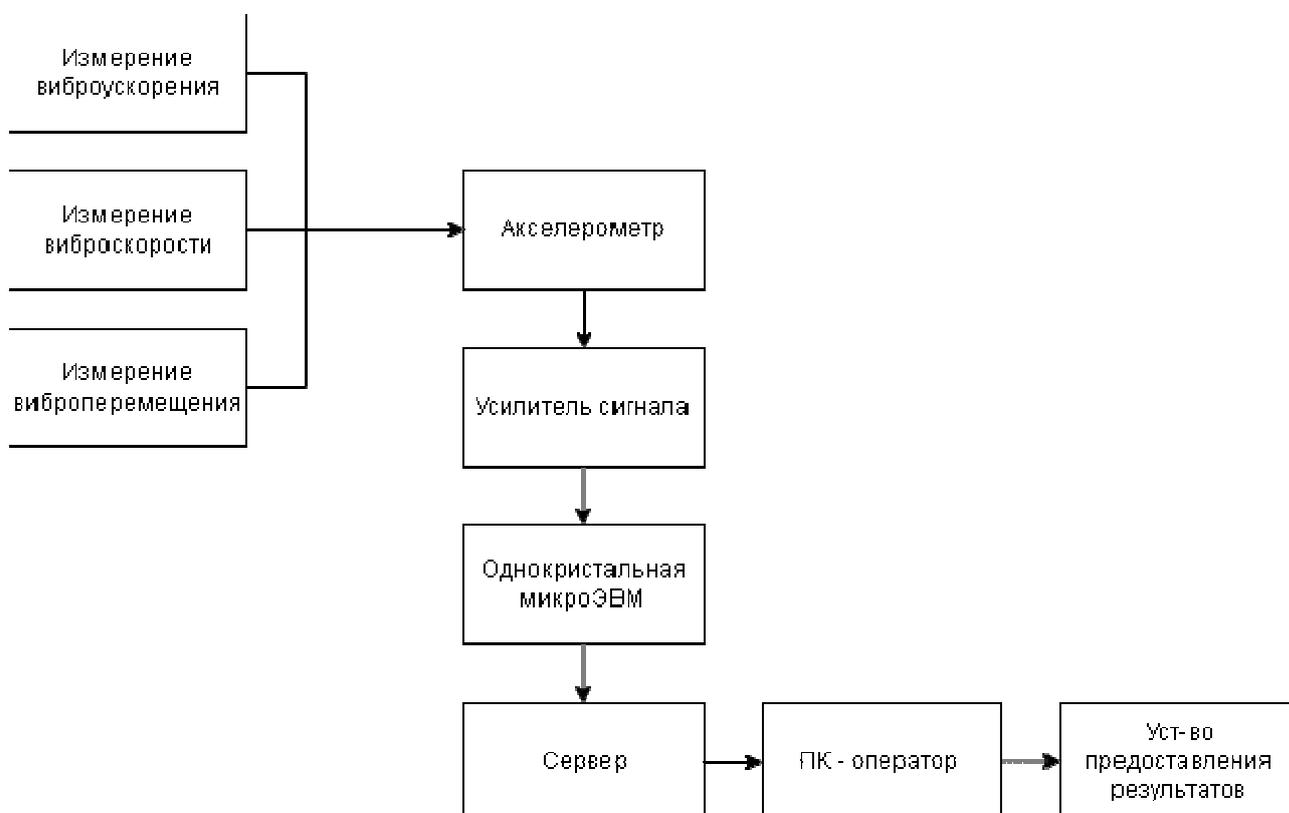


Рисунок 2.14 – Схема автоматизированной стационарной системы мониторинга

Разрабатываемая система мониторинга включает датчики контролируемых параметров, усилитель сигнала, устройство сбора и обработки информации, сервер, а также автоматизированное рабочее место, снабженное компьютером и устройством индикации, которое отображает текущего состояния оборудования.

Блок преобразования и обработки сигналов (БПО) вибрационного контроля выполнен на основе однокристального микроЭВМ, осуществляет обработку сигналов, поступающих по входным каналам, решает задачи контроля в реальном времени, а также обеспечивает передачу сигнала. В состав БПО вибрационного контроля быть включены блок питания и интерфейсный модуль. Интерфейсный модуль позволяет осуществлять экспорт данных.

– БПО вибрационного мониторинга и диагностики выполнен с возможностью сбора данных и обработки их по алгоритмам вибрационной диагностики. В качестве алгоритмов вибрационной диагностики могут быть использованы: СКЗ виброскорости, огибающая сигнала.

Встроенная в блок автоматическая система самодиагностики постоянно проверяет все каналы связи: кабели и электронные компоненты на предмет сбоев, обрывов, коротких замыканий, отказов электропитания; при этом любая неисправность вызывает срабатывание соответствующего сигнала тревоги.

Блок усиления используется для усиления сигналов, поступающих от измерительных датчиков.

Сервер представляет собой аппаратно–программный комплекс, обеспечивающий сбор и накопление информации, получаемой от блока преобразования и обработки сигналов, исполнение алгоритмов обработки данных с возможностью раннего обнаружения дефектов отдельных узлов агрегата и выдачи рекомендаций по проведению технического обслуживания, а также предоставление доступа пользователям системы к накопленной информации.

Процедура сбора данных состоит в измерении параметров и сравнении полученных результатов с результатами предыдущих измерений. Если

измеренные значения параметров не выходят за границу уровня предупреждения, то дальнейшие действия сводятся к сохранению полученных данных и продолжению наблюдений. Нарушения выявляют, сравнивая значения диагностических признаков с некоторыми заранее установленными значениями, определяемыми на основе опыта эксплуатации, приемочных испытаний или путем статистической обработки данных, измеренных на длительном интервале времени[8].

Система снабжена устройством индикации, при помощи которого отображается текущего состояния объекта диагностики.

Сетевое оборудование представляет собой комплекс технических средств (сетевой коммутатор) и каналов связи, позволяющих обеспечить согласованную работу элементов системы и обмен данными между ними.

Настоящее устройство работает следующим образом.

