

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Программное обеспечение для диагностики состояния редукторов проходческого комбайна П110М

УДК 004.4:621.83:622.232.83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Наталья Вячеславовна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Николай Архипович	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАП	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		
Руководитель ООП	Пушкарев Максим Иванович	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

по направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»

Код результатов	Результаты обучения Профессиональные и общепрофессиональные компетенции
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения Весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 10.06.2019

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.04.2019	Раздел 1. Методы технической диагностики машин и оборудования	15
01.04.2019	Раздел 2. Методы диагностики состояния редуктора проходческого комбайна	20
15.05.2019	Раздел 3. Программное обеспечение для диагностики состояния редуктора	20
30.05.2019	Раздел 4. Проверка работоспособности и эффективности программного обеспечения	20
15.05.2019	Раздел 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
15.05.2019	Раздел 6. Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		
Руководитель ООП	Пушкарев Максим Иванович	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки - 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерская диссертация

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна

Тема работы:

Программное обеспечение для диагностики состояния редукторов проходческого комбайна П110М
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.02.2019 №1160/с
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ ISO 2372; - ГОСТ ISO 10816-1; - ГОСТ ISO 10816-3; - экспериментальные значения виброскорости; - OPC-сервер протоколов Modbus; - платформа Tibbo AggreGate.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературы по технической диагностики. 2. Диагностические признаки подшипников качения комбайна. 3. Диагностические признаки редукторов комбайна. 4. Разработка программного обеспечения на платформе AggreGate с применением технологии машинного обучения. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	Презентация

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Скаковская Наталья Вячеславовна
Социальная ответственность	Алексеев Николай Архипович
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Методы технической диагностики машин и оборудования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.02.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна		

**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	27.04.04 "Управление в технических системах"

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материальные затраты: 711056 руб.; Спецоборудование: 230000 руб.; Прочие расходы: 7959 руб.; Зарплаты: 211136 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчётно-аналитические
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Процент отчислений на уплату во внебюджетные фонды - 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений. 3. SWOT- анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Определение трудоёмкости работ. 2. Разработка графика проведения научного исследования
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Основная заработная плата исполнительной темы 2. Дополнительная заработная плата исполнительной темы 3. Отчисления во внебюджетные фонды 4. Прочие расходы 5. Формирование бюджета затрат НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение ресурсоэффективности проекта расчётом интегрального показателя

Перечень графического материала:

1. Карта сегментирования рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Морфологическая матрица
5. Диаграмма Ганта
6. Материальные затраты
7. График проведения и бюджет НТИ
8. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.02.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Н.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна		

"СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ"

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	27.04.04 "Управление в технических системах"

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Тема - "Программное обеспечение для диагностики состояния редукторов проходческого комбайна П110М ". Объектом исследования являются значения виброперемещения, виброскорости и виброускорения, полученные с датчика вибрации, который установлен на редукторе проходческого комбайна П110М. Разработанное программное обеспечение создано при помощи технологии машинного обучения, что позволяет прогнозировать развитие каких-либо дефектов проходческого комбайна. С помощью данного программного обеспечения инженеры могут проводить технического обслуживания оборудования.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p>	<p>1. Специальные правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<p>2. Производственная безопасность</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; <p>2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – микроклимат производственного помещения; – освещённость рабочего места; – шум и вибрация; – напряженность магнитного поля. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электрический ток; – производственная пыль.

<p>3. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Воздействие на литосферу в случае утилизации персонального компьютера, как отход электронной промышленности. Воздействие на гидросферу из-за подъема большого количества шахтных, рудничных, карьерных и дренажных вод (далее - шахтных вод), загрязняющих водные бассейны.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Пожар на рабочем месте. Выделение метана. Угольная пыль. Воспламенение угля. Обвал пластов породы. Прорыв дамбы.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.02.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ71	Каминская Виктория Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 144 страницы текста, 34 рисунка, 20 таблиц, 43 литературных источника, 10 приложений.

Ключевые слова: техническая диагностика, вибродиагностика, проходческий комбайн, подшипники, редуктор, машинное обучение, алгоритмы машинного обучения, прогнозирование.

Целью работы является создание программного обеспечения, предназначенного для дистанционного определения состояния редуктора проходческого комбайна П110М, эксплуатирующего в сложных шахтных условиях.

Результатом исследования является программное обеспечение на платформе Tibbo AggreGate, функционалом которого является техническая диагностика редуктора проходческого комбайна.

Значимость данной работы состоит в том, что при помощи программного обеспечения осуществляется определение и прогнозирование состояния редуктора, который находится в составе комплекса проходческого комбайна, эксплуатирующегося в сложных условиях. Более того, данная разработка позволит предупреждать аварии, которые влекут за собой поломку оборудования, ремонтные работы, сопровождающиеся простоем в производстве.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 на базе платформы Tibbo Aggregate и OPC-сервера протоколов Modbus.

Оглавление

Перечень условных обозначений	13
Введение.....	14
1 Методы технической диагностики машин и оборудования.....	15
1.1 Методы технической диагностики	16
1.2 Вибродиагностика	20
2 Методы диагностики состояния редуктора проходческого комбайна.....	26
2.1 Проходческий комбайн П110М	26
2.2 Структурная схема системы диагностики редуктора.....	31
2.2.1 Датчик вибрации ДВР.....	33
2.2.2 Радиомодем РМС1	38
2.2.3 Блок передачи данных БПДЗ	39
2.2.4 Искробезопасный источник питания ИБП1	41
2.3 Выбор методов вибродиагностики состояния редуктора проходческого комбайна	43
2.3.1 Общий уровень вибрации.....	44
2.3.2 Метод прямого спектра	45
3 Программное обеспечение для диагностики состояния редуктора.....	49
3.1 Описание платформы Tibbo AggreGate.....	50
3.2 Алгоритмы машинного обучения	52
3.2.1 Линейная регрессия.....	53
3.2.2 Деревья решений.....	60
3.3 Техническое задание на разработку программного обеспечения	65
3.4 Структура программного обеспечения	66
4 Проверка работоспособности и эффективности программного обеспечения.....	72
4.1 Проверка работоспособности программного обеспечения. Метод прямого спектра	76

4.2	Проверка работоспособности программного обеспечения. Метод общего уровня вибрации.....	78
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	81
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	81
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	81
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений	82
5.1.3	SWOT-анализ.....	84
5.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	84
5.3	Планирование научно-исследовательских работ.....	84
5.3.1	Структура работ научного исследования	84
5.3.2	Определение трудоёмкости работ	85
5.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	86
5.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	87
5.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	87
5.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	88
5.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	89
5.4.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	90
5.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды	91
5.4.6	Прочие расходы.....	92
5.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	92
5.5	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследований.....	93
6	Социальная ответственность	96
6.1	Аннотация	96
6.2	Введение	96

6.3	Производственная безопасность	97
6.3.1	Микроклимат производственного помещения.....	97
6.3.2	Освещенность рабочего места	99
6.3.3	Шум и вибрация	103
6.3.3	Напряженность магнитного поля	105
6.3.4	Электрический ток	105
6.3.5	Производственная пыль.....	109
6.4	Экологическая безопасность	110
6.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	111
6.6	Организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности.....	115
	Заключение	120
	Список используемых источников.....	121
	Приложение А-Описание используемых функций платформы Tibbo AggreGate.....	125
	Приложения Б-Карта сегментирования рынка.....	126
	Приложение В-SWOT-анализ	127
	Приложение Г-Морфологическая матрица для определения и улучшения показателей качества программного обеспечения по экспериментальным данным.....	128
	Приложение Д-Перечень работ и загрузка исполнителей.....	129
	Приложение Е-Трудозатраты на выполнение проекта	131
	Приложение Ж-Календарный план проведения научного исследования	133
	Приложение К-Перечень опасных и вредных факторов технологии	136
	Приложение Л-Methods of technical diagnostics of machines and equipment.....	138

Перечень условных обозначений

БПД	Блок передачи данных
ВДУ ЭМП	Временные допустимые уровни электромагнитных полей
ДВР	Датчик вибрации радио
И	Инженер
К	Консультант
КЕО	Коэффициент естественного освещения
КЧС	Комиссия чрезвычайных ситуаций
МЭМС	Микроэлектромеханические системы
НР	Научный руководитель
НТЭ	Научно-технический эффект
ПО	Программное обеспечение
ПУЭ	Правила установок и эксплуатации
РМС	Радиомодем
СКЗ	Среднее квадратическое значение
СМЛК	Система мониторинга лавного конвейера
ЧС	Чрезвычайная ситуация

Введение

Многолетний опыт исследования работы оборудования показывает, что внедрение средств диагностики технических средств является основополагающим фактором повышения экономической эффективности использования различного оборудования на предприятиях. Целью диагностики является предупреждение отказов, выявление неисправностей, а также поддержка эксплуатационных показателей на должных уровнях.

Существует множество методов технической диагностики, которые позволяют анализировать работу оборудования и определять дефекты без нарушения целостности оборудования. В качестве объекта исследования в данной работе рассматривается редуктор проходческого комбайна П110М.

В настоящей работе выбран метод вибрационной диагностики, который основан на анализе параметров вибрации. Основным преимуществом данного метода является обнаружение скрытых дефектов оборудования и неисправностей на этапе их зарождения.

Правильность определения дефекта зависит от метода вибродиагностики, среди которых имеют место следующие ошибки:

- пропуск дефекта (имеется дефект, но специалист по диагностике не умеет его выявлять);
- исправная машина бракуется специалистом по вибродиагностике.

Эффективность данных методов вибродиагностики были рассмотрены на примере диагностирования подшипников качения комбайна, так как они осуществляют пространственную фиксацию вращающихся роторов и воспринимают основную часть статических и динамических усилий, возникающих в редукторе. Поэтому техническое состояние подшипников является важнейшей составляющей, определяющей работоспособность комбайна в целом.

1 Методы технической диагностики машин и оборудования

Развитие средств и методов технической диагностики применительно к условиям работы горношахтного оборудования является важным фактором дальнейшего совершенствования процесса эксплуатации оборудования, обеспечивающего ее безопасность и возможность предупреждения аварийных режимов работы и внезапных отказов.

Диагностирование является составной частью технического обслуживания и ремонта оборудования и обеспечивает его проведение по фактическому техническому состоянию при решении следующих основных задач:

- определение вида технического состояния оборудования;
- поиск места дефекта;
- определение причин появления дефектов и выдача рекомендаций по их устранению;
- прогнозирование технического состояния оборудования;
- контроль правильности действия эксплуатационного персонала по эксплуатации оборудования; накопление статистического материала для совершенствования технологии изготовления и режимов эксплуатации вновь создаваемых машин.

Наиболее эффективными методами диагностирования являются виброакустический, пневмогидравлический, кинематический и электромагнитный. Диагностические признаки, определяющие техническое состояние, вызываемые различного рода дефектами, следует оценивать по следующим состояниям: структурному (геометрия, взаимосвязь деталей, состояние материала деталей); функциональному (эксплуатационные показатели и характеристики рабочего процесса и процесса регулирования); вибрационному (совокупность колебательных процессов).

Значительное число дефектов (до 60%) составляют прочностные дефекты, что объясняется сложностью и недостаточным совершенством

динамических расчетов, а также упрощенными представлениями о физике колебательных процессов и вызываемых ими напряжениях[1].

1.1 Методы технической диагностики

Техническая диагностика представляет собой систему методов, применяемых для установления и распознавания признаков, характеризующих техническое состояние оборудования. Все методы технического диагностирования разделяются на органолептические и приборные.

Органолептический метод основывается на оценке информации, которая воспринимается человеком без использования различных технических средств. Данная информация не имеет технического представления, поэтому точность данного метода зависит от опыта и квалификации сотрудника, занимающегося диагностикой оборудования.

В этом случае диагностика устройства выполняется по правилам «если - то», «совпадает - не совпадает». Оценка работоспособности системы может принимать два состояния - продолжить работу или прекратить работу и выполнить ремонт. Основная цель органолептического метода - выявить отклонения от нормального состояния механизма. Решение о продолжении или прекращении эксплуатации системы принимается обслуживающим персоналом на основании имеющегося опыта различных производственных обстоятельств. Если принято решение прервать работу системы, то конкретную проблему можно определить с помощью приборных методов.

Практический опыт показывает, что невозможно заменить механика с его субъективным мнением о работе системы в целом, основанном на знаниях и особенностях эксплуатации оборудования. Органолептический метод является отправной точкой для дальнейшего диагностирования состояния оборудования. Стандартами, использование органолептического метода контроля не регламентируется, однако в практике работы служб технического обслуживания он применяется повсеместно.

Основные органолептические методы, используемые при оценке технического состояния механического оборудования.

1. Анализ шумов механизмов проводится по двум направлениям:

1.1. Акустическое восприятие, позволяющее оценивать наиболее значимые повреждения, меняющие акустическую картину механизма. Весьма эффективно при определении повреждений муфт, дисбаланса или ослабления посадки деталей, обрыве стержней ротора, ударах деталей. Диагностические признаки – изменение тональности, ритма и громкости звука.

1.2. Анализ колебаний механизмов. В этом методе механические колебания корпусных деталей преобразуются в звуковые колебания при помощи технических или электронных стетоскопов. Электронные средства позволяют расширить возможности человеческого восприятия.

2. Контроль температуры позволяет оценить степень нагрева корпусных деталей по уровням «холодно», «тепло», «горячо». «Холодно» – температура менее плюс 20 °С, «тепло» – температура от плюс 30 до плюс 40 °С, «горячо» – температура свыше плюс 50 °С.

3. Визуальный осмотр механизма предоставляет большую часть информации о техническом состоянии. Осмотр может проводиться в динамическом режиме (при работающем механизме) и в статическом (при остановленном механизме).

4. Методы осязания используются при оценке волнистости, шероховатости, качестве смазочного материала, его вязкости, пластичности, наличии посторонних включений, для оценки шероховатости поверхности поврежденных деталей.

Наряду с органолептическими методами при техническом диагностировании используются приборные методы, позволяющие получить количественную оценку измеряемого параметра. Диагностирование с

применением приборов основано на получении информации в виде электрических, световых, звуковых сигналов, отображающих изменение состояния объекта. В зависимости от физической природы измеряемых параметров различают:

1. Механический метод – основан на измерении геометрических размеров, зазоров в сопряжениях, давлений и скорости элементов. Применяется при количественной оценке износа деталей, установлении люфтов и зазоров в сопряжениях, давлениях в гидро- и пневмосетях, сил затяжки резьбовых соединений, номинальной скорости привода. Используется разнообразный мерительный инструмент и приборы: линейки, штангенциркули, щупы, шаблоны, индикаторы перемещения часового типа, динамометрические ключи, ключи предельного момента, манометры.
2. Электрический метод (ваттметрия) заключается в измерении: силы тока, напряжений, мощности, сопротивлений и других электрических параметров. Метод позволяет по косвенным параметрам установить техническое состояние механизма. Средства для реализации: амперметры; вольтметры; измерительные мосты; датчики: перемещений, крутящих моментов, давлений; тахогенераторы; термопары.
3. Тепловой метод (термометрия) – основан на измерении температурных параметров диагностируемого объекта. С помощью термометрии определяются: деформации, вызываемые неравномерностью нагрева, состояние подшипниковых узлов, смазочных систем, тормозов, муфт. Используются: термосопротивления, термометры, термопары, термоиндикаторы, термокраски, тепловизоры.
4. Виброакустические методы (виброметрия) основаны на измерении упругих колебаний, распространяющихся по узлам в результате соударения движущихся деталей при работе механизмов. Область применения: оценка и контроль механических колебаний; определение,

распознавание и мониторинг развития повреждений в деталях и конструкциях. Используются: шумомеры, виброметры, спектроанализаторы параметров виброакустического сигнала.

5. Методы анализа смазки основаны на определении вида и количества продуктов изнашивания в масле. Применяются способы: колориметрический, полярографический, магнитно-индукционный, радиоактивный и спектрографический.
6. Методы неразрушающего контроля: магнитные, вихретоковые, ультразвуковые, контроля проникающими веществами, радиационные, радиоволновые. Методы используются для определения целостности отдельных деталей механизма [2].

Вибродиагностический метод для диагностики технического состояния агрегатов является самым эффективным для быстрого обнаружения дефектов роторного оборудования, всеразличных редукторов, турбин, насосов, электродвигателей на самых ранних стадиях зарождения. Дефекты связанные непосредственно с оборотной частотой, такие как дисбаланс, расцентровка, ослабление фундамента, а так же развитие дефектов подшипников, либо же плохое зубозацепление шестерней редукторов, диагностируются и определяются именно этим методом всего за один съём данных по вибрации. Так же можно вести вибродиагностическое обследование и выявление развитых дефектов, при помощи съёма общего уровня вибрации по трем направлениям измерения, каждое из которых отвечает за виды дефекта. Так например превышение уровня вибрации в горизонтальном направлении говорит о дисбалансе оборудования, в вертикальном направлении о ослаблении фундамента на котором установлен агрегат, и аксиальное направление говорит о расцентровке.

Нормы по уровню вибрации делятся на классы мощности, присущие каждому типу оборудования и описаны в ГОСТ ИСО 10816 «Вибрация.

Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях».

1.2 Вибродиагностика

Вибрационная диагностика - это метод диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации создаваемой работающим, обусловленной структурой исследуемого объекта

Вибродиагностика играет значительную роль в обнаружении сложных дефектов, так как возникающие при работе машины вибрации достаточно полно отражают относительное состояние детали или узла, позволяют судить о возникающих динамических нагрузках, а также обнаруживать причины дефектов.

Методы вибродиагностики направлены на обнаружение и идентификацию неисправностей агрегатов горных машин и оборудования, влияющих на их вибрацию - дефектов роторов, дефектов опорной системы, узлов статора, подшипников скольжения и подшипников качения, зубчатых и ременных передач, испытывающих или генерирующих динамические нагрузки.

Носителем информации о техническом состоянии элементов работающего оборудования в вибродиагностике является виброакустический сигнал. Вибросигнал практически мгновенно реагирует на изменение состояния оборудования, что определяет скорость постановки диагноза и принятия решения.