В процессе эксплуатации ГТУ происходит изменение его технологических параметров, обусловленных старением и износом. При этом датчики измерения вибрации преобразуют механические колебания в электрический сигнал, который передается в блок преобразования и обработки сигналов. Блок преобразования и обработки сигналов осуществляют сбор данных и обработку их по алгоритмам вибрационной диагностики и передают диагностическую информацию на сервер. Сервер оценивает текущее состояние объекта диагностики по полученной информации, прогнозирует возможные изменения состояния технологического оборудования и передает результаты в виде понятном для оператора. Дежурный диспетчер визуально оценивает состояние объекта диагностики по информации, отображаемой на мнемосхемах монитора, и принимает решение о проведении технического обслуживания оборудования или вызове аварийной бригады.

Таким образом, разрабатываемая система мониторинга позволяет определять "по фактическому состоянию" то состояние ГТУ, которое является предвестником критического (аварийного) состояния.

Спроектированная система мониторинга была разработана на основе стационарной системы контроля вибрации КАСКАД.

Контрольно–сигнальная и диагностическая аппаратура КАСКАД предназначена для автоматического контроля абсолютной и относительной вибрации и механических величин (осевого сдвига, тепловых и линейных расширений, изгиба вала, частоты вращения) сбора и обработки вибросигналов, выявления дефектов непрерывно работающего промышленного оборудования.

Программное обеспечение системы КАСКАД поддерживает мониторинг, выдает временный сигнал, спектр и тренды, позволяет определить значения "тревоги", фиксировать скачок вибрации, плавный рост, низкочастотную вибрацию, имеет базу данных, позволяет распечатывать протоколы.

2.4. Обоснование выбора средств контроля

Вибрационный датчик – это устройство, которое генерирует электрический сигнал, пропорциональный измеряемому параметру. Датчик реагирует на вибрационные явления и регистрирует их. Проксиметры – это приборы для измерения виброперемещения; велосиметры – для измерения виброскорости; акселерометры – для виброускорения.

Наиболее распространенный контактный метод измерения вибрации основан на применении пьезоэлектрических акселерометров, благодаря их широкому диапазону частот, малому весу, большой чувствительности, прочной конструкции и простым методам крепления.

Основные варианты конструкции[9]:

– сжатие: масса воздействует силой сжатия на пьезоэлектрический элемент;

– сдвиг: работа пьезоэлемента под действием срезающего усилия.

На рисунках 2.15 и 2.16 представлены варианты конструкций акселерометров.

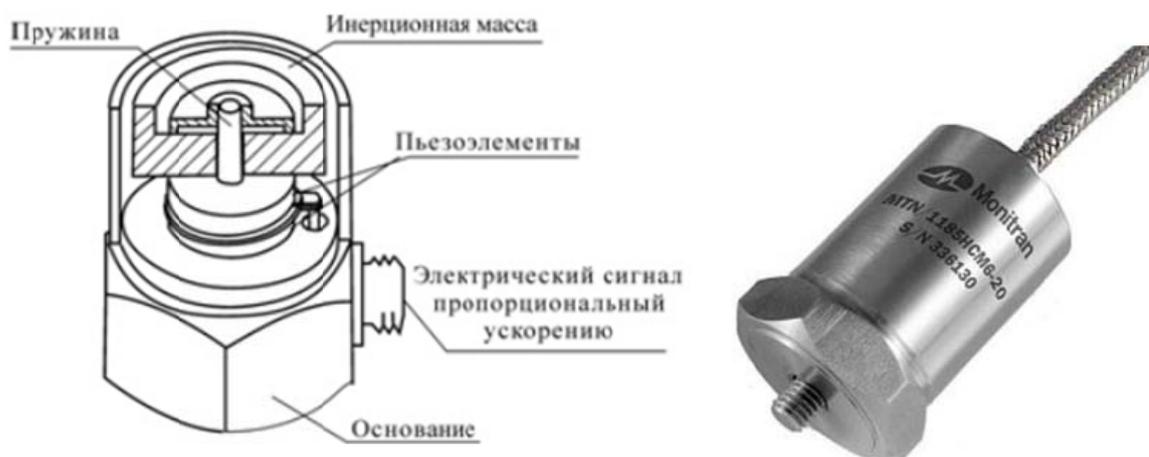


Рисунок 2.15 – Акселерометры. Датчик с элементом сжатия

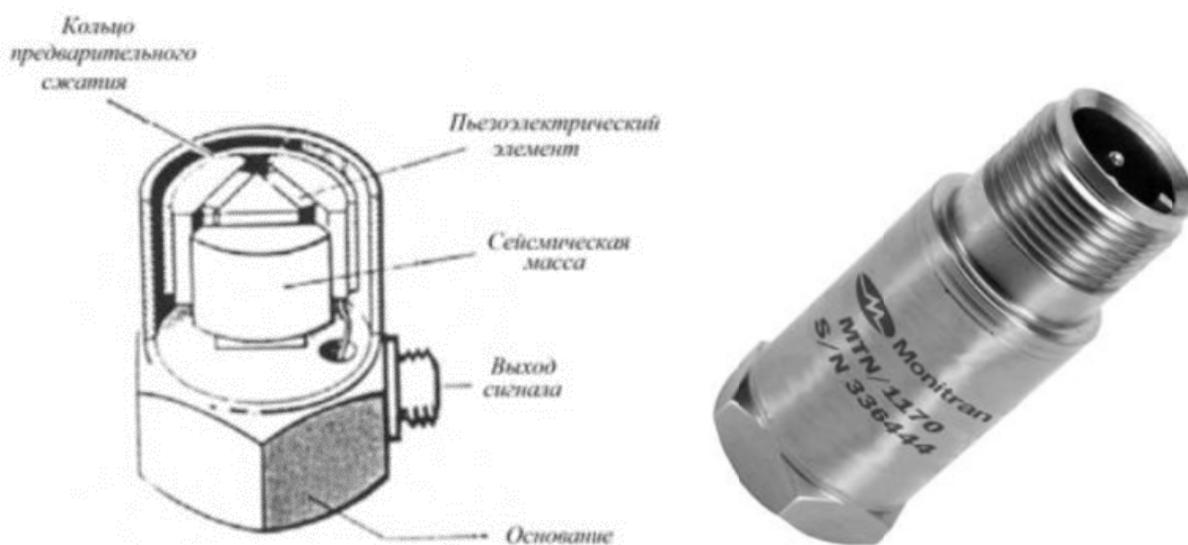


Рисунок 2.16 – Акселерометры. Датчик со сдвиговым элементом

Акселерометр является преобразователем механических колебаний в электрический сигнал пропорциональный виброускорению. Чувствительный элемент акселерометра состоит из одного или нескольких дисков или пластинок из пьезоэлектрических материалов. Над чувствительным элементом установлена инерционная масса, прижатая гайкой (жесткой пружиной). Под воздействием механических колебаний инерционная масса воздействует на пьезоэлемент с силой, пропорциональной ускорению. На поверхности пьезоэлемента возникает электрический сигнал пропорциональный

воздействующей силе и ускорению механических колебаний, то есть пьезоэлементы генерируют электрический заряд.