Вибросигнал - это сложное колебательное движение, которое может быть представлено в виде совокупности простых гармоник, которые описываются тремя параметрами: частотой f , амплитудой S и начальной фазой φ . На рисунке 1 представлен график колебательных движений.

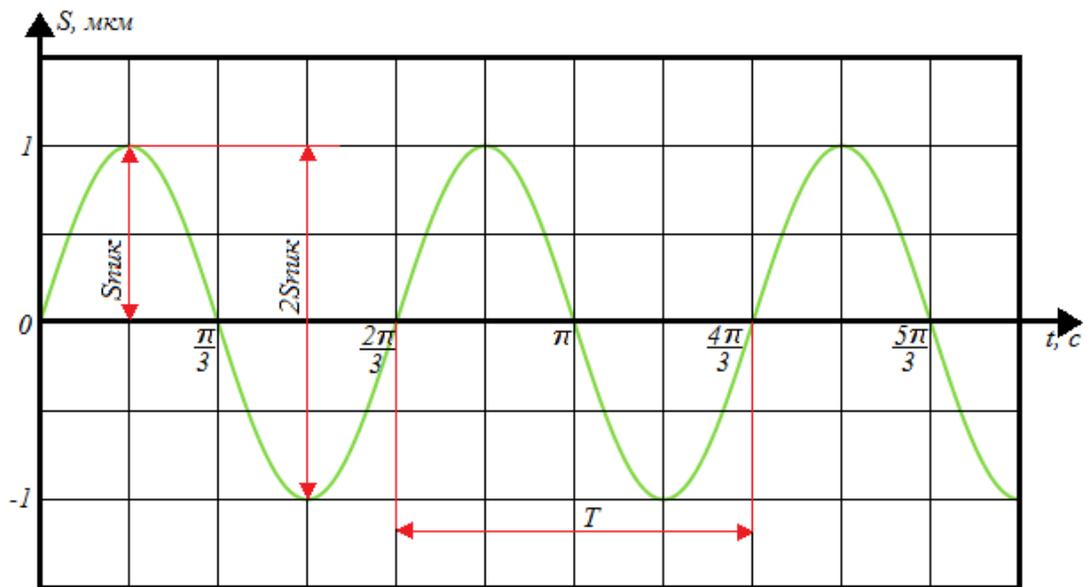


Рисунок 1 - Параметры колебаний

Эти параметры имеют определенные математические соотношения друг к другу при рассмотрении гармонических колебаний. Если вибрация точки (или тела) имеет чисто продольную форму колебаний вдоль одной оси (x), то мгновенное смещение (вибросмещение) от исходного положения может быть описано математическим уравнением:

$$s = S_{нук} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right) = S_{нук} \cdot \sin(2\pi \cdot f) = S_{нук} \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1.1)$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$ -угловая частота; $S_{нук}$ - максимальное смещение точки (или тела) от исходного положения; t - время. Виброперемещение измеряется в микрометрах ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мм}$) или в мм. Частота вибрации измеряется в герцах ($1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$) или числах оборотов в минуту (об/мин, рад/с).

Изменение смещения во времени является скоростью (виброскоростью) движения точки (или тела), поэтому колебания можно описать через скорость.

$$v = \frac{ds}{dt} = \omega \cdot S_{нук} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{нук} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{нук} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (1.2)$$

Таким образом, вибросмещение посредством дифференцирования может быть преобразовано в скорость. Единицами измерения виброскорости являются мм/с или м/с.

При дифференцировании амплитуда умножается на частоту, поэтому

амплитуда виброскорости на определенной частоте пропорциональна произведению смещения (s) и частоты (f). С увеличением частоты при фиксированном значении смещения скорость возрастет в два раза, а увеличение частоты в 10 раз приводит к увеличению скорости в 10 раз.

Изменение скорости движения точки (или тела) во времени является ускорением (виброускорением) движения.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = -\omega^2 \cdot S_{\text{нук}} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -a_{\text{нук}} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \quad (1.3)$$

$$= a_{\text{нук}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi).$$

Таким образом, для получения ускорения из скорости необходимо еще одно дифференцирование, а значит еще одно умножение на частоту. Поэтому ускорение при фиксированном смещении будет пропорционально квадрату частоты. Единицами измерения виброускорения являются м/с².

На основании второго закона Ньютона (сила равна произведению массы на ускорение) при заданном смещении сила будет пропорциональна квадрату частоты. Именно поэтому на практике не сталкиваются с колебаниями, где большие ускорения сопровождаются большими смещениями, просто не существует таких очень больших сил, которые были бы крайне разрушительными.

Как видно из вышеприведенных уравнений, форма и период колебаний остаются неизменными независимо от того, рассматривается ли смещение, скорость или ускорение.

Следует отметить, что мгновенные значения s , v , a отличаются по фазе. Так, скорость опережает смещение на фазовый угол 90° (в уравнении) и ускорение опережает скорость на фазовый угол 90° (в уравнении). В качестве характеризующей величины было применено пиковое значение амплитуды колебаний, т. е. применение пикового значения амплитуды колебаний эффективно при рассмотрении гармонических (простейших) колебаний.

При рассмотрении колебаний, изображенных на рисунке 2, используют

другие величины амплитуд.

Среднее арифметическое абсолютное значение амплитуды колебания характеризует общую интенсивность вибрации и определяется как

$$X_{|среднее|} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| dt. \quad (1.4)$$

Среднее значение амплитуды колебаний используется при анализе колебаний за очень большой промежуток времени (сутки, несколько суток), в основном в стационарных системах мониторинга оборудования. Поэтому эта величина особого практического интереса не представляет.

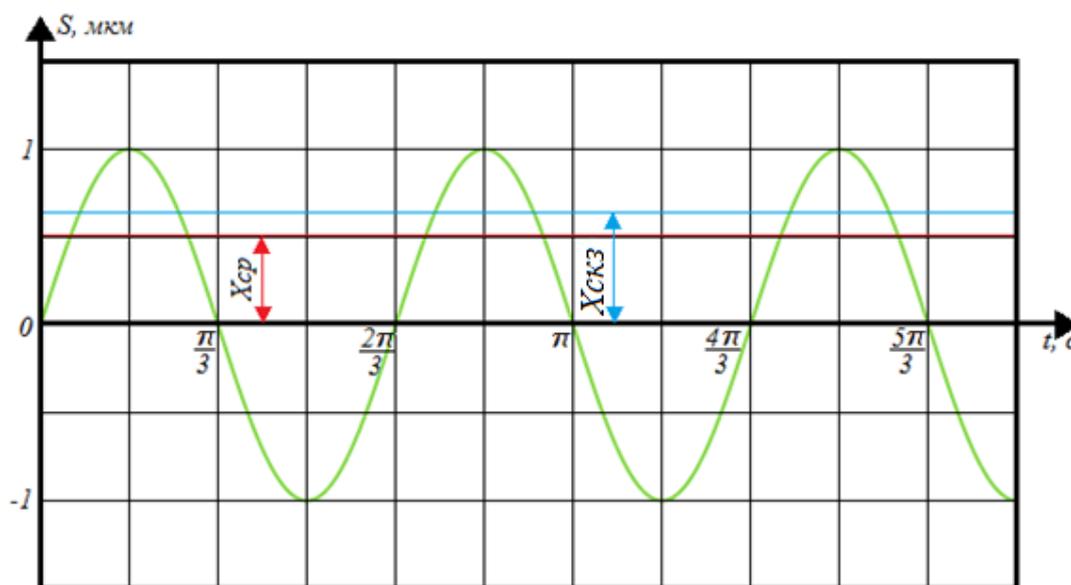


Рисунок 2 - Определение средней и эффективной амплитуды колебаний

Другой величиной амплитуды колебаний является среднеквадратичное значение (СКЗ). СКЗ – важная характеристика амплитуды вибрации, для расчета которой требуется мгновенные значения амплитуды колебаний возвести в квадрат, а получившиеся величины усреднить по времени. Для получения правильных значений интервал усреднения принимают не меньше одного периода колебания. После этого для получения СКЗ извлекается квадратный корень:

$$X_{скз} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T s^2(t) dt}. \quad (1.5)$$

Для чисто гармонических колебаний (вибрация содержит только одну частоту колебаний) соотношение между пиковым, средним и средне-квадратичным значениями амплитуды определится как

$$X_{скз} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} X_{|среднее|} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{пик}. \quad (1.6)$$

В общем виде эти соотношения можно описать так:

$$X_{скз} = F_f \cdot X_{|среднее|} = \frac{1}{F_C} \cdot X_{пик}, \quad (1.7)$$

где F_f и F_C - соответственно коэффициент формы и амплитуды:

$$F_f = \frac{X_{скз}}{X_{|среднее|}}; \quad F_C = \frac{X_{пик}}{X_{скз}}. \quad (1.8)$$

Коэффициенты дают представление о форме волны вибрации. Для чисто гармонических колебаний эти коэффициенты равны

$$F_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11 (\cong 1Дб); \quad F_C = \sqrt{2} = 1,414 (\cong 3Дб). \quad (1.9)$$

Колебания, встречающиеся на практике, не являются чисто гармоническими колебаниями, хотя многие из них могут быть периодическими. На рисунке 3 приведен пример типичного динамического процесса.

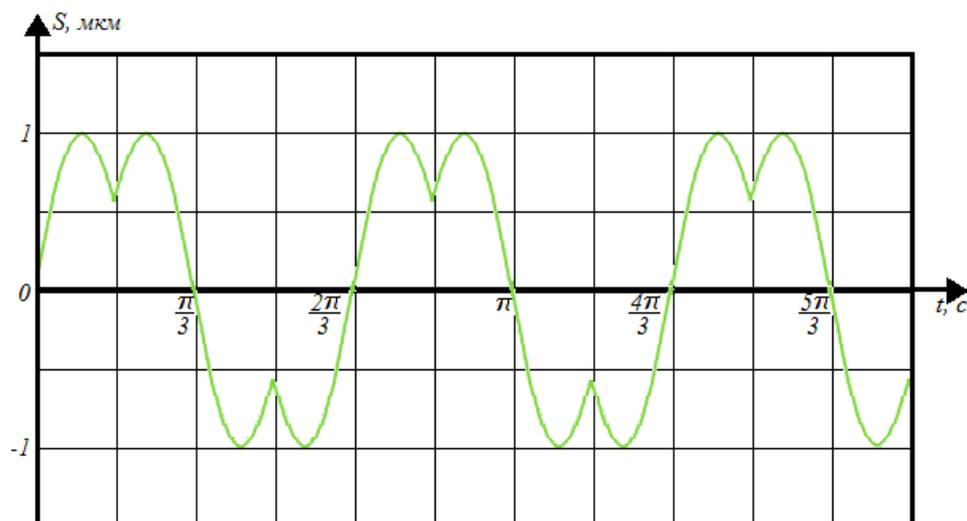


Рисунок 3 - Типичный динамический колебательный процесс

Определив пиковое, среднее и среднеквадратичное значения этой вибрации, а также ее коэффициенты формы и амплитуды, можно получить информацию, позволяющую сделать вывод о негармоническом характере.

При использовании в качестве диагностического признака каждый из рассмотренных параметров обладает особенностью. Что же касается величины колебания, то при ее описании используют следующие основные параметры: вибросмещение (s); виброскорость (v); виброускорение (a).

Контролировать вибрацию по параметру вибросмещение наиболее эффективно в низкочастотном диапазоне от 0 до 300...500 Гц. Частотная характеристика виброскорости имеет участок – от 10 до 1000...2000 Гц. Поэтому в частотном диапазоне от 10 до 1000 Гц рекомендуется контролировать вибрацию по параметру виброскорости.

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

На основании вышесказанного следует, что для оценки технического состояния машин и механизмов обязательно нужно использовать виброскорость в частотном диапазоне от 10 до 2000 Гц. Если частота источника вибрации (например, масляная вибрация подшипника скольжения) находится в низкочастотном диапазоне от 0,5 до 500 Гц, то дополнительно к параметру виброскорости необходимо контролировать вибрацию по вибросмещению. Если частота источника вибрации (например, подшипник качения) находится в высокочастотном диапазоне свыше 1000 Гц, то дополнительно к параметру виброскорости необходимо контролировать вибрацию по виброускорению [3].

2 Методы диагностики состояния редуктора проходческого комбайна

2.1 Проходческий комбайн П110М

Проходческий комбайн – сложная многоприводная горная машина, обеспечивающая выполнение большого числа основных и вспомогательных операций рабочих процессов проведения и крепления подготовительных выработок, предназначенная для механизированного разрешения горных пород, погрузки горной массы в транспортные средства (перегрузатель, конвейер, вагонетки).

Комбайн проходческий П110М предназначен для механизации отбойки и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных работ. Производителем проходческого комбайна П110М является ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод». На рисунке 4 изображен внешний вид данного комбайна.

Комбайн П110 имеет расширенную область применения по площади поперечного сечения выработок и крепости пород. Данный комбайн представляет собой самоходную гусеничную машину со стреловидным исполнительным органом. С помощью комбайна производится отбойка, погрузка и транспортировка горной массы на транспортные шахтные средства.

Конструкция комбайна, благодаря наличию подъемно-поворотной секции конвейера, позволяет осуществлять погрузку отбитой горной массы в любые транспортные средства шахты, которые применяются для данных работ.

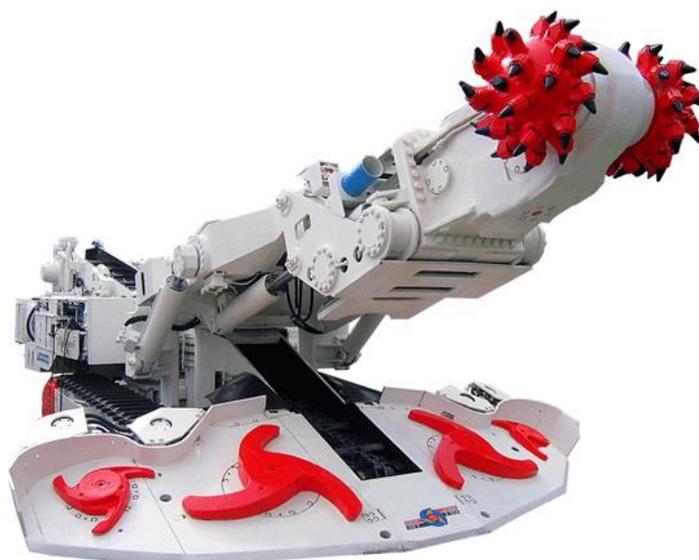


Рисунок 4 - Внешний вид проходческого комбайна П110М

Комбайном производится обработка всей площади забоя во всем диапазоне сечений проводимых выработок с одной установки.

Конструктивная особенность проходческого комбайна П110М:

- наличие опорного питателя, повышающего устойчивость комбайна;
- исполнительный орган, оснащенный коронкой с поперечной осью вращения;
- конвейер, открытый по всей длине;
- поворотная платформа хвостовой части комбайна;
- два двигателя в приводе исполнительного органа.

Преимущества:

- увеличение технической производительности;
- скорость проходки;
- повышение надежности работы комбайна.

Исполнительным органом в проходческом комбайне П110М является редуктор режущей части. Редукторы режущей части предназначены для редуцирования числа оборотов электродвигателя и привода исполнительных органов посредством режущих цепей. Исполнительный орган предназначен для передачи крутящего момента от электродвигателей к коронкам и состоит из сварно-литого корпуса, в расточках которого установлены подшипниковые

узлы, валы и зубчатые передачи. Частота вращения двигателя равна 30-60 об/мин. На рисунке 5 приведена схема кинематическая принципиальная редуктора исполнительного органа.

Основные дефекты проходческих комбайнов:

- дисбаланс электродвигателя;
- дефекты элементов муфт;
- расцентровка;
- ослабление посадки подшипников;
- дефекты зубчатых передач в редукторе;
- дефекты подшипников (увеличенные зазоры, дефекты тел качения, сепаратора).

Как показывает практика, большинство случаев отказа комбайнов связано с дефектами подшипников. Именно поэтому так важна вибродиагностика подшипников качения, которая позволяет обнаружить зарождение дефектов и прогнозировать их развитие, позволяя, тем самым, своевременно принять меры по их устранению и полностью исключить возникновение аварийных отказов [4].

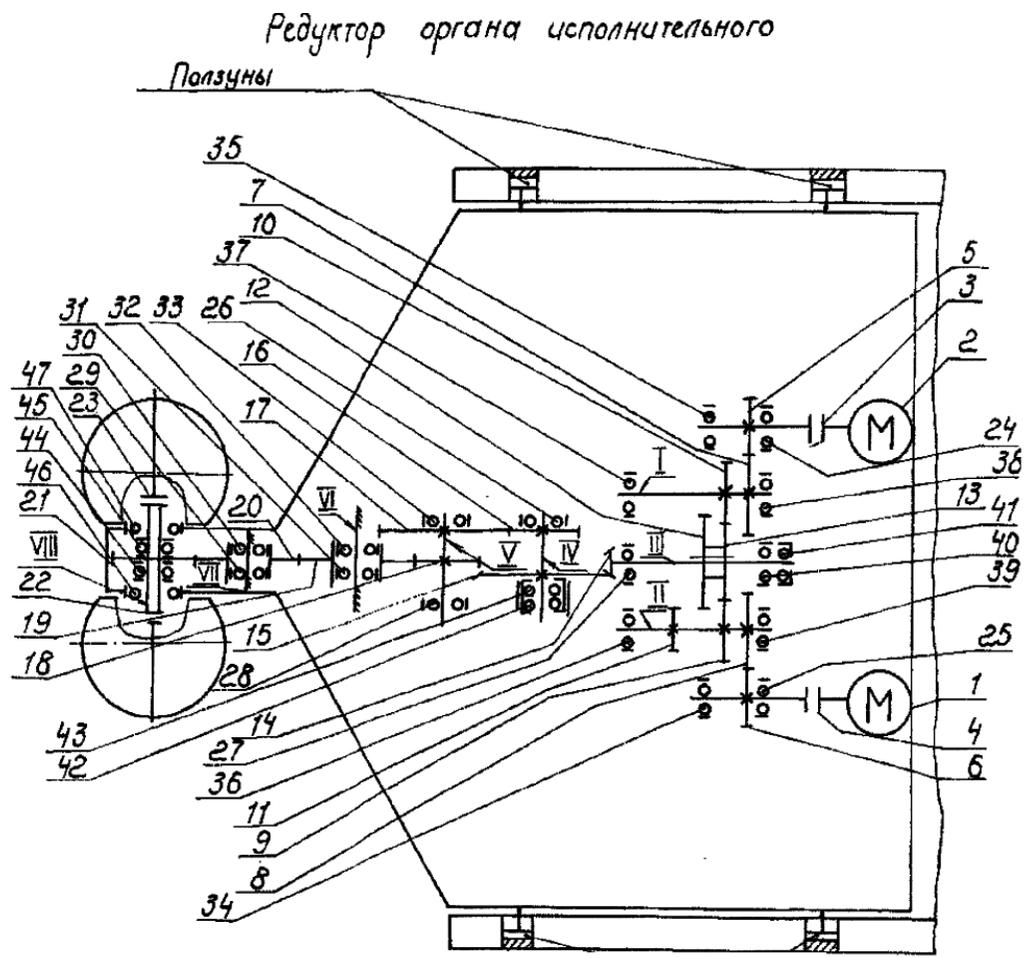
В таблице 1 приведены дефекты, обнаруживаемые вибродиагностикой подшипников.