Акселерометры работают в ограниченном температурном диапазоне. Рабочий диапазон температур составляет от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для установки на горячие поверхности используются высокотемпературные пьезоакселерометры, работающие в диапазоне до $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Недостатком данного датчика являются большое количество времени на установку датчика и необходимость проведения слесарных работ.

Существуют несколько способов крепления вибрационных датчиков: при помощи шпильки, помощи воска, использование промежуточных элементов, при помощи магнитов, а также при помощи щупа.

На рисунке 2.17 показаны способы крепления датчиков.



Рисунок 2.17 –Способы крепления вибрационных датчиков

Наиболее предпочтительным является крепление при помощи шпильки. Такое крепление обеспечивает жесткое механическое соединение. Место проведения измерения предварительно подготавливается. В соответствии сГОСТ Р 52545.1 – 2006 поверхность соединения должна быть полностью очищена, так как загрязнение влияет на вибрацию подшипника. Перед

измерением подшипник необходимо смазать, используя масло с низкой вязкостью. Добавление связующей жидкости заполняет небольшие пустоты в монтажной поверхности и улучшает передачу вибрации и жесткость монтажа[6].

На рисунке 2.18 представлен акселерометр, закрепленный на винтах.



Рисунок 2.18 – Винтовое соединение

В соответствии с ГОСТ ИСО 5348 – 2002 кабель, к которому присоединен датчик, должен быть зафиксирован должным образом, так как деформация кабеля может привести к внесению дополнительных составляющих в сигнал вибрации. На рисунке показаны способы фиксации кабеля для разных типов соединения с акселерометром[5].

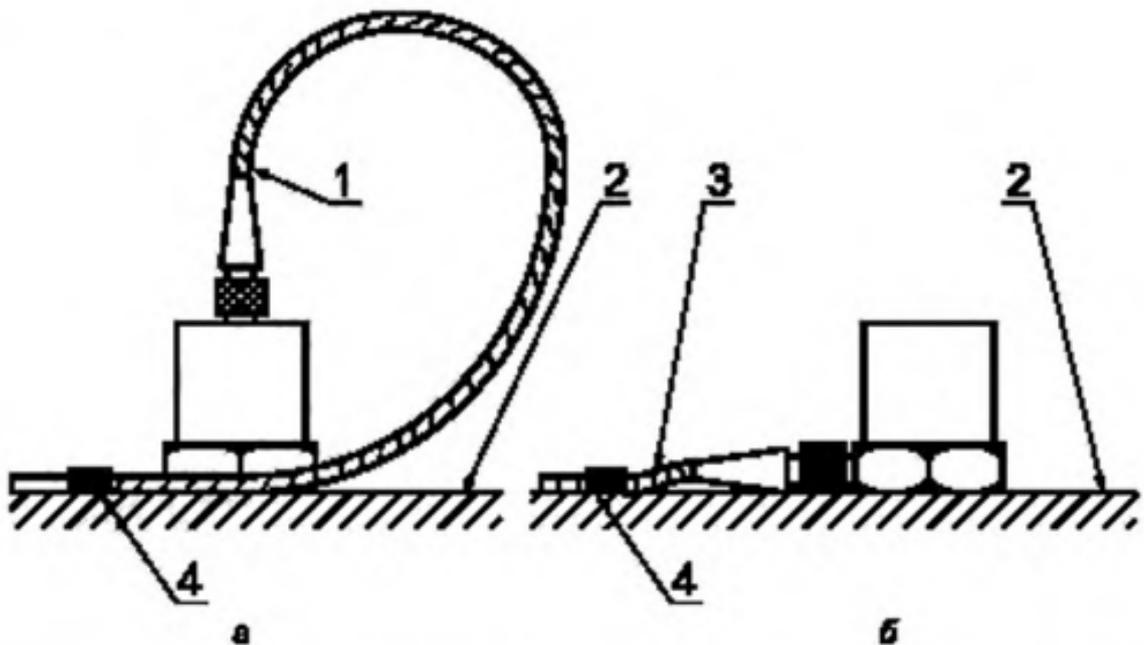


Рисунок 2.19 – а – осевое соединение кабеля; б – радиальное соединение кабеля

На рисунке 2.19 под номером 2 показана вибрирующая поверхность, 1 и 3 – отсутствие напряжения, 4 – кабель зафиксирован на вибрирующей поверхности.

2.5. Выбор мест расположения датчиков

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 17359–2009 точки измерений должны быть максимально информативны в отношении обнаружения возможной неисправности[8].

При выборе точек измерений следует принимать во внимание:

- безопасность при проведении измерений;
- чувствительность параметра в данной точке к изменению технического состояния;
- чувствительность параметра к другим влияющим величинам (желательно, чтобы она была низкой);
- повторяемость измерений;
- возможность ослабления или потери сигнала при его передаче;

- легкость доступа;
- факторы внешней среды;
- стоимость проведения измерений.

С целью обеспечения высокой надежности работы оборудования состояние подшипников нуждается в постоянном контроле. Каждое импульсное воздействие от дефекта возбуждает в элементах подшипника затухающие колебания на частотах собственного резонанса элементов.

Так как точки контроля вибрации должны в максимальной степени реагировать на динамические силы, то в соответствии с ГОСТ ИСО 10816–1–97 измерения проводятся на крышке или опоре каждого подшипника. Согласно ГОСТу измерения можно проводить в одном из трех ортогональных направлениях – в вертикальном, горизонтально – поперечном и горизонтально – осевом направлениях. При эксплуатационном контроле измерения проводятся в радиальном направлении (в горизонтальном и вертикальном). Кроме того, дополнительно можно также проводить измерения осевой вибрации, обычно в месте расположения упорного подшипника.

В настоящее время появились трехкоординатные датчики, которые используются для систем стационарного вибрационного мониторинга.

На рисунке показаны точки измерения на подшипниках.

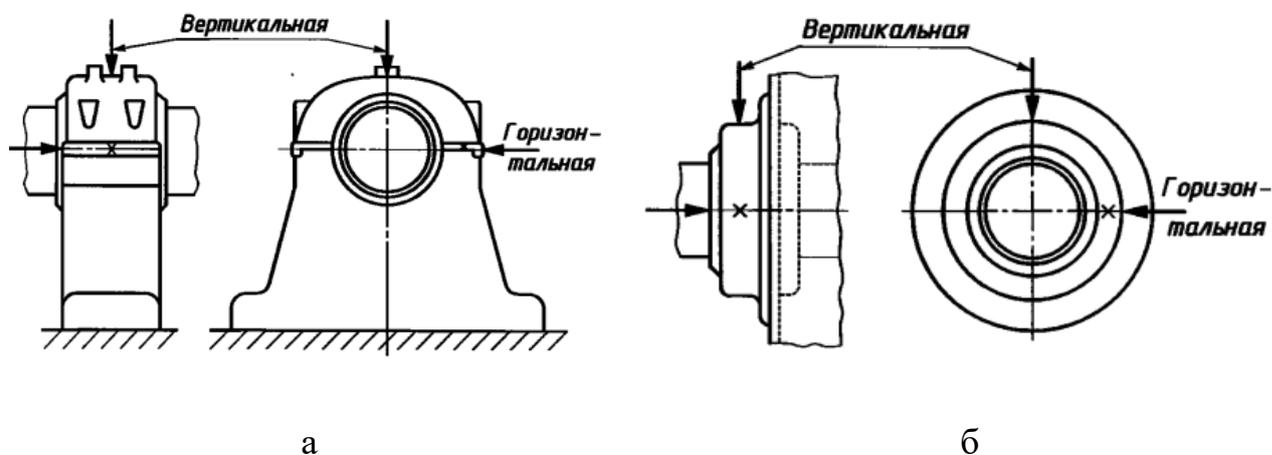


Рисунок 2.20 – а – точки измерения на опоре подшипника; б – точки измерения на корпусе подшипника

Акселерометры устанавливаются на корпусах подшипниковых опор. Во избежание нарушения целостности корпусов взрывозащищенного оборудования датчики устанавливаются на специальных держателях, закрепляемых на подшипниковых опорах резьбовыми соединениями, предусмотренными конструкцией агрегата.

ГЛАВА 3: ПРОГРАММНОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

3.1. Использование ЭВМ для определения причин вибрации механизмов

Применение ЭВМ и специализированных цифровых устройств позволяет оперативно накапливать информацию о состоянии механизмов при выявлении причин вибрации.

Раньше все преобразователи сигналов располагались на плате, которая вставлялась в компьютер и управлялась процессором компьютера, сигналы с датчиков передавались непосредственно в компьютер по длинным проводам. При такой структуре системы сбора многие сигналы (например, аналоговые) передавались с искажениями.

На смену такой структуре пришли удаленные системы сбора, то есть они удалены от компьютера и приближены к источникам сигналов (датчикам). Эти системы выполнены на базе одноплатных микроЭВМ, наиболее совершенными из которых являются микро-РС.

С компьютером микро-РС обычно соединяются с помощью какого-либо последовательного интерфейса. Удаленные системы сбора на базе одноплатных микро-РС имеют недостатки, одним из которых является очень высокая стоимость самой микро-РС. Применять такие удаленные системы можно в случае сбора сигналов с очень большого количества датчиков (100 и более), когда требуется высокоскоростная обработка поступающих сигналов. Когда количество сигналов насчитывает десятки или единицы, применять системы на базе микро-РС невыгодно.

Когда требуется удаленная компьютерная система сбора сигналов с небольшого количества датчиков используются однокристалльные микроЭВМ. Однокристалльные микроЭВМ – это микрокомпьютеры, расположенные на одной микросхеме.

Однокристалльные микроЭВМ представляют собой приборы в виде одной большой интегральной схемы (БИС) и включающие в себя все необходимое для минимальной конфигурации: процессор, запоминающее устройство данных, запоминающее устройство команд, внутренний генератор тактовых сигналов, АЦП, счетчики. Стоимость однокристалльных микроЭВМ ниже стоимости микро-PC. Однокристалльные микроЭВМ имеют небольшие размеры, низкое потребление энергии и простоту соединения с самыми разнообразными устройствами сбора сигналов с датчиков. Однокристалльное микроЭВМ совместно с компьютером – это эффективное средство сбора и обработки информации, поступающей с датчиков.

3.2. Программное обеспечение системы мониторинга

Программно-аппаратный комплекс реализован на базе программного обеспечения SCADA-система.

SCADA – это программный пакет, с помощью которого производится сбор данных, их обработка и хранение, представление информации об объекте мониторинга пользователю в понятном для него виде. SCADA может являться частью автоматизированной системы управления.

Подсистемы SCADA-система содержит следующие подсистемы:

- драйверы или серверы ввода-вывода – это программы, которые обеспечивают связь SCADA с аппаратным обеспечением нижнего уровня системы мониторинга;
- система реального времени – программы, которые обеспечивают обработку информации в реальном времени;
- пользовательский интерфейс – это инструмент представляет человеку – оператору данные о ходе процесса, что позволяет контролировать его;
- программа-редактор для разработки пользовательского интерфейса;
- база данных реального времени – программа, которая обеспечивает хранение данных, полученных в ходе процесса;

– система управления тревогами – программа, которая автоматически распределяет обработанные данные по категориям (нормальное состояние, предупреждение, аварийное состояние);

– генератор отчетов – программа содержит набор редакторов, инструментов для создания пользовательских отчетов;

– внешние интерфейсы – стандартные интерфейсы обмена данными между SCADA и другими приложениями;

Основные функции SCADA–системы:

– предоставления полной необходимой информации персоналу в виде различных отчётов;

– автоматическое оповещения оператора об аварийных и предаварийных ситуациях;

– отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме;

– подготовка отчетов;

– сохранение данных в архивных файлах, отображение архивной информации, представление ее в разных формах.