Таблица 1 – Дефекты, обнаруживаемые вибродиагностикой подшипников

Дефект	Диагностические признаки
Неравномерный износ поверхностей качения колец и тел качения	Рост низкочастотной подшипниковой вибрации и возбуждение высокочастотной вибрации за счет модуляции сил трения
Износ поверхностей скольжения сепаратора и защитных колец	Возбуждение высокочастотной вибрации за счет износа поверхностей скольжения и дополнительная модуляция низкочастотной вибрации ротора за счет износа сепаратора
Сколы, трещины на поверхностях качения	Возбуждение ударной вибрации в диапазоне средних и высоких частот

Продолжение таблицы 1 – Дефекты, обнаруживаемые вибродиагностикой подшипников

Дефект	Диагностические признаки
Дефекты сборки	Рост кинематической вибрации на средних частотах и возбуждение высокочастотной вибрации за счет модуляции сил трения
Проскальзывание колец	Нарушение периодичности кинематической подшипниковой вибрации (особенно при пуске машины) и возбуждение ударной высокочастотной вибрации
Ухудшение качества смазки	Возбуждение ударной ультразвуковой вибрации за счет разрыва смазочного слоя и ударов тел качения о неподвижное кольцо



Редуктор органа исполнительного		1	$U=49,055; U_2=24,774;$
1.2	Двигатель 33/К0Ф2501.4 У25	2	$N=110\text{кВт},$ $n=1470\text{ об/мин}$
3..4	Мурта	2	$m=6; z=22$
5..6	Вал-шестерня	2	$m=7; z=18$
7..8	Колесо	2	$m=7; z=39$
9..10	Шестерня	2	$m=7; z=29$
11	Шестерня	1	$m=7; z=19$
12	Шестерня	1	$m=7; z=48$
13	Шестерня	1	$m=7; z=37$
14	Шестерня	1	$m=10; z=17$
15	Колесо	1	$m=10; z=35$
16	Вал-шестерня	1	$m=12; z=17$
17	Колесо	1	$m=12; z=37$
18	Шестерня	1	$m=14; z=16$
19	Колесо	1	$m=14; z=35$
20	Колесо	1	$m=14; z=33$
21	Вал-шестерня	1	$m=14; z=32$
22..23	Соединение шлицевое	2	$240\times 8\times 11$
24..25	Подшипник 3520Н	2	$100\times 180\times 46$
26	Подшипник 3622Н	1	$110\times 240\times 81$
27	Подшипник 53528Н	1	$140\times 250\times 68$
28	Подшипник 53530Н	1	$150\times 270\times 73$
29..33	Подшипник 3536	5	$180\times 320\times 86$
34..35	Подшипник 3613Н	2	$65\times 140\times 48$
36..39	Подшипник 53614Н	4	$70\times 150\times 51$
40	Подшипник 53618Н	1	$90\times 190\times 64$
41	Подшипник 9039417	1	$85\times 180\times 58$
42..43	Подшипник 7318А	2	$90\times 190\times 46,5$
44..45	Подшипник 81641	2	$320\times 400\times 63$
46..47	Подшипник 3003164	2	$320\times 480\times 121$
I..I	Вал	2	
II	Вал	1	
IV	Вал	1	
V	Вал	1	
VI	Ось	1	
VII	Ось	1	
VIII	Вал	1	$n_1=30\text{ об/мин};$ $n_2=59\text{ об/мин}$

Рисунок 5 - Схема кинематическая принципиальная редуктора исполнительного органа

2.2 Структурная схема системы диагностики редуктора

Одной из основных задач технической диагностики является выбор диагностических средств, обеспечивающих максимальную информацию о техническом состоянии машины.

На рисунке 5 изображена структурная схема диагностики редуктора проходческого комбайна.

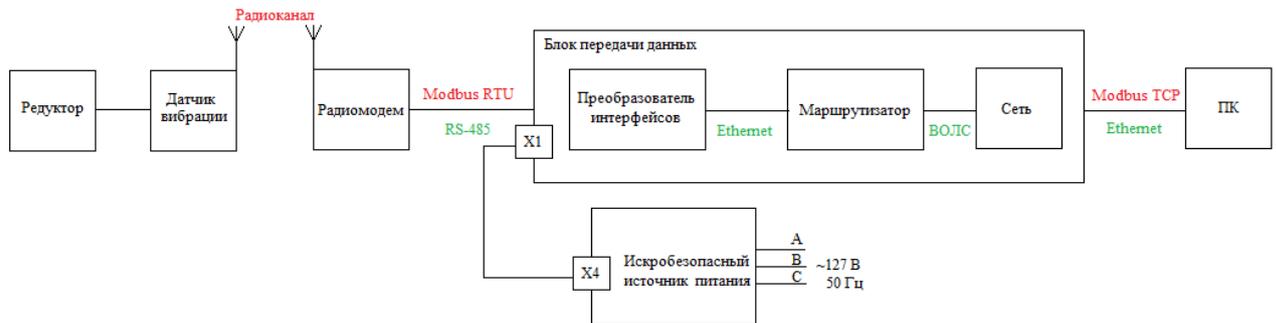


Рисунок 5 – Структурная схема диагностики редуктора

Параметры вибрации редуктора проходческого комбайна снимаются датчиком вибрации ДВР1. Точки измерения вибрации на редукторе проходческого комбайна показаны на рисунке 6.

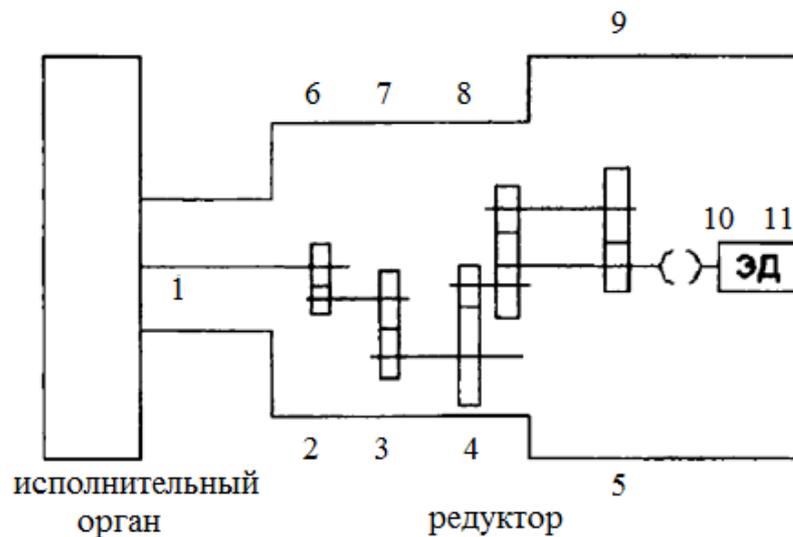


Рисунок 6 – Точки измерения вибрации на редукторе проходческого комбайна

С датчика вибрации по радиоканалу значения виброскорости поступает на радиомодем РМС1. В данном случае используется передача информации по радиоканалу из-за трудности монтажа кабелей в сложных шахтных

условиях. РМС1 с помощью кабельного соединителя крепится к блоку передачи данных БПДЗ по интерфейсу RS-485, так как выходной формат протокола и интерфейса РМС1 — Modbus RTU. БПДЗ питает искробезопасный источник питания ИБП1. Блок БПДЗ предназначен для организации распределенных шахтовых сетей высокоскоростной передачи данных по волоконно-оптической линии связи с возможностью подключения стороннего оборудования посредством различных проводных сетевых и промышленных интерфейсов. В БПДЗ происходит изменение способа передачи данных через преобразователь интерфейсов и данные передаются на компьютер по протоколу Modbus TCP. Настройка БПДЗ происходит через веб-браузер, где изменяется TCP-порт и IP-адрес. И в завершении, информация о вибрации поступает на компьютер в OPC-сервер протоколов Modbus.

Данное оборудование (ДВР, РМС, БПД, ИБП) используется в составе системы мониторинга лавного конвейера(СМЛК), разработанной организацией ООО "НПП Автоматика". Система мониторинга лавного конвейера предназначена для обеспечения контроля параметров лавного конвейера, диагностики его работы с выдачей предупреждения о возникновении аварийных и предаварийных ситуаций, а также обеспечения блокировок и защит, позволяющих снизить износ механизмов и продлить срок службы оборудования лавного конвейера. В СМЛК при помощи данного оборудования происходит контроль параметров вибрации редукторов приводов конвейера. Данные с датчиков вибрации отображаются в SCADA системе, где диспетчер может просматривать данные по виброспектрам и контролировать работу редукторов в комплексе СМЛК. В данной системе не предусмотрена диагностика редукторов приводов лавного конвейера, что может отразиться на работе системы в целом.

Данная ВКР посвящена разработке программного обеспечения, при помощи которого можно диагностировать состояние редуктора будь то проходческого комбайна или приводов лавного конвейера.

Ниже представлено описание состава системы диагностики редуктора проходческого комбайна.

2.2.1 Датчик вибрации ДВР

Датчик вибрации радио ДВР предназначен для измерения виброперемещения/виброскорости/виброускорения на агрегате, где передача данных происходит по радиоканалу на устройство сбора данных.

Устройство предназначено для работы в шахтах, опасных по газу (метан) и пыли. По области применения устройство относится к I группе взрывозащищенного электрооборудования с уровнем взрывозащиты «РО» (рудничное особовзрывобезопасное электрооборудование), удовлетворяет требованиям, предъявляемым к взрывозащищенному электрооборудованию согласно ГОСТ 30852.0-2002 (МЭК 60079-0:1998), ГОСТ 30852.10-2002 (МЭК 60079-11:1999), имеет взрывозащиту вида "искробезопасная электрическая цепь i".

Устройство выполнено в климатическом исполнении УХЛ категории 5 по ГОСТ 15150-69 со степенью защиты от пыли и влаги составных компонентов не ниже «IP54» по ГОСТ 14254-96.

ДВР является конечным устройством, который регистрируется в локальной сети координатора (устройства сбора данных РМС1). Регистрация происходит автоматически при включении ДВР. Во время прохождения процедуры регистрации, координатор присваивает каждому ДВР виртуальный адрес Modbus. Во время работы ДВР с определенной периодичностью передает измеренные данные на координатор.

Сбор данных с датчика сети осуществляется посредством подключения проводной линии (протокол Modbus) к координатору сети (РМС1). Обращение

к координатору по виртуальному Modbus адресу приведет к чтению /записи данных из соответствующего Modbus буфера.

Для каждого ДВР предусмотрен регистр назначения. Под конкретную систему выбирается смысловая нагрузка регистра.

Для формирования отдельных локальных сетей в координаторе предусмотрено 12 частотно-разделенных каналов, которые изменяются посредством протокола Modbus.

Каждый ДВР в процессе регистрации занимает свое место в таблице виртуальных адресов координатора РМС1. Для того чтобы заменить ДВР при полностью заполненной таблице датчиков (16 шт.), необходимо предварительно обнулить данную таблицу (посредством протокола Modbus). Каждому датчику присваивается определенный канал и адрес (NetApp). Канал представляет собой частоту, на которой работают ДВР и координатор. NetApp – адрес сети, к которой относятся ДВР и координатор. При несоответствии данных параметров (канал и NetApp) между ДВР и координатором, связь между ними установлена не будет. Координатором может быть любое устройство, работающее в режиме «Master» по аналогичным характеристикам:

- стандарт беспроводной связи – IEEE 802.15.4/ZigBee;
- рабочая радиочастота – 2,4 ГГц.

Для работы с определенным ДВР (изменение настроек устройства) предусмотрен режим конфигурирования. В данном режиме ДВР и координатор переходят на заранее установленные канал и NetApp, которые отличаются от рабочих. Для ДВР режим конфигурирования включается при поднесении магнита вплотную к корпусу (область отмечена стрелкой-указателем). Необходимо удерживать магнит в таком положении на протяжении всего времени работы в данном режиме. Для выхода из данного режима от ДВР необходимо убрать магнит. Включение и отключение режима конфигурирования для координатора осуществляется посредством протокола Modbus [5].

Датчик вибрации ДВР состоит из корпуса, размером 100мм×50мм×55мм, модуля ADIS16228 и встраиваемого батарейного источника питания. На рисунке 7 изображен внешний вид датчика вибрации ДВР. Масса датчика 0,7 кг.



Рисунок 7 – Внешний вид датчика вибрации радио ДВР

ADIS16228 - Цифровой трехосевой датчик вибраций с анализом быстрого преобразования Фурье (БПФ) и внутренней памятью. ADIS16228 - это полнофункциональная подсистема измерения вибраций на основе комбинации трехосевого акселерометра и продвинутых средств обработки сигнала во временной и частотной областях. Функции обработки сигнала во временной области включают в себя программируемый децимирующий фильтр и возможность выбора пользователем оконной функции. Функции обработки сигнала в частотной области включают в себя алгоритм вещественного БПФ на 512 точек, выполняемый по каждой оси измерения, и усреднение результатов БПФ до 256 усреднений, которое позволяет уменьшить изменения шумового порога и повысить разрешение. Для улучшения частотного спектра применяется окно Ханнинга, которое предлагает лучшее разрешение по амплитуде пиков между частотными бинами и минимальным уширением пиковых амплитуд. Бины - это набор частотных полос равной ширины. Подсистема памяти, рассчитанная на хранение 14 выборок БПФ, дает пользователю возможность отслеживать изменения сигнала в частотной

области во времени, а также производить сбор и анализ БПФ с несколькими различными настройками децимирующего фильтра. Децимирующий фильтр предназначен для уменьшения частоты дискретизации обрабатываемого сигнала.

Благодаря частоте дискретизации 20480 SPS (выборки в секунду) и равномерной частотной характеристике в полосе 5 кГц модуль ADIS16228 хорошо подходит для различных задач диагностики механизмов. В таблице 2 приведены настройки частоты дискретизации данного модуля.

Таблица 2 - Настройка частоты дискретизации

Частота дискретизации, SPS	Ширина окна, Гц	Пропускная способность, Гц
20480	40	10240
10240	20	5120
5120	10	2560
2560	5	1280
1280	2,5	640
640	1,250	320
320	0,625	160
160	0,313	80
80	0,156	40
40	0,078	20
20	0,039	10

Алюминиевый сердечник обеспечивает превосходную механическую связь с датчиками ускорения, выполненными по технологии МЭМС. Выборка данных и работа системы обработки сигнала во всех режимах управляются внутренним тактовым сигналом, что избавляет от необходимости во внешнем источнике синхронизации. Сбор данных может осуществляться в трех режимах, удовлетворяющих потребностям самых разнообразных приложений. Кроме того, компонент поддерживает работу в режиме реального времени, обеспечивающемся непосредственный доступ к потоку оцифрованных данных по одной из осей. Порт SPI и буфер данных упрощают доступ к результатам

измерений. ADIS16228 также выдает показания цифрового датчика температуры и измерения напряжения питания.

ADIS16228 выпускается в виде модуля, изображенного на рисунке 8, имеющего габариты 15 мм × 24 мм × 15 мм, с фланцами, отверстиями под крепежные винты и универсальным соединителем, который упрощает установку и подключение компонента. Он работает в расширенном температурном диапазоне от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$ [6].



Рисунок 8 - Модуль ADIS16228

На рисунке 9 изображена структура подсистемы ADIS16228. Прибор используется в портативной виброизмерительной аппаратуре, предназначенной, например, для диагностики и мониторинга подшипников качения, зубчатых передач, гидроагрегатов ГЭС, систем конвейеров на горных разработках и на многих других объектах, подвергающихся воздействию вибраций.

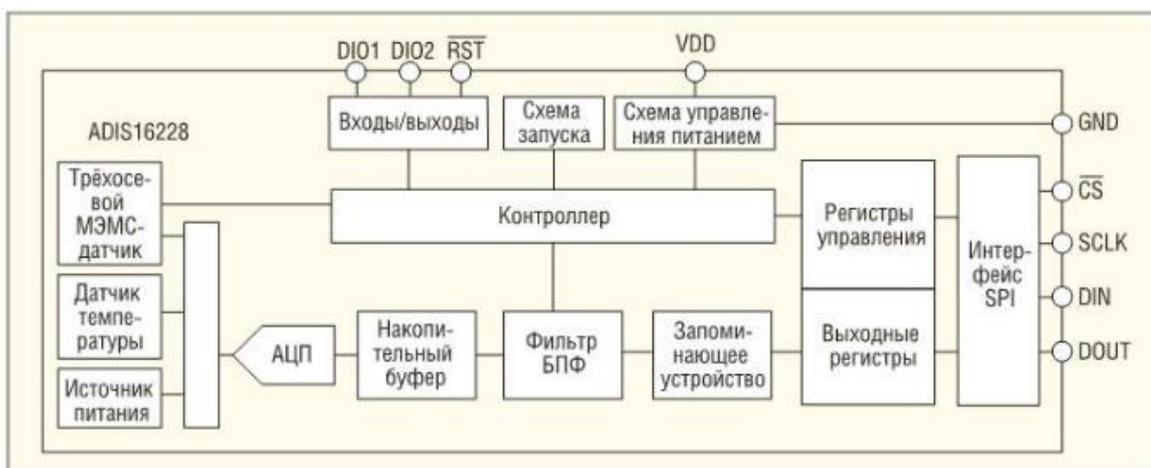


Рисунок 9 - Структура модуля ADIS16228

При использовании SPI как подчиненного устройства можно запросить информацию о вибрации, используя команду DIN. С интерфейса SPI команда

поступает на регистры управления, которые управляют доступом пользователей для данных датчика. С регистров управления информация поступает на контроллер, а далее формируется управляющее воздействие, которое поступает на трехосевой МЭМС- датчик. Акселерометры переводят линейные изменения скорости в типичный электрический сигнал. Далее следует этап обработки сигнала, который включает в себя сбор данных во временной области, аналогово-цифровое преобразование, фильтрацию, БПФ и хранение данных. Далее информация поступает на выходные регистры и на интерфейс SPI. Содержимое DOUT отражает информацию, запрошенную с помощью команды DIN.