В настоящее время существуют SCADA–системы с открытым кодом. Они позволяют создавать пользовательские интерфейсы для автоматизации процесса; в зависимости от разновидности ПО перечень функций, которые выполняют SCADA–системы может изменяться.

В связи с этим были разработаны требования к ПО автоматизированной системы мониторинга газотурбинного двигателя, созданного на основе SCADA–системы.

К ПО предъявляются требования высокой надежности, а также удобного программного интерфейса, позволяющего оператору быстро получать и оценивать имеющуюся информацию по техническому состоянию объекта.

1. Основные требования к надежности.

Алгоритмы сжатия должны обеспечить сохранение всей информации за последние часы работы агрегата, перед его возможной остановкой, а также сжатую информацию за определённый период времени.

Запись и сжатие данных, регистрируемых в процессе мониторинга в программе, осуществляется в двух вариантах – текущие данные и данные, которые записываются на жёсткий диск компьютера, если программой был сделан вывод о неисправности диагностируемого агрегата.

Текущие данные хранятся только за последние 3 дня работы программы. Такая схема записи данных не позволяет превысит объем памяти жёсткого диска компьютера.

Алгоритмы архивации должны обеспечить минимальные потери информации при возможных сбоях в работе программной и аппаратной части комплекса.

ПО не должно выйти из строя ни при каких действиях оператора – неграмотных или умышленных. Единственно возможные причины прекращения мониторинга – санкционированный доступ, отсутствие питания или разрушение компьютера.

2. Основные требования к пользовательскому интерфейсу.

Основные требования – достаточность, логичность и отсутствие лишней информации в пользовательском интерфейсе программы мониторинга.

Основной экран программы должен отобразить текущее состояние обслуживаемого агрегата, автоматически указывать наиболее опасный узел. Система мониторинга должна отображать технические параметры на дисплее вместе с их предельными уровнями и индикацией технического состояния.

На экране должна быть световая индикация – норма, внимание, опасно.

При возникновении какой-либо неисправности, отслеженной системой, обслуживающий персонал должен получить исчерпывающую информацию об источнике неисправности.

Окно диагностических сообщений выполняет функции сигнализации текущего состояния агрегата (цветом), а также выводит сообщения о выявленной неисправности, ее месте и возможных действиях оператора.

Примеры визуализации собранных данных при помощи SCADA: данные, получаемые от средств измерения, отображаются в режиме реального времени на диспетчерском экране. На рисунке 3.21 пример графического представления собранных данных.

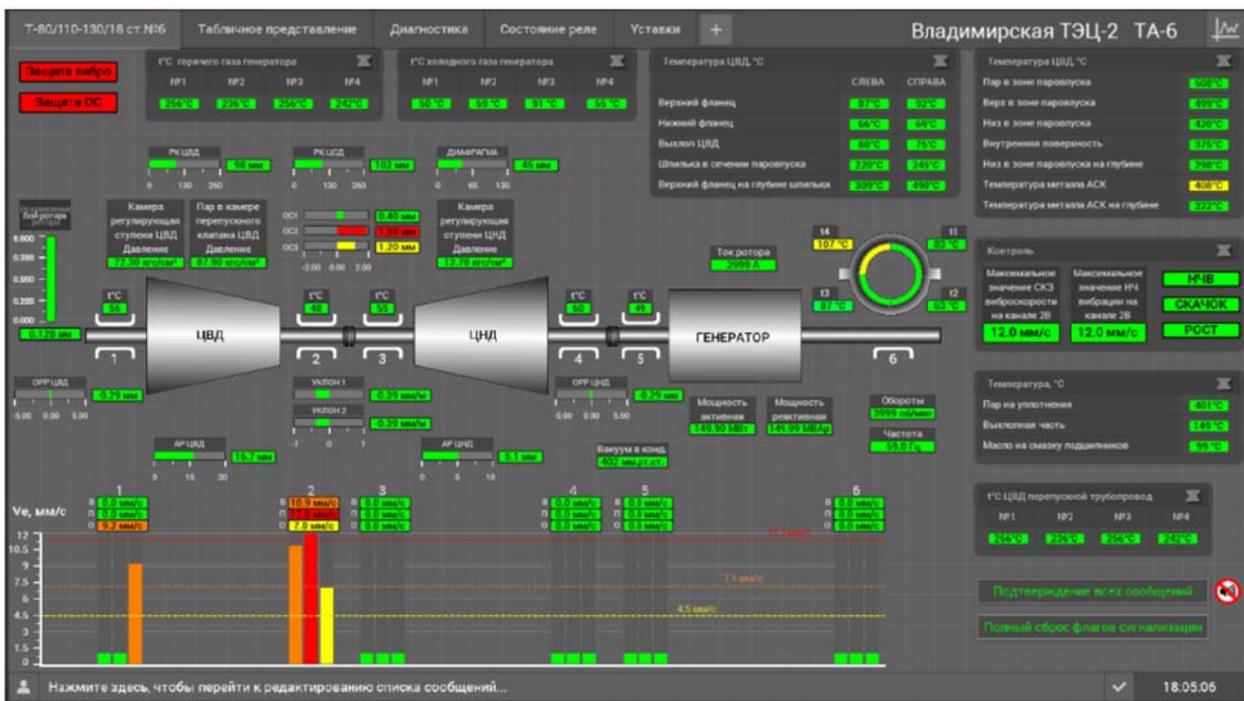


Рисунок 3.21 – Главные экран программы

Система мониторинга должна выводить на экран тренды параметров и спектры.

На рисунках 3.22 и 3.23 пример временной реализации виброускорения подшипников. На первом рисунке подшипник без дефектом, на втором с дефектом[15].

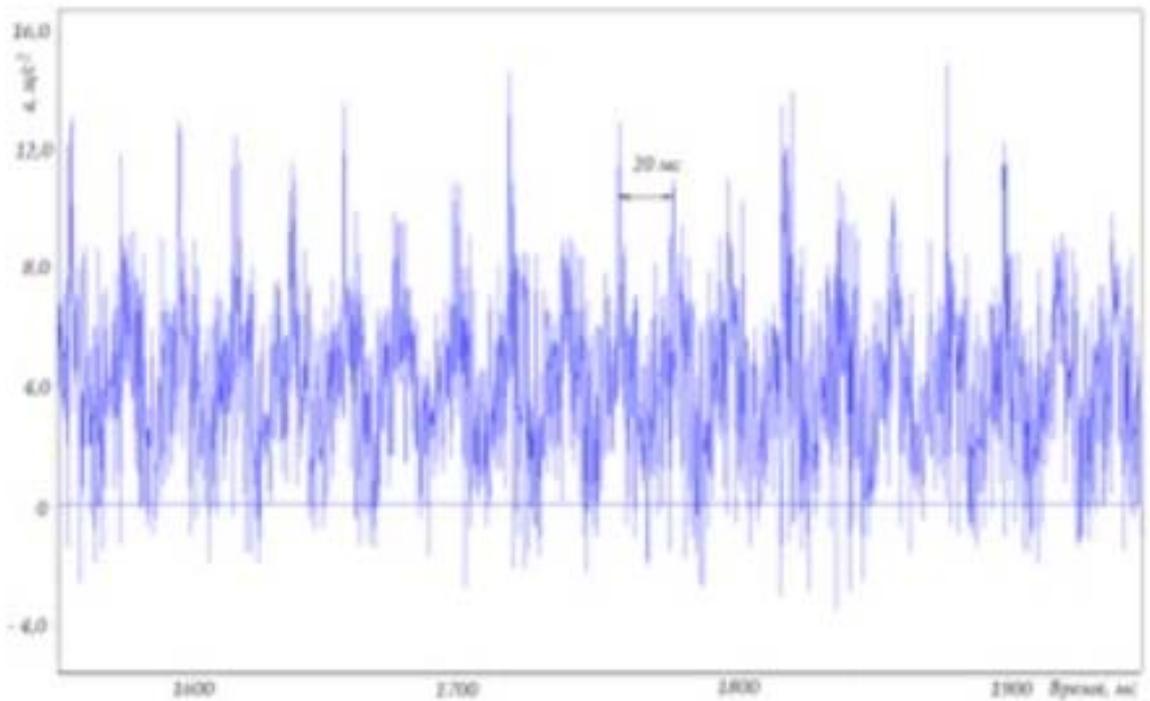


Рисунок 3.22 – Временный сигнал виброускорения подшипника без дефектом

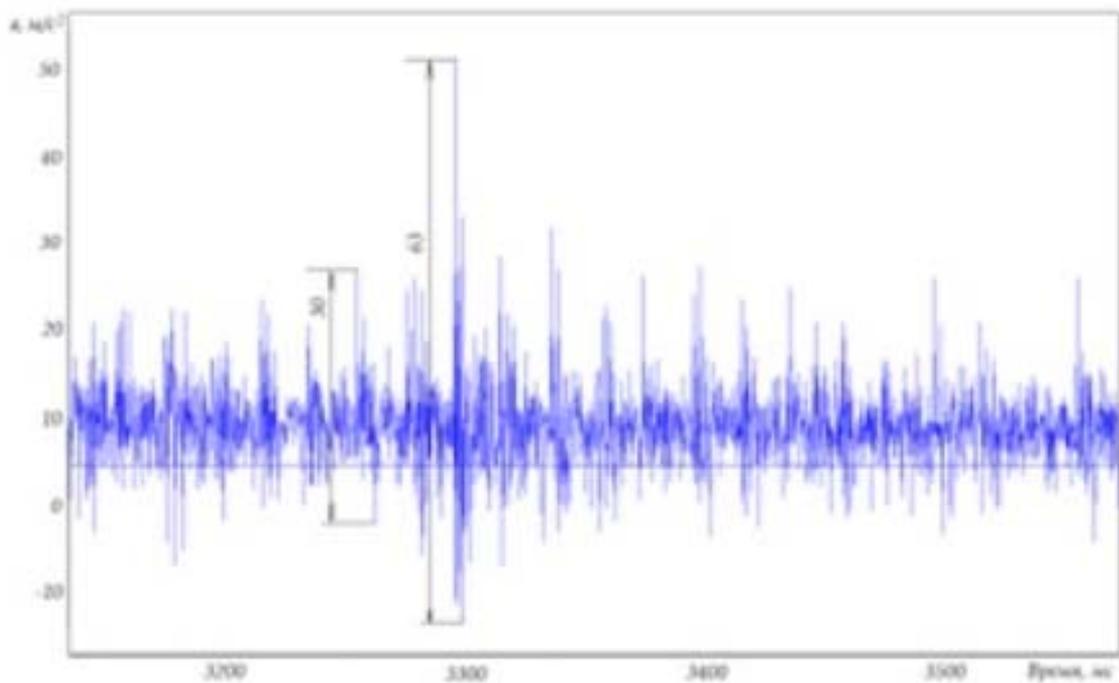


Рисунок 3.23 – Временный сигнал виброускорения подшипника с дефектом

На рисунках 3.24, 3.25, 3.26 показаны спектрограммы виброперемещения, виброускорения, виброскорости, зафиксированных в одной точке.