Команда сбора и настройки данных использует SPI, который состоит из четырех проводов. Это сигнал выбора микросхемы (CS), который активирует интерфейс SPI и последовательные часы (SCLK) и синхронизирует последовательные линии данных.

2.2.2 Радиомодем PMC1

Радиомодем PMC1 — центральное звено аппаратуры шахтового радиомониторинга, осуществляющее:

- сбор ключевых параметров горно-шахтного управления с беспроводного интерфейса «Zigbee»;
- преобразование и передачу цифровых данных по типу интерфейса «RS-485».

PMC1 используется в качестве коммутирующего звена при организации систем управления и радиомониторинга, сбора и передачи данных по радиоканалу в шахтах и рудниках.

По области применения устройство относится к I группе взрывозащищенного электрооборудования с уровнем взрывозащиты «PO» (рудничное особовзрывобезопасное электрооборудование), с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь i» по ГОСТ 30852.0-2002, ГОСТ 30852.10-2002.

Устройство выполнено в климатическом исполнении УХЛ категории 5 по ГОСТ 15150-69 со степенью защиты от пыли и влаги составных компонентов не ниже «IP54» по ГОСТ 14254-96.

Радиомодем имеет встроенную функцию оценки корректности переданных данных. Радиомодем РМС1 может одновременно коммутировать до 16 радиодатчиков. Выходной формат протокола и интерфейса — Modbus RTU. На рисунке 10 изображен внешний вид радиомодема РМС1 [7].



Рисунок 10 – Внешний вид РМС1

РМС1 является устройством сбора данных параметров вибрации с датчика вибрации ДВР.

Массогабаритные характеристики:

- габаритные размеры, мм – 115× 45× 45;
- масса, кг – 0,3.

2.2.3 Блок передачи данных БПДЗ

Блок передачи данных предназначен для передачи данных посредством трёх возможных интерфейсов (ВОЛС, DSL и RS-485). Линия передачи данных может строиться как в пределах шахты, так и из шахты на поверхность и обратно. На рисунке 10 изображен внешний вид БПДЗ с кабельным соединителем.

Блок БПДЗ предназначен для организации распределенных шахтовых сетей высокоскоростной передачи данных по волоконно-оптической линии связи с возможностью подключения стороннего оборудования посредством различных проводных сетевых и промышленных интерфейсов.

Устройство может эксплуатироваться в угольных шахтах, где есть опасность взрыва газа (метана) и угольной пыли, а также в рудниках. По области применения устройство относится к I группе взрывозащищенного электрооборудования с уровнем взрывозащиты «РО» (рудничное особовзрывобезопасное электрооборудование), с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь i» по ГОСТ 30852.0-2002, ГОСТ 30852.10-2002.

Устройство выполнено в климатическом исполнении УХЛ категории 5 по ГОСТ 15150-69 со степенью защиты от пыли и влаги составных компонентов не ниже «IP54» по ГОСТ 14254-96. На рисунке 11 изображен внешний вид БПДЗ [8].



Рисунок 11 - Блок передачи данных БПДЗ с кабельным соединителем

Основные характеристики:

- номинальное напряжение питания – от 12 В до 13,6 В;
- вид взрывозащиты – «РО Ex ia op is I Ma X»;
- степень защиты от пыли и влаги – «IP65»;
- габаритные размеры (ДхШхВ) – (450х385х220) мм;
- масса – не более 20 кг.

Интерфейсы связи:

- RS-485 в количестве – 1 шт;

- Ethernet в количестве – 2 шт;
- Ethernet (по оптоволокну) в количестве – 3 шт.

Протокол передачи данных RS-485 – Modbus RTU.

Протокол передачи данных Ethernet – TCP/IP.

Максимальная скорость передачи данных по интерфейсам связи:

- RS-485 – до 57600 бит/с;
- Ethernet – до 100 Мбит/с;
- Ethernet (по оптоволокну) – до 1 Гбит/с.

Максимальное расстояние передачи данных по интерфейсам связи:

- RS-485 – до 50 м;
- Ethernet – до 50 м;
- Ethernet (по оптоволокну) – до 2 км.

2.2.4 Искробезопасный источник питания ИБП

Источник предназначен для питания аппаратуры искробезопасным напряжением и обеспечения её работы при пропадании сетевого напряжения. В качестве питающей сети для всех исполнений источника используется переменное однофазное напряжение величиной от 30 до 250 В. В шахтных условиях источник подключается к сети переменного трехфазного напряжения величиной 127 В (для питания источника используются любые две фазы из трех), частотой 50 Гц от агрегата питания шахтного модернизированного или к сети переменного однофазного напряжения величиной 36 В, частотой 50 Гц.

Для подключения указанного напряжения, в источнике используется один из предусмотренных двух кабельных вводов, второй предназначен для возможности организации транзита сети питания при необходимости использования нескольких изделий [9].

Источник может эксплуатироваться в угольных шахтах, где есть опасность взрыва газа (метан) и угольной пыли, а также в рудниках в соответствии с федеральными нормами и правилами в области промышленной

безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550) и федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599). Устройство выполнено в климатическом исполнении УХЛ категории 5 по ГОСТ 15150-69 со степенью защиты от пыли и влаги составных компонентов не ниже «IP54» по ГОСТ 14254-2015.

Основные характеристики устройства:

- входное переменное напряжение – от 30 до 250 В;
- количество фаз входного напряжения – 1 шт.;
- частота переменного тока – от 49 до 51 Гц;
- выходное напряжение – от 12 до 13,6 В;
- номинальный выходной ток – 1,5 А;
- время работы при отсутствии сетевого напряжения – не менее 16 ч;
- наличие цифрового интерфейса «RS-485» - есть;
- габаритные размеры (ДхШхВ)–(356х285х266) мм;
- масса для - не более 32 кг;
- вид взрывозащиты: «РВ Exd[ia]I X/ PO Exs[ia]I X».

На рисунке 12 изображен внешний вид ИБП1.

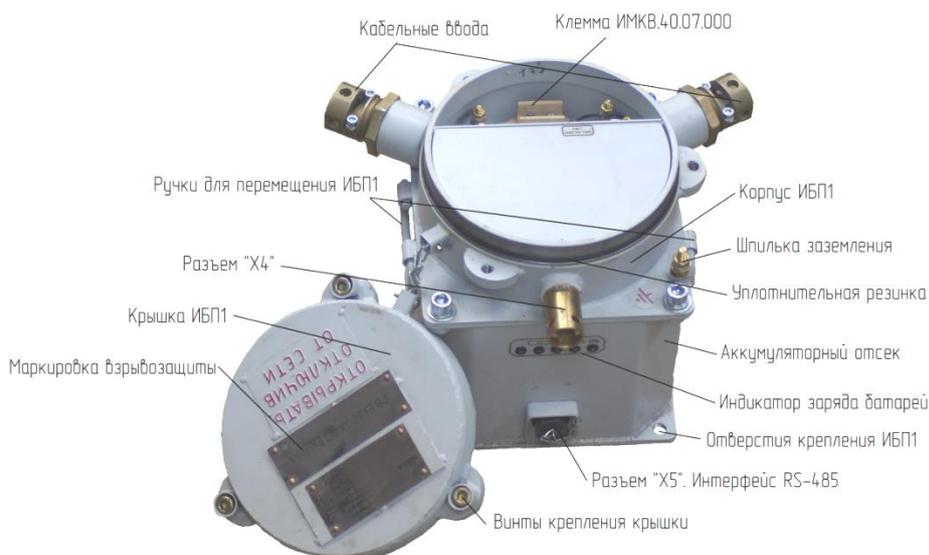


Рисунок 12 - Внешний вид искробезопасного источника питания ИБП1

2.3 Выбор методов вибродиагностики состояния редуктора проходческого комбайна

В настоящее время существует большое количество методов измерения и оценки вибрации, позволяющих с большой точностью контролировать состояние горных машин и оборудования и определять наличие, вид и степень развития дефекта.

Все существующие методы вибродиагностики можно разделить на две группы:

- Методы периодического мониторинга: оценка состояния машины происходит на основании сравнения с данными предыдущих замеров;
- Методы диагностики по однократному замеру: оценка состояния машины происходит на основании единственного замера.

К методам периодического мониторинга относятся:

- измерение общего уровня вибрации;
- измерение пик-фактора;
- метод прямого спектра;
- метод ударных импульсов;
- метод огибающей высокочастотной вибрации.

К методам по однократному замеру относятся метод ударных импульсов и измерение эксцесса.

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, и его применение в конкретной ситуации зависит от типа диагностируемых устройств и возможностей диагноста.

В настоящей работе используются методы измерения общего уровня вибрации и анализа прямого спектра. Выбор этих методов основывается на их информативности и простоте реализации. Ниже предоставлено описание данных методов вибродиагностики.

2.3.1 Общий уровень вибрации

Под общим уровнем вибрации принимают среднеквадратичное в определенной полосе частот. Из трех существующих параметров вибрации: вибросмещения, виброскорости и виброускорения наиболее типичным и распространенным для оценки общего уровня вибрации является среднеквадратичное значение виброскорости.

Среднеквадратичное значение является наиболее важным параметром мониторинга, так как он учитывает развитие во времени наблюдаемых колебаний и прямо указывает значение, связанное с энергией сигнала и, следовательно, разрушительную способность этих колебаний. Изменение общего уровня вибрации (увеличение или уменьшение) является одной из причин повышенного внимания к данному устройству.

Ресурс роторных машин малой и средней мощности в основном определяется сроком службы подшипников качения. Характерной особенностью спектров подшипников качения являются низкие амплитуды колебаний на ранней стадии развития дефекта и при их развитии возникновение широкополосной потери энергии [3].

Дефекты в подшипниках качения способствуют возникновению высокочастотных импульсов, что увеличивает пиковые значения амплитуд колебаний. Тем не менее, значение СКЗ может не измениться.

В этом методе критерии уровня развития дефектов полностью ориентированы на соответствующие нормативные уровни вибрации, которые соответствуют конкретному механизму. Механизм, вибрации которого превышают общепринятый стандарт, признается неисправным. Если значения уровня вибрации превышают допустимые значения, необходимо определиться с возможностью дальнейшей эксплуатации устройства.

На рисунке 12 изображен тренд измерения СКЗ виброскорости в процессе эксплуатации оборудования. По анализу данного тренда можно производить оценку технического состояния оборудования [10].

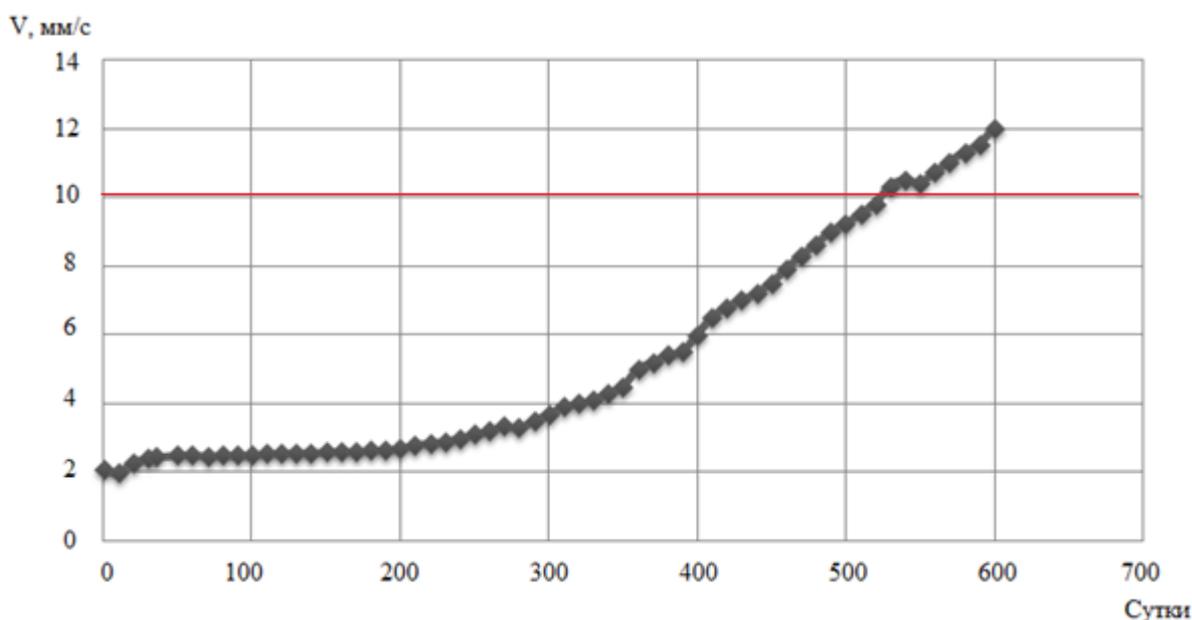


Рисунок 12 - Тренд измерения СКЗ виброскорости при контроле колебаний агрегата в процессе эксплуатации

2.3.2 Метод прямого спектра

Метод прямого спектра базируется на анализе спектра вибрации — выявлении периодичности появления амплитудных всплесков. Частотный состав спектра позволяет идентифицировать возникновение и развитие дефектов подшипников. Каждый дефект на подшипниковых элементах (элемент качения, внутреннее и внешнее кольцо, сепаратор) имеет свои частоты, которые зависят от кинематики подшипника, его скорости и геометрии подшипника. Наличие той или иной частотной составляющей в спектре сигнала указывает на возникновение соответствующей ошибки, а амплитуда этой составляющей указывает на степень развития ошибки [11].

Для определения частот вибраций подшипника необходимо знать частоту вращения машины n (об/мин) и основные параметры подшипника: d_n — наружный диаметр; d_e — внутренний диаметр; d_{mk} — диаметр тел качения; z —

число тел качения; α – угол контакта тел качения с дорожкой качения. Формулы расчета частот вращения отдельных элементов подшипника представлены в (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) .

Частота вращения внутреннего кольца:

$$f_{об} = \frac{n}{60}. \quad (2.1)$$

Частота вращения сепаратора:

$$f_{сп} = 0,5 \cdot f_{об} \cdot \left(1 - \frac{d_{мк}}{d_c} \cdot \cos\alpha\right), \quad (2.2)$$

где $d_c = \frac{(d_в + d_н)}{2}$ - диаметр сепаратора.

Частота вращения тел качения:

$$f_{мк} = f_{сп} \cdot \left(\frac{d_c}{d_{мк}} + \cos\alpha\right) = 0,5 \cdot f_{об} \cdot \frac{d_c}{d_{мк}} \cdot \left(1 - \frac{d_{мк}^2}{d_c^2} \cdot \cos^2\alpha\right). \quad (2.3)$$

Частота перекатывания тел качения по наружному кольцу:

$$f_{нар} = f_{сп} \cdot z = 0,5 \cdot z \cdot f_{об} \cdot \left(1 - \frac{d_{мк}}{d_c} \cdot \cos\alpha\right). \quad (2.4)$$

Частота перекатывания тел качения по внутреннему кольцу:

$$f_{вн} = 0,5 \cdot z \cdot f_{об} \cdot \left(1 + \frac{d_{мк}}{d_c} \cdot \cos\alpha\right) = (f_{об} - f_{сп}) \cdot z. \quad (2.5)$$

Кроме рассмотренных гармонических составляющих вибрации в подшипниках качения наблюдаются и случайные компоненты вибрации, обусловленные силами трения. В бездефектном подшипнике силы трения постоянны и соответственно остается постоянной и мощность случайной вибрации. При появлении дефектов, вызывающих изменение сил трения, мощность случайной вибрации модулируется рассмотренными выше подшипниковыми частотами или их комбинациями [12]. В таблице 3 приведены диагностические признаки подшипников качения, где $f_{вр}$ - частота вращения ротора, $f_н$ – частота перекатывания тел качения по наружному кольцу, $f_в$ – частота перекатывания тел качения по внутреннему кольцу, $f_{тк}$ – частота вращения тел качения, f_c – частота сепаратора.

Частотные полосы контроля параметров вибрации и коэффициенты, значения для определения допустимых значений в полосах для агрегатов с опорными подшипниками качения приведены в таблице 4 для двигателя, частота вращения которого равна 1500 об/мин, поэтому, $f_{ep} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ Гц}$.

Таблица 3 – Диагностические признаки подшипников качения

№	Вид дефекта	Диагностические признаки в спектре вибрации	
		основные	дополнительные
1	Бой вала (муфты)	kf_{ep}	нет роста ВЧ
2	Неоднородный радиальный натяг	$2kf_{ep}, k = 1,2.$	$2kf_{ep}$, нет роста ВЧ
3	Перекося наружного кольца	$2kf_n, k = 1,2.$	$2kf_n$, нет роста ВЧ
4	Износ наружного кольца	f_n	$kf_n, k \leq 3$
5	Раковины и трещины на наружном кольце	$kf_n, k = 1,2,3.$	Рост ВЧ
6	Износ внутреннего кольца	$kf_e, k = 1,2,3,4,5,6.$	f_e , рост ВЧ
7	Раковины и сколы на внутреннем кольце	$kf_e, k = 1,2,3.$	kf_{ep} , рост ВЧ
8	Износ тел качения и сепаратора	$f_c, (f_{ep} - f_c)$	$kf_c, k(f_{ep} - f_c)$, рост ВЧ
9	Раковины и сколы на телах качения	$kf_{mk}, k = 1,2,3.$	$k_1f_{mk} \pm k_2f_c$, рост ВЧ
10	Дисбаланс ротора	f_{ep}	Нет роста kf_{ep} , нет роста ВЧ
11	Дефекты узлов крепления	Рост УНЧ ($< 0,5 \cdot f_{ep}$)	Есть другие дефекты
12	Дефект муфты	$kf_{ep}, k, 1,2,3,4,5,6,7$	Нет роста ВЧ

Основным источником вибрации редуктора являются колебательные силы, возникающие в результате взаимодействия шестерен (зубчатого зацепления). Это силы кинематического происхождения, и могут быть и периодическими, и случайными, и ударными. Связано это с динамическими

ударами «зуба о зуб», а также «обкатыванием» зубьев и проскальзыванием рабочих поверхностей зубьев относительно друг друга. При нормальной эвольвенте, отсутствия дисбаланса, качественных подшипниковых опорах с хорошей смазкой и параллельности осей малой и большой шестеренок шумы в редукторе будут минимальными [13].