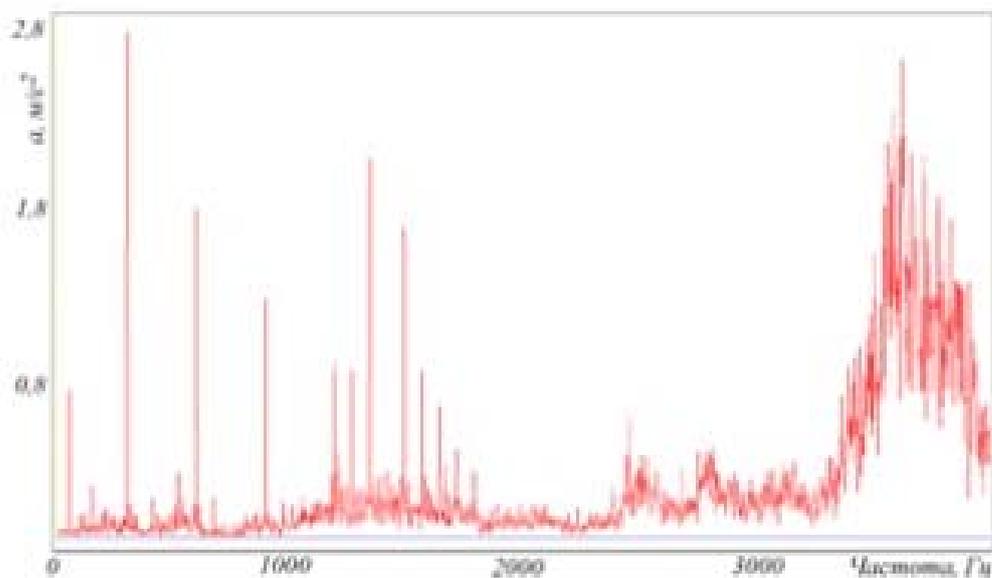


Рисунок 3.24—Спектрограмма виброускорения

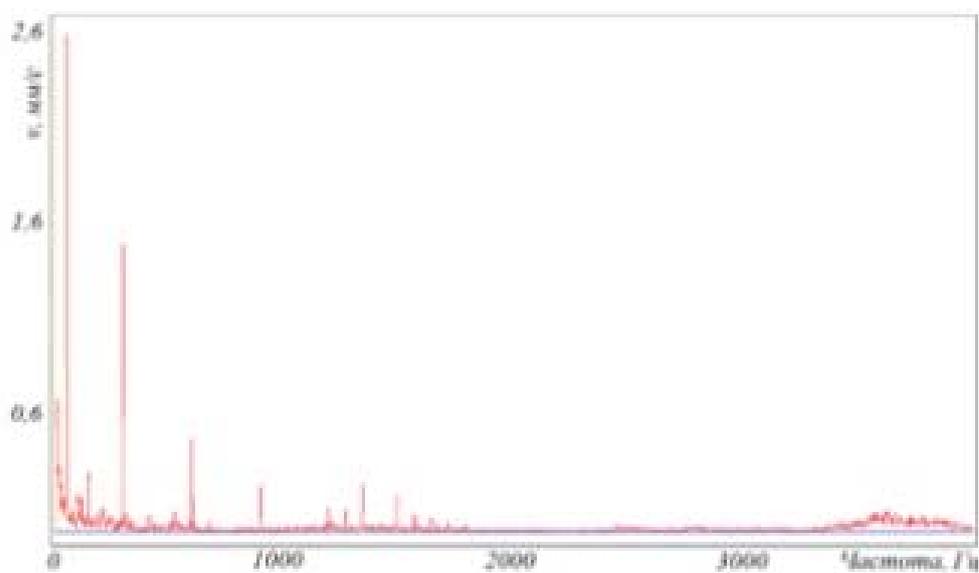


Рисунок 3.25 – Спектрограмма виброскорости

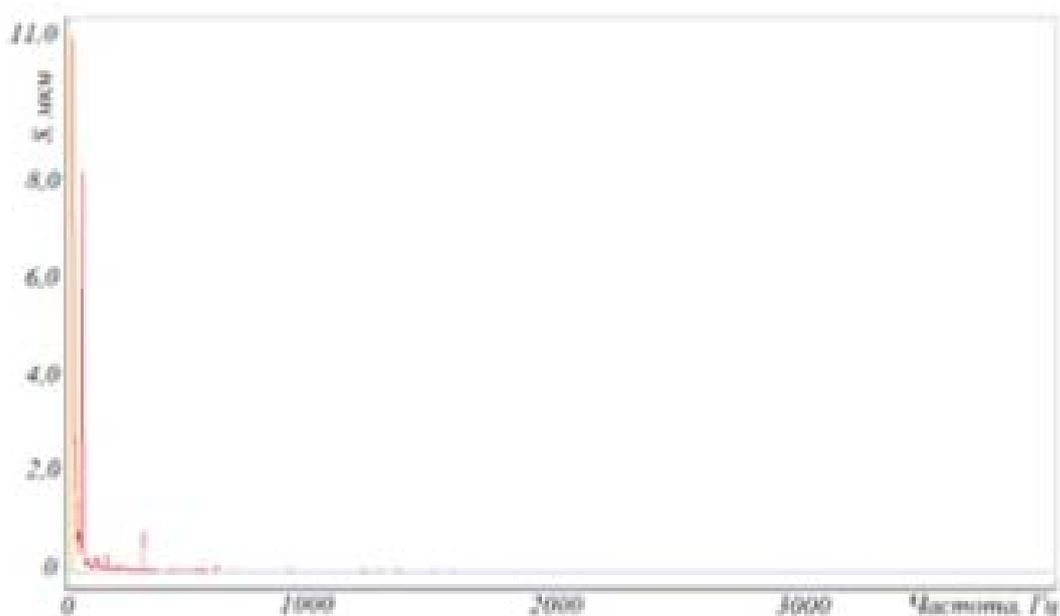


Рисунок 3.26 – Спектрограмма виброперемещения

Таким образом, ПО на основе SCADA предоставляет необходимую информацию о текущей работе газотурбиной установки, что позволяет оперативно принимать решения при возникновении неполадок.

3.3. Технико – экономическое обоснование автоматизированной системы мониторинга

Технико – экономическое обоснование – это обоснование экономической эффективности внедрения системы вибромониторинга технического состояния оборудования.

Эффективность внедрения мониторинговых систем определяется отношением величины финансового ущерба от возможных аварийных ситуаций при эксплуатации оборудования или остановки оборудования, к величине затрат на внедрение мониторинговой системы.

Необходимость внедрения мониторинговой системы определяется следующими факторами:

– разрушение оборудования может приводить ко значительным материальным и экологическим потерям, а также человеческим жертвам;

– затруднён доступ к объекту для осуществления периодического контроля;

– работы по периодическому контролю требуют полной остановки объекта;

– требуется увеличение межремонтного периода.

Основной целью внедрения систем вибромониторинга для контроля оборудования, является улучшение качества контроля рабочих параметров. Контроль рабочих параметров позволяет предотвратить развитие дефектов элементов объекта.

Системы мониторинга, которые работают в реальном времени решают следующие задачи:

– раннее обнаружение и прогнозирование неисправностей оборудования;

– оценка состояния оборудования и формирование планов ремонтов;

– предупреждение персонала о возможном критическом состоянии объекта, выдача необходимых указаний и рекомендаций по переводу оборудования в безопасный режим;

– сбор информации, хранение результатов анализа системы;

– снижение роли человеческого фактора при оценке технического состояния оборудования;

Затраты при внедрении системы мониторинга включают:

– приобретение и установка на оборудовании мониторинговой системы;

– формирование центра обработки данных мониторинга;

– обученные специалисты для обслуживания мониторинговых систем.

Технико – экономический эффект от внедрения системы диагностики в производстве определяется:

– предоставлением информации о фактическом техническом состоянии агрегата и его реальных характеристиках;

– предотвращением аварий, уменьшение затрат на ремонт, так как выявление слабых мест будет происходить своевременно;

– снижением стоимости ремонта благодаря заранее известным дефектов, так как это позволяет провести их ремонт или замену до полного выхода из строя;

– уменьшением количества плановых проверок.

Таким образом, применение вибромониторинга для крупного и дорогостоящего оборудования полностью оправдана экономически, даже с учетом расходов на систему вибромониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа направлена на изучение устройства судового двигателя и принципов проведения вибродиагностики. В работе были определены дефекты различных элементов газотурбинного двигателя и определены методы, с помощью которых можно обнаружить данные неисправности. Для системы вибромониторинга газотурбинного двигателя было подобрано аппаратное обеспечение, а также выбрано программное обеспечение. На основе полученных знаний была спроектирована автоматизированная система вибромониторинга газотурбинного двигателя.

Данная системы была спроектирована по принципу стационарной системы. Основными требованиями предъявляемые к системе являются то, что система должна своевременно обнаруживать дефекты и оповещать о них, должна хранить информацию обо всех зарегистрированных неисправностях.

Разработанная система работает следующим образом. Датчики устанавливаются на корпусе подшипников в вертикальном направлении. Они подключены к блоку преобразования и обработки сигналов. Данный блок соединен с сервером, который анализирует полученную информацию с датчиков и выдает рекомендации по устранению дефектов, если они обнаружены. Далее в понятном для человека формате на компьютер поступает результат анализа, который произвел сервер.

Отличительной особенностью данной схемы является то, что все элементы системы соединены между собой кабелем. Это позволяет передавать информацию без искажений.

В качестве основного параметра измерений был выбран параметр виброускорение, так как с помощью интегрирования можно с легкостью перейти к другим параметрам вибрации, таким как виброскорость и виброперемещение. Датчик, который измеряет виброускорение называется акселерометр. Датчик предпочтительнее крепить с помощью винтового соединения, так как такое крепление обеспечивает жесткое механическое соединение.

В качестве ПО, которое призвано отображать результаты обработки сигналов в понятном для человека виде, была выбрана система SCADA. Система SCADA – это программный пакет, с помощью которого производится сбор данных, их обработка и хранение, представление информации об объекте мониторинга. Особенностью данной системы является то, что она имеет открытый код, благодаря этому данную систему можно подстраивать под свои нужды.

В качестве ЭВМ, который используется в блоке преобразования и обработки сигналов, был выбран однокристалльный микроЭВМ, так как однокристалльный микроЭВМ совместно с компьютером является эффективным средством сбора и обработки информации, поступающей с малого количества датчиков.

Таким образом, была разработана система мониторинга газотурбинного двигателя, которая предотвращает возможность появления серьезных неисправностей. Пользоваться данной системой будет экипаж судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсеньев Л. В. Газотурбинные установки. Конструкции и расчет: Справочное пособие/Арсеньев Л. В., Тырышкина В.Г. Ленинград – 232 с.
2. Гаврилин А.Н. Диагностика технологических систем: учебное пособие. Часть 2/ А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014 г. – 128 с.
3. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. – Переиздание: ноябрь 2009 г – 9 с.
4. ГОСТ ИСО 10816-1-97 Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. – Переиздание. июль 2009 г. - 17 с.
5. ГОСТ ИСО 5348 – 2002. Механическое крепление акселерометров. – Введ. 30.05.2002
6. ГОСТ Р 52545.1 – 2006. Методы измерения вибрации. – Введ. 23.05.2006 г. – 19 с.
7. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. – Введ. 15.12.2009 – 47 с.
8. ГОСТ Р ИСО 17359–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство по организации контроля состояния и диагностирования. - Дата актуализации: 01.01.2021. – 13 с.
9. Измерение параметров вибрации Лекция 12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eam.su/lekcija-12-izmerenie-parametrov-vibracii.html> / (дата обращения: 10.05.23)
10. Лекции по теплотехнике. Конспект лекций [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studref.com/701212/tehnika/gazoturbinnye_ustanovki/ / (дата обращения: 30.03.23)
11. Матюшкова О. Ю., Тэттэр В. Ю. Современные методы виброакустического диагностирования [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-vibroakusticheskogo-diagnostirovaniya/viewer> / (дата обращения: 26.04.23)

12. Методы технической диагностики [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studref.com/385998/tehnika/vybor_parametrov_izmereniya_kolichestvennaya_otsenka_vibratsii / (дата обращения: 05.05.23)

13. Недошивина Т. А. Вибрационная надежность энергетических установок: учебное пособие / Т. А. Недошивина, А. В. Кистойчев; М-во науки и высш. образ. РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 204 с.

14. Общие сведения о судовых газотурбинных установках Лекция 1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [file:///C:/Users/user/Downloads/138.%20Лекция.%20Общие%20сведения%20о%20судовых%20газотурбинных%20установках%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/138.%20Лекция.%20Общие%20сведения%20о%20судовых%20газотурбинных%20установках%20(2).pdf) / (дата обращения: 21.03.23)

15. Параметры и характеристики механических колебаний Лекция 11 [Электронный ресурс]. Режим доступа: Facebook VK Odnoklassniki Telegram Viber WhatsApp Email Ресурс / (дата обращения: 15.05.23)

16. Подшипники турбогенераторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/249319833.pdf/> (дата обращения: 21.03.23)

17. Принцип работы ГТУ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://principraboty.ru/princip-raboty-gtu/> (дата обращения: 22.03.23)

18. Рыбалко В.В. Корабельные газотурбинные энергетические установки: учебное пособие. СПб. 2008. - 76 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ribalco.exponenta.ru/publ13.html> / (дата обращения: 05.04.23)

19. Соколов В. С. Газотурбинные установки: Учеб. пособие. — 151 с.

20. Соколова А.Г., Балицкий Ф.Я Вибромониторинг машинного оборудования и раннее обнаружение эксплуатационных повреждений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=200> / (дата обращения: 15.05.23)