Таблица 4 - Параметры вибрации на разных частотных полосах, где $f_{вр} = 25$ Гц

Частотная полоса		Требует принятия мер: $V=4,5$ мм/с	Предельное состояние: $V=7,1$ мм/с
	Нижняя	Верхняя	$V, \text{ мм/с}$
$2 \text{ Гц}-1,5 \cdot f_{вр}$	5 Гц	37,5 Гц	3,55
$2 \cdot f_{вр}$	37,5 Гц	67,5 Гц	2,272
$3 \cdot f_{вр}-4 \cdot f_{вр}$	67,5 Гц	121,5 Гц	1,42
$5 \cdot f_{вр}-20 \cdot f_{вр}$	121,5 Гц	500 Гц	1,775
$21 \cdot f_{вр}-50 \cdot f_{вр}$	500 Гц	1250 Гц	1,42

В таблице 5 приведены диагностические признаки одноступенчатого редуктора.

Таблица 5 – Диагностические признаки одноступенчатого редуктора

№	Вид дефекта	Спектр вибрации
1	Бой ведущего вала	$f_{вр1}, kf_z \pm f_{вр1}$
2	Бой ведомого вала	$f_{вр2}, kf_z \pm f_{вр2}$
3	Перекося ведущей шестерни	$f_{вр1}, kf_z \pm 2f_{вр1}$
4	Перекося ведомой шестерни	$f_{вр2}, kf_z \pm 2f_{вр2}$
5	Дефект зубьев ведущей шестерни	$kf_{вр1}, kf_z \pm kf_{вр1}$
6	Дефект зубьев ведомой шестерни	$kf_{вр2}, kf_z \pm kf_{вр2}$
7	Дефект зацепления или смазки в зацеплении	kf_z
8	Дефект подшипника	Рост СКЗ на средних частотах

Где $f_{вр1}$ - частота вращения ведущего вала; $f_{вр2}$ - частота вращения ведомого вала; f_z - зубцовая частота.

3 Программное обеспечение для диагностики состояния редуктора

Согласно результатам многочисленных исследований, ежегодная производительность проходческих комбайнов в конце срока их службы снижается. В течение срока службы стоимость технического обслуживания и ремонта превышает первоначальную стоимость в несколько раз. Поэтому важным надежным направлением в эксплуатации является точный и достоверный прогноз надежности узлов и деталей. Как средство повышения эффективности и надежности туннельного оборудования, оно служит для диагностики технического состояния его элементов.

В настоящее время, ряд российских фирм разрабатывают и производят оборудование, предназначенное для измерения характеристик виброакустических сигналов. Имея общее назначение, эти приборы значительно отличаются между собой по предоставляемым возможностям и удобству в эксплуатации. На сегодняшний день, наиболее известными и широко представленными на рынке из изготавливаемых в РФ, являются: "ПР-200А" (НТЦ "Приз" г. Москва), "Кварц" и "Топаз" (ООО "Диамех" г. Москва), "СК-2300" (ИТЦ "Оргтехдиагностика" г. Москва), "СД-11" (АО "ВАСТ" г. Санкт-Петербург), "СМ-3001" и "ДСА-2001" (ООО "Инкотес" г. Нижний Новгород), "Диана-2" и "Атлант-8" (ПВФ "Вибро-Центр" г. Пермь) [14].

Недостатками существующих средств вибродиагностики в совокупности являются:

- ограничение частотного диапазона снизу и сверху. Ограничение снизу не позволяет прибору проводить обследование тихоходных машин, а сверху - быстроходных машин;
- отсутствие графического дисплея;
- ограничение дополнительного исследования характеристик другими программными продуктами.

Разработанное программное обеспечение минует недостатки уже существующих средств, уступая лишь в количестве реализованных методов.

Программное обеспечение разработано на платформе Tibbo AggreGate компании Tibbo Systems, которая является ведущим российским разработчиком программного обеспечения для систем управления и мониторинга. Tibbo AggreGate имеет множество инструментов для работы с большими данными, среди которых есть область машинного обучения. С помощью этого инструмента специалисты по обработке данных могут анализировать потоки временных рядов и большие поля данных, чтобы извлечь необходимые знания. Учебные модули интегрируются с единой моделью данных AggreGate, поэтому они могут обмениваться данными с другими объектами, устройствами и источниками данных платформы.

3.1 Описание платформы Tibbo AggreGate

Интеграционная платформа AggreGate - это платформа, созданная российскими разработчиками, используемая для мониторинга и управления различными аппаратными устройствами.

Основная концепция платформы — нормализация данных устройств. Любое устройство может быть представлено с помощью переменных, функций и событий. Можно управлять любым устройством посредством чтения/записи переменных, вызова функций и подписки на события. Таким образом, AggreGate использует программные драйверы устройств и аппаратные преобразователи протоколов, чтобы нормализовать данные устройств и внести их в систему, работающую в реальном времени. Данные и метаданные устройств кэшируются в базе данных, чтобы обеспечить мгновенный доступ, который не предполагает каких-либо операций ввода/вывода при взаимодействии с аппаратным обеспечением [15].

Особенностью платформы Tibbo AggreGate является встроенный механизм машинного обучения. При помощи данного инструмента возможно:

- предсказание значений на основе полученных данных;
- анализ большого потока данных с целью извлечения необходимой информации.

В настоящей работе используется инструмент машинного обучения для предсказания значений виброскорости и выявления дефектов роторного оборудования.

Машинное обучение – широкий подраздел искусственного интеллекта, исследующий методы построения алгоритмов, способных к обучению. Выделяют два типа обучения: с учителем и без учителя для решения трех основных задач:

- предсказание значений;
- обнаружение аномалий;
- классификация значений или наборов данных.

Для обучения с учителем требуется размеченный набор данных для обучения модели машинного обучения. Обучение без учителя не требует размеченных данных и используется для того, чтобы выделить структуру из входных данных.

У обучаемых модулей, отвечающих за процесс обучения и получения результатов, имеются гиперпараметры, которые позволяют контролировать и настраивать поведение алгоритмов. Модули машинного обучения совместно с редактором процессов являются мощным и универсальным инструментом для прогнозирования отказов, оптимизации работы как физических активов так и бизнес-сервисов.

Модуль машинного обучения включает в себя широко известные алгоритмы: линейную регрессию, регрессию опорных векторов, дерево решений, алгоритм случайного леса, нейронная сеть прямого распространения, наивный байесовский классификатор и другие.

Обучаемые модули встроены в единую модель данных AggreGate, что дает им возможность обмениваться данными с любыми другими объектами, устройствами и источниками данных платформы. Модули могут работать в режиме инкрементного (пошагового) обучения, очень быстро обновляя модель

по мере поступления новых данных в виде системных событий или событий устройств.

Возможность написания скриптов на языках R и Python дополняет функциональные возможности как для этапа предварительной обработки данных, так и самого процесса обучения [16].

3.2 Алгоритмы машинного обучения

В последние годы все большую популярность приобретают методы машинного обучения, в рамках которых программа сначала «обучается» на данных, при этом подбираются определённые коэффициенты, с помощью которых в дальнейшем программа может принимать какие-либо решения.

Алгоритмы машинного обучения, которые учатся на парах объект-ответ, называются алгоритмами обучения с учителем, так как «учитель» показывает алгоритму ответ в каждом наблюдении, по которому происходит обучение. Несмотря на то, что создание набора с объектами и ответами – это часто трудоемкий процесс, осуществляемый вручную, алгоритмы обучения с учителем интерпретируемы и качество их работы легко измерить. Если вашу задачу можно сформулировать в виде задачи обучения с учителем, и вы можете создать набор данных, который включает в себя ответы, вероятно, машинное обучение решит вашу проблему.

Обучение с учителем используется всякий раз, когда мы хотим предсказать определенный результат (ответ) по данному объекту, и у нас есть пары объект-ответ. Мы строим модель машинного обучения на основе этих пар объект-ответ, которые составляют наш обучающий набор данных. Наша цель состоит в том, чтобы получить точные прогнозы для новых, никогда ранее не встречавшихся данных. Машинное обучение с учителем часто требует вмешательства человека, чтобы получить обучающий набор данных, но потом оно автоматизирует и часто ускоряет решение трудоемких или неосуществимых задач.

Существует две основные задачи машинного обучения с учителем: классификация и регрессия. Цель классификации состоит в том, чтобы дать прогноз маркера класса, который представляет собой выбор из заранее определенного списка возможных вариантов. Классификация иногда разделяется на бинарную классификацию, которая является частным случаем разделения на два класса, и мультиклассовую классификацию, когда в классификации участвует более двух классов. Бинарную классификацию можно представить как попытку ответить на поставленный вопрос в формате «да/нет».

Целью регрессии является измерение связи между зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными. Примеры регрессионной задачи: прогнозирование объема урожая зерна на ферме в зависимости от таких атрибутов, как объем предыдущего урожая, погода, и количество сотрудников, работающих на ферме; прогнозирование годового дохода человека в зависимости от его образования, возраста и места жительства.

Самый простой способ отличить классификацию от регрессии – определить, заложена ли в полученном ответе определенная непрерывность (преемственность). Если полученные результаты непрерывно связаны друг с другом, то решаемая задача является задачей регрессии [17].

3.2.1 Линейная регрессия

Одномерная линейная регрессия – это метод, используемый для моделирования отношений между одной независимой входной переменной (переменной функции) и выходной зависимой переменной. Модель линейная.

Более общий случай – множественная линейная регрессия, где создается модель взаимосвязи между несколькими входными переменными и выходной зависимой переменной. Модель остаётся линейной, поскольку выходное значение представляет собой линейную комбинацию входных значений.

Такие модели сводятся к суммированию значений признаков с некоторыми весами:

$$a(x) = \omega_0 + \sum_{j=1}^d w_j \cdot x_j. \quad (3.1)$$

Параметрами модели являются веса или коэффициенты w_j . Вес w_0 также называется свободным коэффициентом или сдвигом. Заметим, что $\sum_{j=1}^d w_j \cdot x_j$ является скалярным произведением вектора признаков на вектор весов. Воспользуемся этим и запишем линейную модель в более компактном виде:

$$a(x) = \omega_0 + \langle w, x \rangle, \quad (3.2)$$

где $w = (w_1, \dots, w_d)$ - вектор весов.

Достаточно часто используется следующий приём, позволяющий упростить запись ещё сильнее. Добавим к признаковому описанию каждого объекта $(d + 1)$ -й признак, равный единице. Вес при этом признаке как раз будет иметь смысл свободного коэффициента, и необходимость в слагаемом w_0 отпадёт: $a(x) = \langle w, x \rangle$.

Тем не менее, при такой форме следует соблюдать осторожность и помнить о наличии в выборке специального признака. Например, мы столкнёмся со сложностями, связанными с этим, когда будем говорить о регуляризации.

За счёт простой формы линейные модели достаточно быстро и легко обучаются, и поэтому популярны при работе с большими объёмами данных. Также у них мало параметров, благодаря чему удаётся контролировать риск переобучения и использовать их для работы с зашумлёнными данными и с небольшими выборками.

Чтобы обучать регрессионные модели, нужно определиться, как именно измеряется качество предсказаний. Будем обозначать через u значение целевой

переменной, через a — прогноз модели. Рассмотрим несколько способов оценить отклонение $L(y, a)$ прогноза от истинного ответа.

MSE и R2 . Основной способ измерить отклонение — посчитать квадрат разности:

$$L(y, a) = (a - y)^2. \quad (3.3)$$

Благодаря своей дифференцируемости эта функция наиболее часто используется в задачах регрессии. Основанный на ней функционал называется среднеквадратичным отклонением (mean squared error, MSE):

$$MSE(a, X) = \frac{1}{l} \cdot \sum_{i=1}^l (a(x_i) - y_i)^2. \quad (3.4)$$

Отметим, что величина среднеквадратичного отклонения плохо интерпретируется, поскольку не сохраняет единицы измерения — так, если мы предсказываем цену в рублях, то MSE будет измеряться в квадратах рублей. Чтобы избежать этого, используют корень из среднеквадратичной ошибки (root mean squared error, RMSE):

$$RMSE(a, X) = \sqrt{\frac{1}{l} \cdot \sum_{i=1}^l (a(x_i) - y_i)^2}. \quad (3.5)$$

MAPE и SMAPE. В задачах прогнозирования также измеряется относительная ошибка:

$$L(y, a) = \left| \frac{y - a}{y} \right|. \quad (3.6)$$

Соответствующий функционал называется средней абсолютной процентной ошибкой (mean absolute percentage error, MAPE). Данный функционал часто используется в задачах прогнозирования. Также используется его симметричная модификация (symmetric mean absolute percentage error, SMAPE):

$$L(y, a) = \frac{2 \cdot |y - a|}{|y| + |a|}. \quad (3.7)$$

Чаще всего линейная регрессия обучается с использованием среднеквадратичной ошибки [18]. В этом случае получаем задачу оптимизации:

$$\frac{1}{l} \cdot \sum_{i=1}^l ((w_i, x_i) - y_i)^2 \rightarrow \min_w. \quad (3.8)$$

На рисунке 13 представлен график, где по оси абсцисс - временной ряд x , где 1, 2, 3... – соответственно, 2 минуты, 4 минуты, 6 минут, по оси ординат y - среднеквадратическое значение виброскорости. Определим линейную регрессионную модель для предсказания среднеквадратического значения виброскорости.

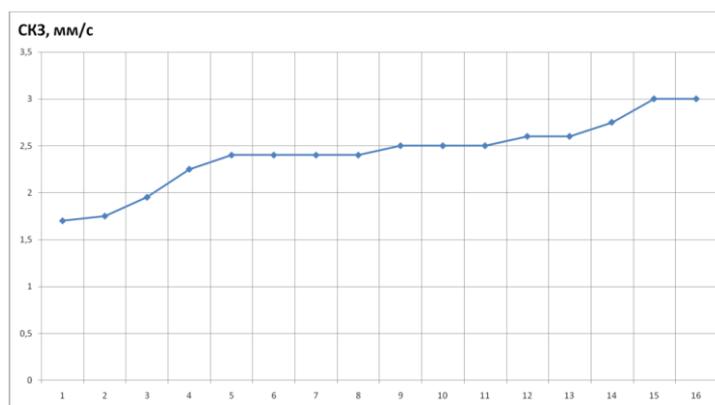


Рисунок 13 - График среднеквадратического значения от временных интервалов

Представим в таблице 6 табличное представление данных СКЗ виброскорости. Также внесем в таблицу 6 следующие столбцы: x^2 , y^2 , $x \cdot y$.

Таблица 6 - Табличное представление данных СКЗ виброскорости

x	y , мм/с	x^2	y^2 , мм ² /с ²	$x \cdot y$, мм/с
1	1,7	1	2,89	1,7
2	1,75	4	3,0625	3,5

Продолжение таблицы 6 - Табличное представление данных СКЗ виброскорости

x	y , мм/с	x^2	y^2 , мм ² /с ²	$x \cdot y$, мм/с
3	1,95	9	3,8025	5,85
4	2,25	16	5,0625	9
5	2,4	25	5,76	12
6	2,4	36	5,76	14,4
7	2,4	49	5,76	16,8
8	2,4	64	5,76	19,2
9	2,5	81	6,25	22,5
10	2,5	100	6,25	25
11	2,5	121	6,25	27,5
12	2,6	144	6,76	31,2
13	2,6	169	6,76	33,8
14	2,75	196	7,5625	38,5
15	3	225	9	45
16	3	256	9	48

Выборка объема данных: $n = 15$.

Рассчитаем выборочные средние:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} x_i = 8,5,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} y_i = 2,419.$$

Рассчитаем выборочные дисперсии и среднеквадратичные отклонения:

$$D_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} x_i^2 - \bar{x}^2 = 21,25,$$

$$D_y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} y_i^2 - \bar{y}^2 = 0,13,$$

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} = 4,61,$$

$$\sigma_y = \sqrt{D_y} = 0,361.$$

Рассчитаем среднее произведения $x \cdot y$:

$$\overline{x \cdot y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} x_i \cdot y_i = 22,121.$$

Определим выборочный коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = 0,939.$$

Коэффициент корреляции близок к единице, поэтому связь между x и y является сильной (близка к функциональной).

Определим выборочное уравнение линейной регрессии:

$$\frac{a_x - \bar{y}}{\sigma_y} = r_{xy} \cdot \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x},$$

$$a_x = 0,0735 \cdot x + 1,793.$$

По полученному уравнению регрессии вычислим u_x в заданных точках и результаты запишем в таблицу 7.

Таблица 7 - Результаты расчетов полученного уравнения регрессии

x	y , мм/с	$a_x(x)$, мм/с	$(a_x(x) - y)^2$, мм ² /с ²
1	1,7	1,867	0,0279
2	1,75	1,941	0,0364
3	1,95	2,014	0,00414
4	2,25	2,088	0,0263
5	2,4	2,1618	0,0569
6	2,4	2,235	0,0272
7	2,4	2,308	0,00838
8	2,4	2,382	0,000324
9	2,5	2,456	0,00197
10	2,5	2,529	0,000844

Продолжение таблицы 7 - Результаты расчетов полученного уравнения регрессии

x	y , мм/с	$a_x(x)$, мм/с	$(a_x(x) - y)^2$, мм ² /с ²
11	2,5	2,603	0,010521
12	2,6	2,676	0,00579
13	2,6	2,749	0,0224
14	2,75	2,823	0,00535
15	3	2,897	0,0107
16	3	2,970	0,000887

Остаточная дисперсия:

$$D_{\text{ост}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n+1} (a_x(x_i) - y_i)^2 = 0,0154.$$

Коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{D_{\text{ост}}}{D_y} = 0,882.$$

Коэффициент детерминации показывает насколько выбранная регрессионная модель противоречит экспериментальным данным. Данное значение коэффициента детерминации близко к единице, то есть наблюдается сильная взаимосвязь между полученными и экспериментальными данными.

На рисунке 14 построим прямую, значения которой получены по уравнению регрессии, и прямую, значения которой получены экспериментально.

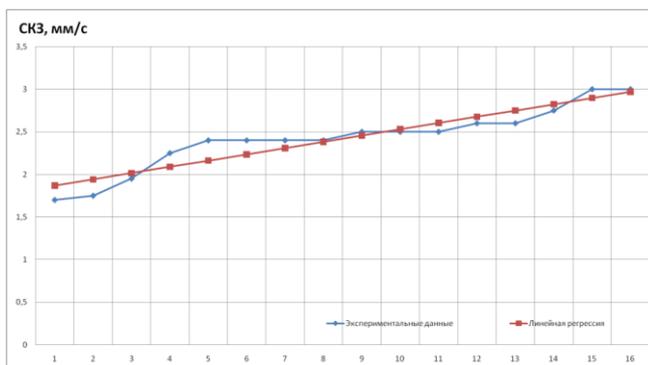


Рисунок 14 - Графическое представление уравнения линейной регрессии и экспериментальных данных

Для прогнозирования СКЗ виброскорости необходимо рассчитать значения уравнения линейной регрессии для будущих периодов. Так, например, по прогнозу среднеквадратическое значение виброскорости будет превышать предупредительное состояние через 42 минуты, а предельное состояние будет превышать через 114 минуты. Экспериментальные данные были получены в период износа подшипников, что соответствует полученному остаточному ресурсу.

Рассчитаем величину среднеквадратичной ошибки:

$$RMSE(a, y) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (a(x_i) - y_i)^2} = 0,123 \text{ мм/с.}$$

3.2.2 Деревья решений

Деревья решений являются моделями, широко используемыми для решения задач классификации и регрессии. По сути они задают вопросы и выстраивают иерархию правил «если...то», приводящую к решению. Цель состоит в том, чтобы получить правильный ответ, задав несколько вопросов.

Введем базовые понятия теории деревьев решений.

Объект- пример, шаблон, наблюдение, запись.

Атрибут - признак, независимая переменная, свойство, входное поле.

Узел - внутренний узел дерева.

Лист - конечный узел дерева, узел решения, иными словами, место, где записывается целевая функция.

Целевая функция - функция нескольких переменных, подлежащая оптимизации в целях решения некоторой оптимизационной задачи.

Работа деревьев решений основана на процессе рекурсивного разбиения исходного набора наблюдений или объектов на подмножества, связанные с классами. Разделение выполняется по правилам принятия решений, которые проверяют значения атрибутов для заданного условия. Алгоритмы, которые

работают пошагово, называются рекурсивными, а результаты, полученные на предыдущем шаге, используются на каждом последующем шаге.

Для того, чтобы получить оптимальные деревья принятия решений, нужно на каждом шагу выбирать атрибуты, которые "лучше всего" характеризуют целевую функцию. Это требование формализуется посредством понятия энтропии [19].

Предположим, что имеется множество A из n элементов, m из которых обладают некоторым свойством S . Тогда энтропия множества A по отношению к свойству S – это

$$H(A, S) = -\frac{m}{n} \cdot \log_2 \frac{m}{n} - \frac{n-m}{n} \cdot \log_2 \frac{n-m}{n}. \quad (3.9)$$

Энтропия зависит от пропорции, в которой разделяется множество. Если свойство S не бинарное, то

$$H(A, S) = -\sum_{i=1}^s \frac{m_i}{n} \cdot \log_2 \frac{m_i}{n}. \quad (3.10)$$

Чтобы определить, какой атрибут лучше всего подходит для разделения, недостаточно просто вычислить энтропию. Если атрибут должен использоваться для совместного использования, необходимо определить приращение информации, которое измеряет ожидаемое уменьшение энтропии.

Предположим, что множество A элементов, некоторые из которых обладают свойством S , классифицировано посредством атрибута Q , имеющего q возможных значений. Тогда прирост информации определяется как

$$Gain(A, Q) = H(A, S) - \sum_{i=1}^q \frac{|A_i|}{|A|} \cdot H(A_i, S), \quad (3.11)$$

где A_i - множество элементов A , на которых атрибут Q имеет значение i .

Эта формула выражает прирост информации в виде суммарной энтропии множества, но за вычетом энтропии подмножеств, созданных в результате разбиения [21].

На рисунке 15 изображен график дерева принятия решения построенный на основе следующей выборки, изображенной в таблице 8. В данной таблице значение амплитуды (Amp) для выбранной частоты имеет 3 состояния: нормальное, предельное, аварийное. Текущее значение сравнивается с нормой, установленной в таблице 4 на каждой частотной полосе. Значения амплитуд на боковых частотах является нормой, если не превышает определенного уровня. В данном случае, если средние значения амплитуд на боковых частотах больше чем $0,4 \cdot \text{Amp}$, то это состояние считается не нормой. Данное количественное определение основано на экспериментальных наблюдениях. Значения СКЗ также определяется исходя из таблицы 4. Результатом данной выборки являются стадии развития дефекта, где стадия 0 – дефект не обнаружен, стадия 1 – обнаружено зарождение дефекта, стадия 2 – обнаружено развитие дефекта, стадия 3 – дефект развит, требуется замена детали.

Вычислим исходную энтропию состояния:

$$\begin{aligned} H(A, State)_0 &= -\frac{2}{12} \cdot \log_2 \frac{2}{12} - \frac{5}{12} \cdot \log_2 \frac{5}{12} - \frac{4}{12} \cdot \log_2 \frac{4}{12} - \frac{1}{12} \cdot \log_2 \frac{1}{12} \\ &= 1,78425. \end{aligned}$$

Вычисленное значение энтропии пока не информативно, поэтому рассчитаем, как изменится энтропия, если разделить исходную выборку на две группы.

$$H(A, State)_1 = -\frac{1}{4} \cdot \log_2 \frac{1}{4} - \frac{2}{4} \cdot \log_2 \frac{2}{4} - \frac{1}{4} \cdot \log_2 \frac{1}{4} = 1,5,$$

$$H(A, State)_2 = -\frac{2}{8} \cdot \log_2 \frac{2}{8} - \frac{4}{8} \cdot \log_2 \frac{4}{8} - \frac{2}{8} \cdot \log_2 \frac{2}{8} = 1,5,$$

$$H(A, State)_3 = -\frac{1}{2} \cdot \log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \log_2 \frac{1}{2} = 1,$$

$$H(A, State)_4 = -\frac{2}{4} \cdot \log_2 \frac{2}{4} - \frac{2}{4} \cdot \log_2 \frac{2}{4} = 1,$$

$$H(A, State)_5 = -\frac{2}{4} \cdot \log_2 \frac{2}{4} - \frac{2}{4} \cdot \log_2 \frac{2}{4} = 1.$$

Таблица 8 – Данные для построения дерева принятия решений для метода прямого спектра в общем виде

Значение амплитуды на выбранных частотах	Среднее значение соседних амплитуд	СКЗ	Стадия развития дефекта
Норма	Норма	Норма	Стадия 0
Норма	Больше нормы	Норма	Стадия 0
Норма	Норма	Больше нормы	Стадия 1
Норма	Больше нормы	Больше нормы	Стадия 1
Предельное	Норма	Норма	Стадия 1
Предельное	Больше нормы	Норма	Стадия 2
Предельное	Норма	Больше нормы	Стадия 1
Предельное	Больше нормы	Больше нормы	Стадия 2
Аварийное	Норма	Норма	Стадия 1
Аварийное	Больше нормы	Норма	Стадия 2
Аварийное	Норма	Больше нормы	Стадия 2
Аварийное	Больше нормы	Больше нормы	Стадия 4

По полученным результатам можно сделать вывод, что энтропия уменьшилась в обоих случаях по сравнению с начальным состоянием.

Поскольку энтропия - это степень неопределенности в системе, уменьшение энтропии называют приростом информации. После разбиения исходного состояния на две группы на выходе получилась более упорядоченная система, чем в начале [22]. Продолжим далее деление на группы, пока в каждой группе не будет одно состояние стадии развития дефекта.

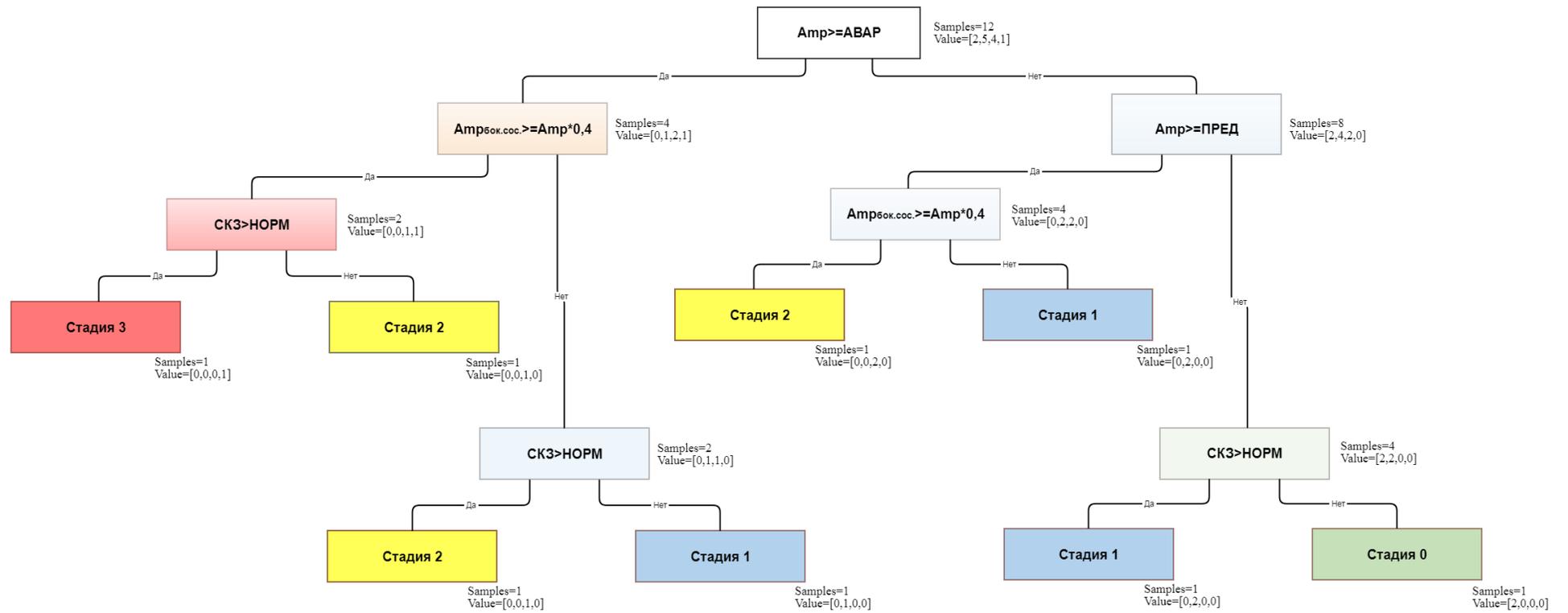


Рисунок 15- Дерево принятия решений для обучения модуля по методу прямого спектра

Для правой группы понадобилось 3 деления на группы, также как и для левой. Очевидно, энтропия группы с одной стадией развития дефекта равна 0, так как $\log_2 1 = 0$, что соответствует тому, что данная система упорядоченная.

3.3 Техническое задание на разработку программного обеспечения

1. Введение

Работа выполняется в рамках проекта «Вибродиагностика редуктора проходческого комбайна П110М».

2. Основание для разработки

Для увеличения надежности и работоспособности оборудования, а также сокращения затрат, связанных с простоями и ремонтом комбайна, требуется точная система диагностирования технического состояния системы.

3. Назначение разработки

Создание программного обеспечения, предназначенного для дистанционного определения состояния редуктора проходческого комбайна П110М, эксплуатирующего в сложных шахтных условиях.

4. Технические требования

4.1. Требования к функциональным характеристикам

4.1.1. Состав выполняемых функций

Разрабатываемое ПО должно обеспечивать:

- ввод основных параметров подшипников редуктора;
- сбор данных параметров вибрации с датчика вибрации;
- проведение диагностики редуктора комбайна посредством машинного обучения;
- вывод результатов замеров общего уровня вибрации;
- анализ замеров вибрации;
- визуализация результатов диагностики и рекомендаций по дальнейшей работе.

4.1.2. Организация входных и выходных данных

Исходные данные в систему поступают в виде значений с датчика вибрации, установленного на редукторе комбайна. Данные значения отображаются на компьютере диспетчера. После диагностики состояния редуктора комбайна на компьютере диспетчера отображаются результаты диагностики: зарождение, определение дефектов, и рекомендации по дальнейшей эксплуатации оборудования.

Основной режим использования системы — время проведения технического обслуживания.

4.2. Требования к информационной и программной совместимости

Программное обеспечение может быть запущено на любой операционной системе с поддержкой Java. ПО работает на следующих операционных системах:

- Windows 2000, XP, Vista, 2003 Server, 2008 Server, 7 и 2012 Server (32-bit и 64-bit версии);
- Linux (32-bit и 64-bit версии);
- Mac OS X.

3.4 Структура программного обеспечения

Структура программного обеспечения представлена на рисунке 17. Ниже представлено описание программного обеспечения в целом.

Данные с датчика вибрации по протоколу Modbus TCP поступают в OPC-сервер протоколов Modbus. В OPC-сервере настраивается канал связи, куда вводятся IP-адрес, TCP-порт и изменяются настройки получения пакетов. На рисунке 18 изображен внешний вид OPC-сервера.

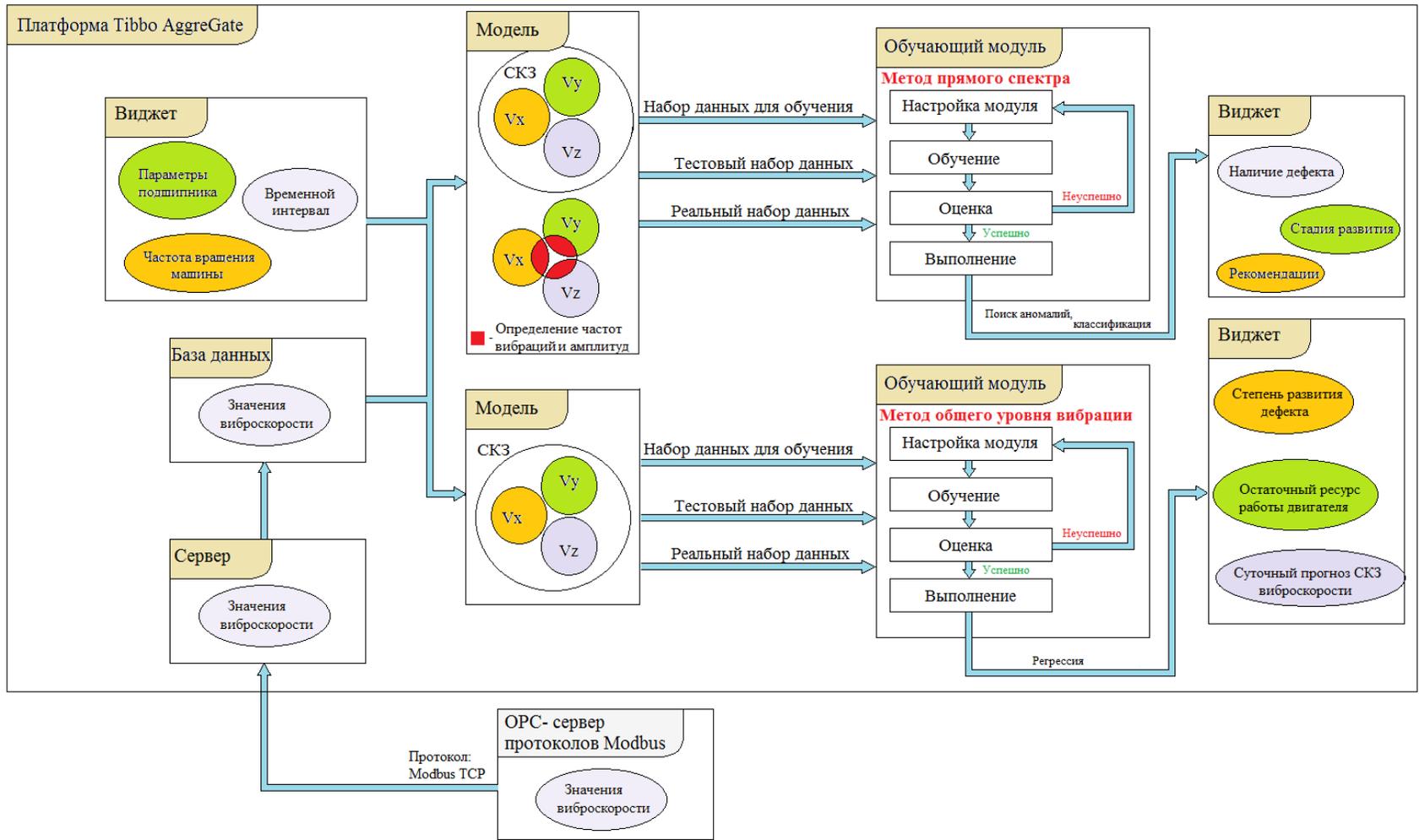


Рисунок 17 - Структура программного обеспечения

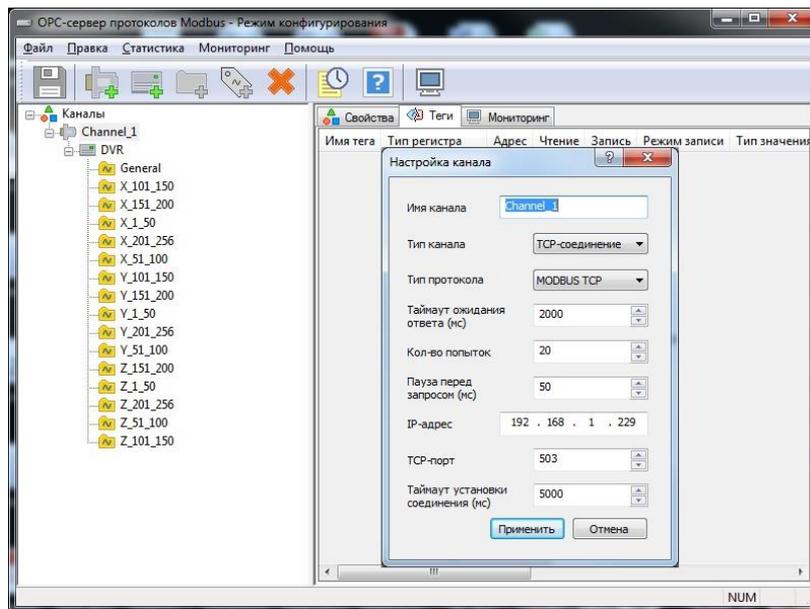


Рисунок 18 – Окно OPC-сервера протоколов Modbus

Далее данные с OPC-сервера поступают на сервер платформы AggreGate. На рисунке 19 изображен внешний вид платформы при открытии устройства сервера.

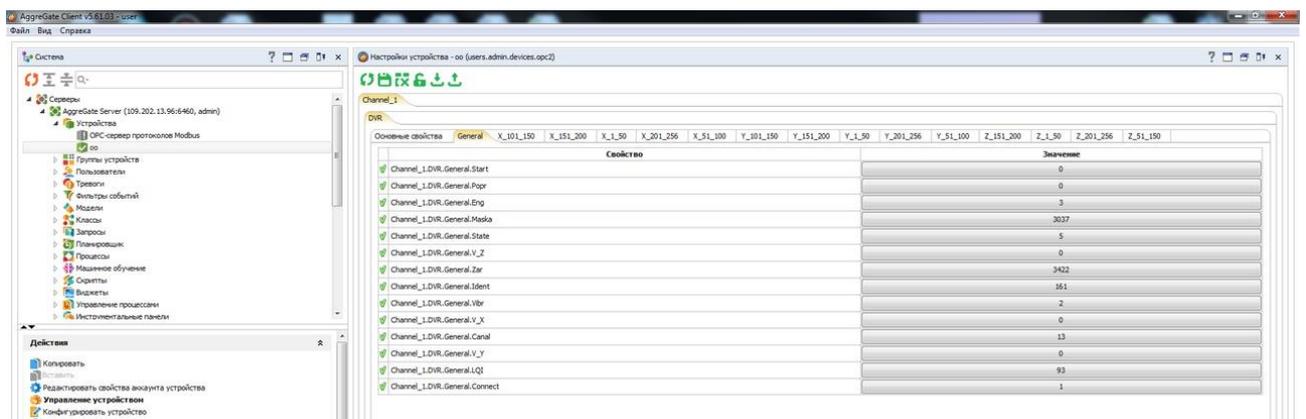
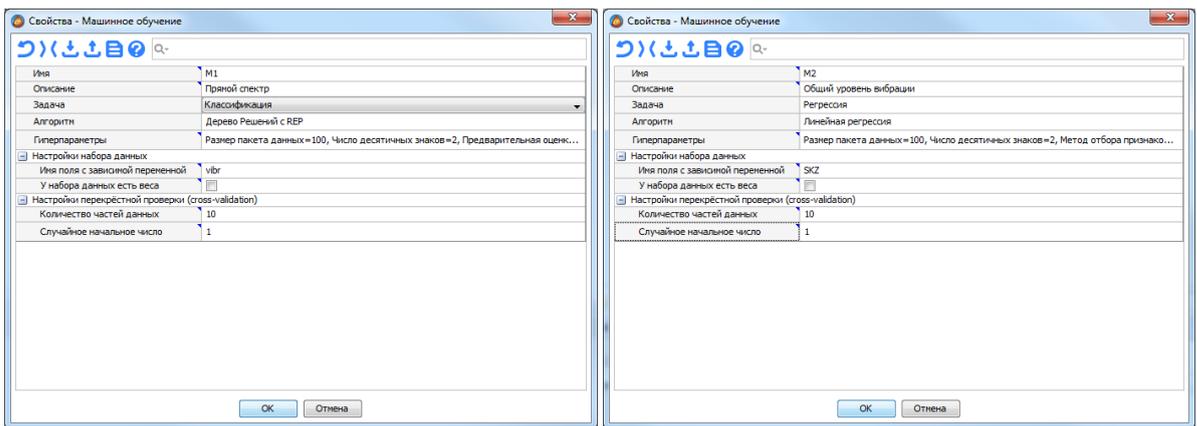


Рисунок 19 – Внешний вид платформы Tibbo AgreeGate при открытии устройства сервера

Для того чтобы произвести техническую диагностику оборудования используется модуль машинного обучения платформы Tibbo AggreGate. Но прежде чем обучить модули, изображенные на рисунке 20, необходимо сформировать три типа таблиц для обучения: набор данных для обучения, тестовый набор данных и реальный набор данных.

Для того чтобы получить данные таблицы, в первую очередь, необходимо настроить базу данных MySQL, где будут храниться значения виброскорости, а

далее создать модели, которые будут определять ОРС-переменные, присваивая им простые, доступные имена; производить сортировку полученных данных по времени и по частотам. Сортировка данных по времени позволит анализировать данные, которые поступали в течение определенного времени, исключая ложные значения, которые могли поступать на платформу по причине некоторых неисправностей. Сортировка данных по частотам позволяет выделить значения, которые более информативны для определения иного дефекта. Для получения определенных значений частот оператору необходимо ввести следующие параметры: частоту вращения машины и параметры подшипника редуктора. На рисунке 21 представлено окно виджета для ввода вышеописанных параметров. После сортировки выбранному набору данных присваивается имя поля, по которому будет вестись обучение.



а)

б)

Рисунок 20 - Внешний вид модуля машинного обучения для реализации а) метода прямого спектра; б) метода общего уровня вибрации

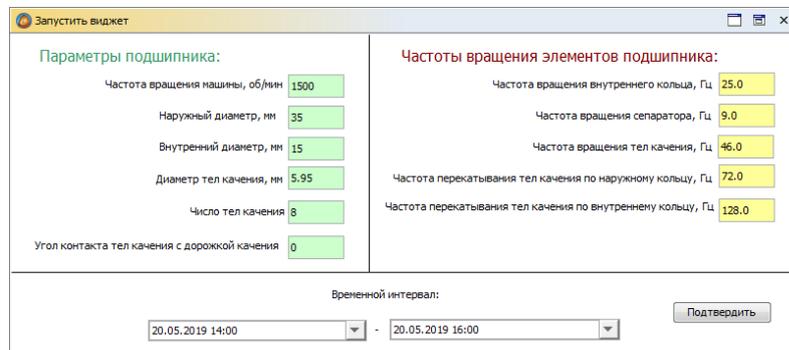


Рисунок 21 - Окно виджета для ввода необходимых данных для диагностики

После того как получены все необходимые данные происходит обучение модуля. Для начала создается обучаемый модуль. После этого, обучаемый модуль необходимо сконфигурировать. При конфигурировании свойств данного модуля необходимо выбрать тип задачи и алгоритма. Далее нужно указать имя поля с зависимой переменной, которое будет указывать на колонку с зависимой переменной набора данных. Когда обучаемый модуль создан и сконфигурирован, его задача и алгоритм установлены, гиперпараметры алгоритма заданы, внутренние фильтры(при необходимости) добавлены, обучаемый модуль может быть обучен на обучающем наборе данных.

Обучающий набор должен быть передан функции как таблица данных, формат которой должен удовлетворять требованиям платформы. В приложении А приведены основные функции, используемые для составления, сортировки, фильтрации таблиц данных. После этого процесс обучения заканчивается. Некоторые обучаемые модули можно обучить заново, если в их основе лежат обновляемые алгоритмы.

После пройденного обучения обучаемый модуль может использоваться для предсказания новых данных. Однако, желательно проводить оценку качества работы модели машинного обучения до начала ее применения для предсказаний. Функция "Оценить" проводит оценку работы обученного модуля на обучающем наборе данных и возвращает набор оценочных метрик. Тестовый набор передается функции как таблица данных, формат которой должен удовлетворять требованиям платформы. Для этой цели служит функция "Использовать". Важно, чтобы формат таблицы данных, передаваемой в качестве аргумента функции "Использовать", соответствовал формату таблицы данных, которая использовалась для обучения обучаемого модуля. Функцию "Использовать" можно применять на данных, содержащих значения зависимой переменной. Использование функции служит еще одним инструментом оценки функционирования модели машинного обучения. Предсказанные и

фактические значения (включая ошибку для задач регрессии) включены в итоговую таблицу данных совместно с соответствующими признаками.

После того как модуль обучен и проверен, загружается таблица реальных данных на выполнение каждого модуля и в результате оператор получает следующие выходные значения: наличие дефектов, стадии развития дефектов, рекомендации по дальнейшему обслуживанию системы в целом, суточный прогноз по СКЗ виброскорости.

4 Проверка работоспособности и эффективности программного обеспечения

Для проверки программного обеспечения использовалась диагностическая станция с приводом АОЛ 21-4. На рисунке 22 изображен внешний вид электродвигателя.



Рисунок 22 - Внешний вид электродвигателя АОЛ 21-4

Передача данных с датчика вибрации, установленного на двигателе настроена по вышеописанной структурной схеме диагностики двигателя, которая находится в разделе 2.2. На рисунке 23 изображен тестовый стенд для записи вибросигнала.

В данном двигателе используются 2 подшипника №202. Для того, чтобы определить частоты, которые соответствуют своим элементам подшипника (тела качения, внутреннее и наружное кольцо, сепаратор) необходимо обратиться в справочник подшипников 3.1. На рисунке 24 изображен внешний вид программы, которая отображает информацию по номеру подшипника.

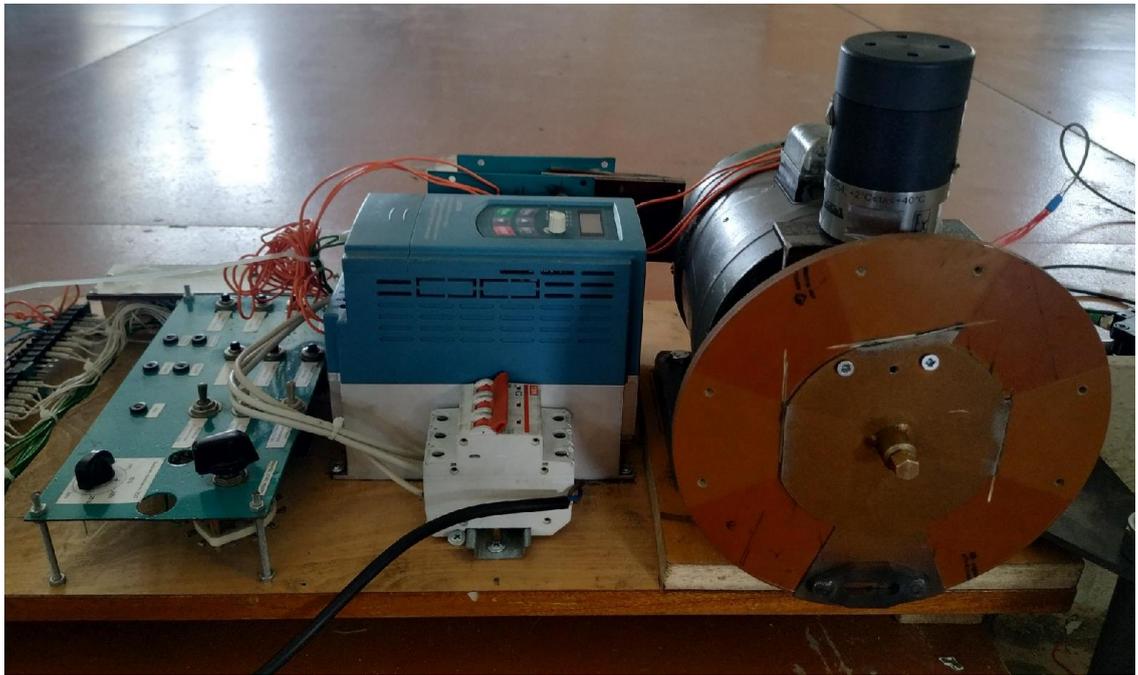


Рисунок 23 - Тестовый стенд для записи вибросигнала

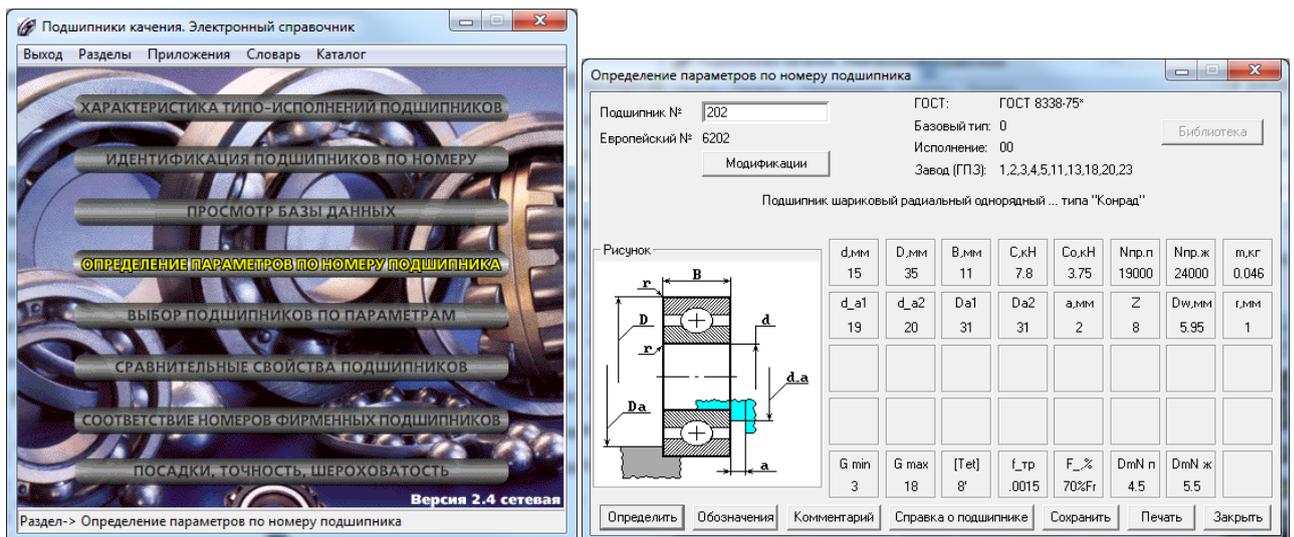


Рисунок 24 - Внешний вид программы "Справочник подшипников 3.1"

После определения параметров подшипника рассчитываются частоты вращения отдельных элементов подшипника. На рисунке 25 изображен виджет платформы Tibbo AggreGate, который используется для расчета частот и задания некоторых параметров, которые в дальнейшем используются при диагностике.

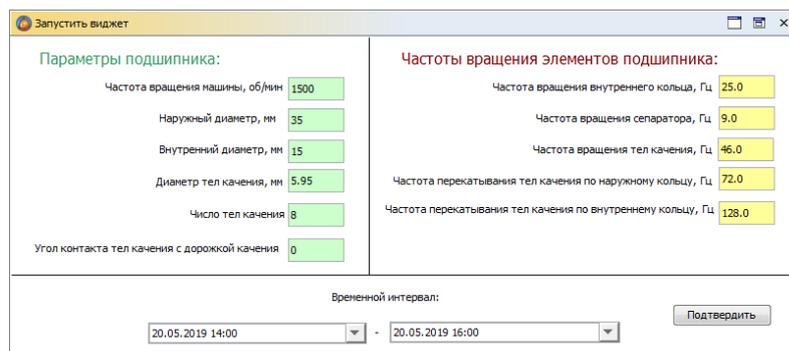
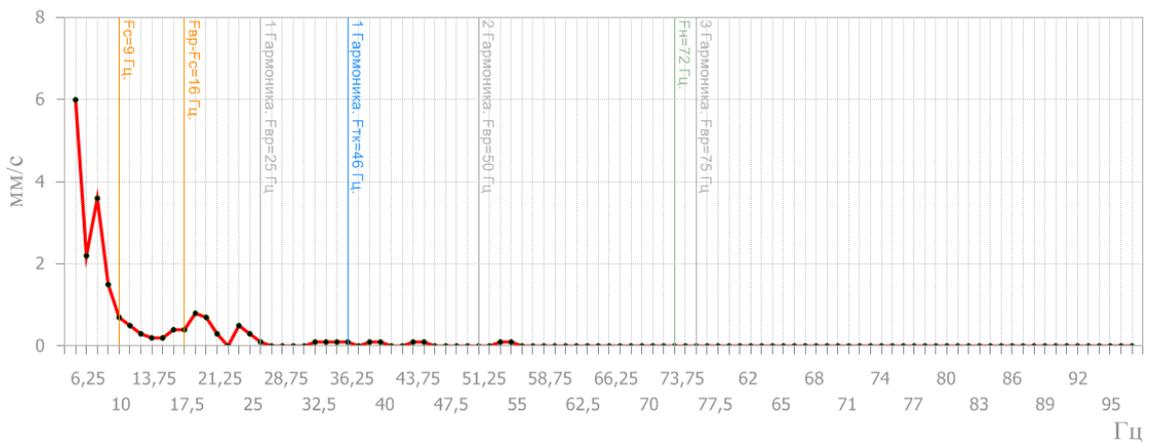


Рисунок 25 - Виджет для определения частот вращения элементов подшипника №202

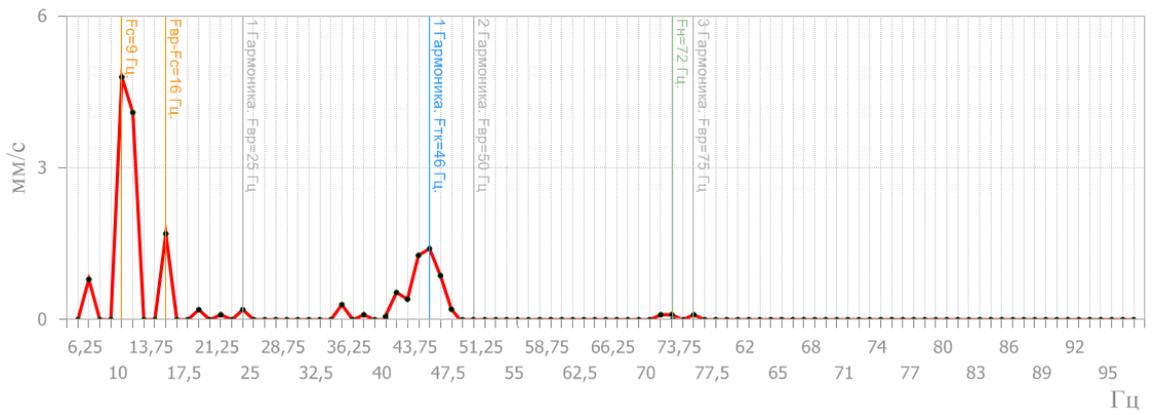
Далее дается команда на включение сбора данных с датчика вибрации. В данном случае рассматривалось два состояния работы с исправными подшипниками и с дефектными. Дефектовали подшипники алмазной крошкой, благодаря которой происходил дальнейший износ подшипников. Также создавали дисбаланс ротора, нагружая на маховик двигателя лишнюю нагрузку. Датчик вибрации устанавливался как можно ближе подшипнику с помощью кронштейна.

На рисунке 26,а представлен график прямого спектра при работе двигателя с исправными подшипниками, а на рисунках 26,б и 26,в – с неисправными.

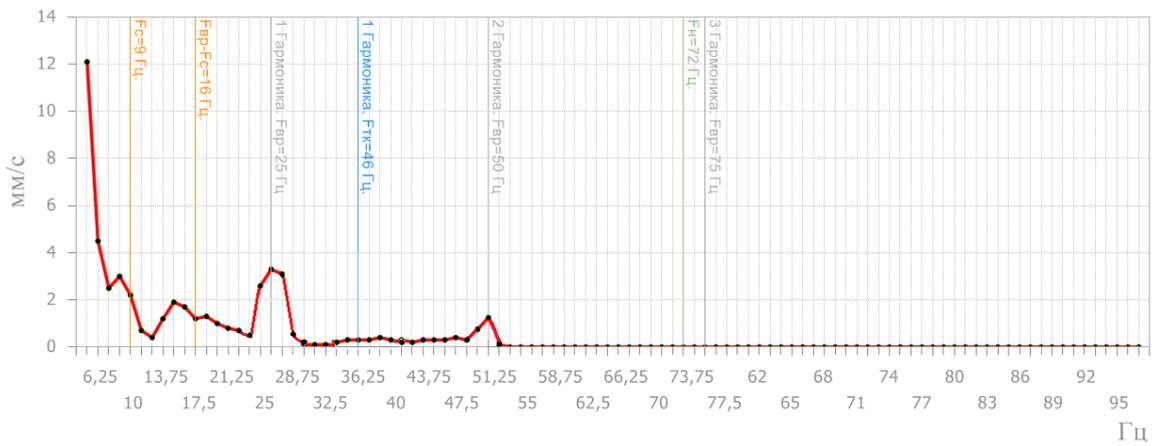
По данным графикам можно сделать вывод о наличии и развитии дефектов. На рисунок 26,б вибродиагностом выявлены дефекты износа тел качения сепаратора и раковины и сколы на телах качения, так как значения амплитуды виброскорости на определяющих частотах повышены. На рисунок 26,в вибродиагностом выявлены дефекты дисбаланса ротора, бой вала и дефект муфт.



а)



б)



в)

Рисунок 26 - График прямого спектра при работе двигателя в различных условиях

4.1 Проверка работоспособности программного обеспечения. Метод прямого спектра

Для определения правильности работы программного обеспечения экспериментальные данные были загружены на платформу Tibbo AggreGate. Результатом работы программного обеспечения является определение дефектов, стадии их развития и рекомендации по дальнейшей работе оборудования. На рисунке 27 представлен результат вибродиагностики при работе двигателя с исправными подшипниками. На рисунке 28 представлен результат вибродиагностики при работе двигателя с дефектными подшипниками. На рисунке 29 представлен результат вибродиагностики при работе двигателя с увеличенной нагрузкой на маховик.

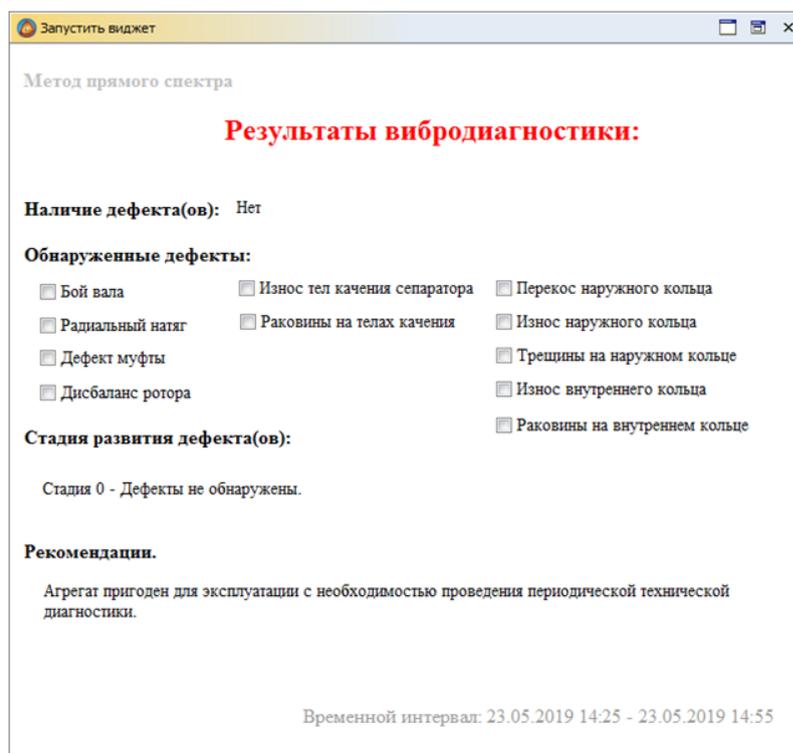


Рисунок 27 - Окно платформы Tibbo AggreGate с результатами вибродиагностики оборудования

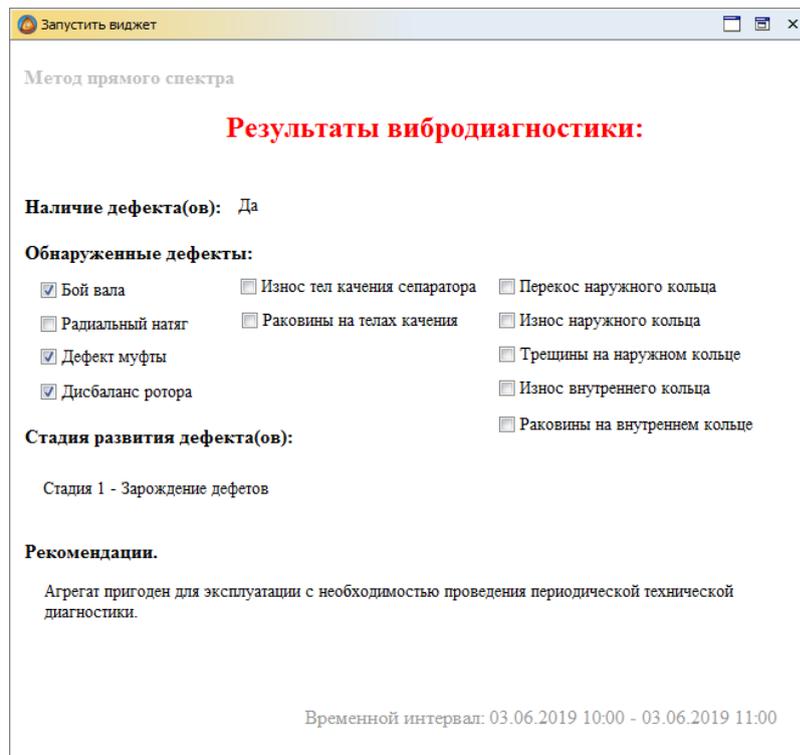


Рисунок 28 - Окно платформы Tibbo AggreGate с результатами вибродиагностики оборудования

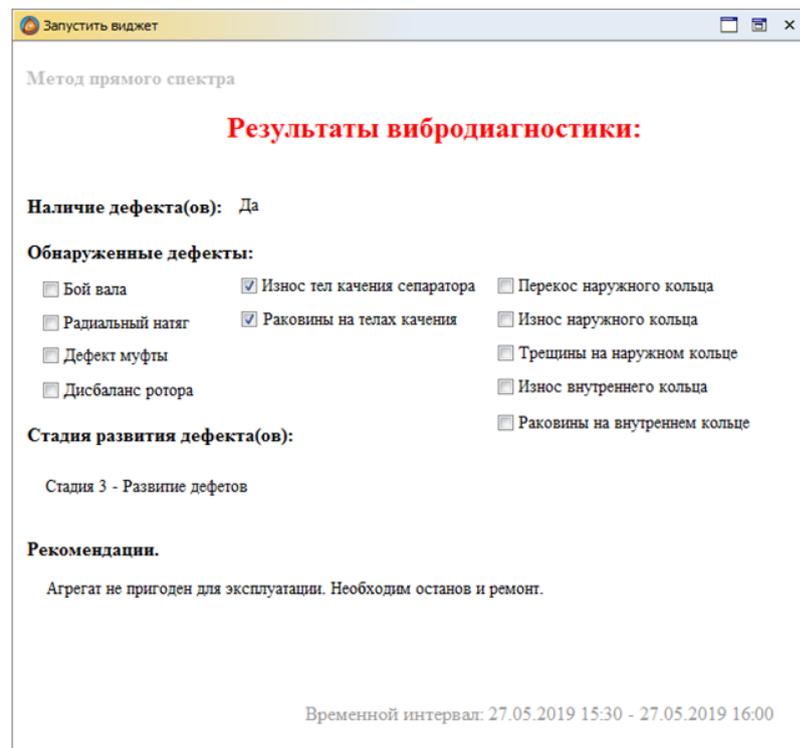


Рисунок 29 - Окно платформы Tibbo AggreGate с результатами вибродиагностики оборудования

Результаты диагностики, полученные программой, совпадают с результатами диагностики, полученными по анализу графиков прямого спектра. Модуль машинного обучения, разработанный на основе метода прямого спектра, работает верно. В программном обеспечении, помимо определения дефектов роторного оборудования, дается рекомендация по дальнейшей работе системы. Достоинством метода прямого спектра является высокая информативность. Недостатком является малая чувствительность к зарождающимся дефектам, так как подшипники являются маломощными источниками вибрации (небольшой скол на дорожке или шарике не в состоянии создать заметную вибрацию).

4.2 Проверка работоспособности программного обеспечения. Метод общего уровня вибрации

При аналогичных состояниях работы роторного оборудования были получены результаты вибродиагностики методом общего уровня вибрации. На рисунке 30 представлен результат вибродиагностики при работе двигателя с исправными подшипниками. На рисунке 31 представлен результат вибродиагностики при работе двигателя с дефектными подшипниками. На рисунке 32 представлен результат вибродиагностики при работе двигателя с увеличенной нагрузкой на маховик.

Полученные результаты диагностики оказались не совсем корректными, так как при развитии дефектов роторного оборудования общий уровень вибрации находился в пределах нормы. Данный недостаток определен самим методом диагностики, так как зачастую дефекты можно определить, только тогда, когда агрегат уже находится в предаварийном состоянии. Достоинством данного метода является его простота реализации. При помощи инструмента машинного обучения данный метод диагностики был модифицирован. Результатом диагностики, помимо значения общего уровня вибрации, было:

- прогнозирование среднеквадратического значения виброскорости за сутки работы системы;

- предсказание остаточного ресурса исправной работы системы.

Наибольшая относительная ошибка прогнозирования СКЗ виброскорости составила 15%. Полученный результат является удовлетворительным.

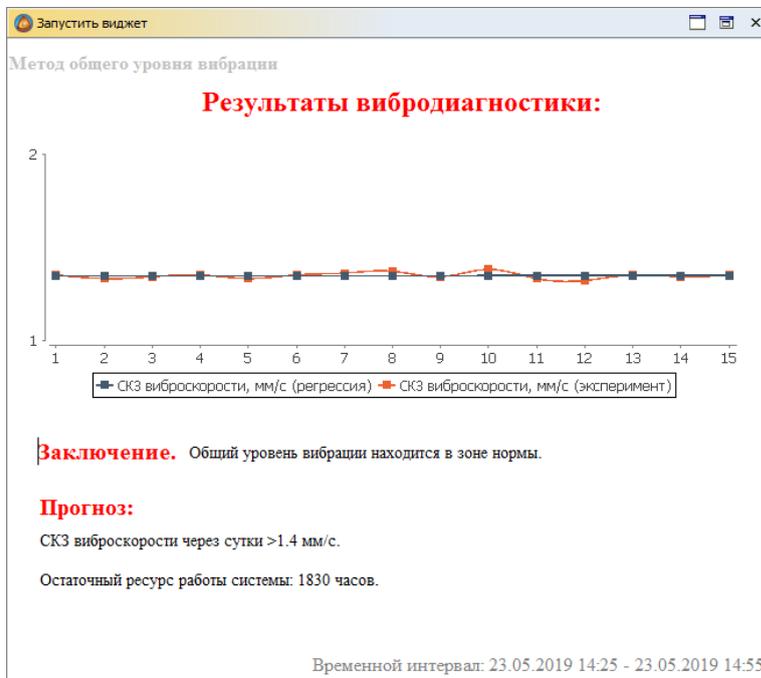


Рисунок 30 - Окно платформы Tibbo AggreGate с результатами вибродиагностики оборудования



Рисунок 31 - Окно платформы Tibbo AggreGate с результатами вибродиагностики оборудования

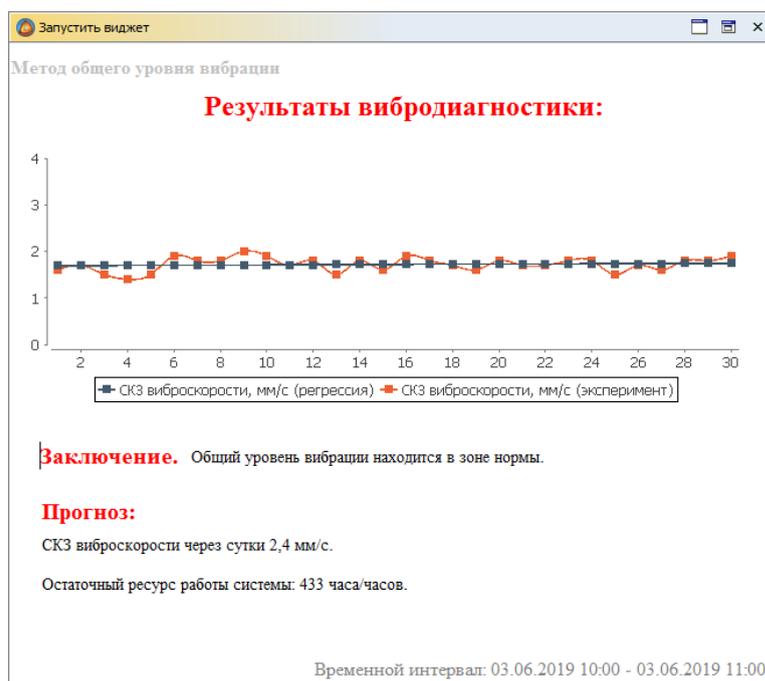


Рисунок 32 - Окно платформы Tibbo AggreGate с результатами вибродиагностики оборудования

Полученные результаты демонстрируют, что разработанное программное обеспечение работает корректно, но все же нуждается в дальнейшем тестировании и доработке методов. Но уже на данном этапе инженеры могут проводить техническое обслуживание оборудования.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности. В работе, на первом этапе, рассматриваются методы технической диагностики оборудования, проводится сравнительный анализ методов и определяется оптимальный. Оптимальным методом является вибродиагностика, так как метод позволяет находить скрытые дефекты, дефекты на этапе зарождения за минимальное время диагностирования. Объектом исследования являются значения виброскорости, полученные с датчика вибрации, который установлен на редукторе проходческого комбайна П110М. На втором этапе разрабатывается программное обеспечение, которое позволяет диагностировать основные дефекты проходческого комбайна, такие как дефекты подшипников, дефекты элементов муфт и др. Данное программное обеспечение разрабатывается при помощи технологии машинного обучения, что позволяет прогнозировать развитие каких-либо дефектов проходческого комбайна. С помощью данного программного обеспечения инженеры могут проводить техническое обслуживание оборудования.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями разработанного программного обеспечения являются угольные компании, заводы горно-шахтного оборудования, машиностроительные предприятия. В приложении А изображена карта сегментации рынка. На карте сегментирования рынка незанятой нишей является технический сервис оборудования на самих заводах по изготовлению горно-шахтного оборудования и машиностроительных предприятиях.

Следовательно, на данный сегмент следует направить максимальные усилия и ресурсы. Иными словами, необходимо обеспечить проведение вибродиагностики оборудования на предприятиях по их изготовлению, для того чтобы сопровождать работу системы на этапе эксплуатации, не обращаясь в другие компании по вибродиагностики.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Данный анализ помогает вносить коррективы в разработанное программное обеспечение, для того чтобы конкурировать с другими фирмами по схожему набору предоставляемых услуг.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения [22]. В таблице 9 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Из таблицы 7 видно, что разрабатываемый продукт конкурентоспособен, по сравнению с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как повышение эффективности труда, удобство в эксплуатации, цена.

Таблица 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вид критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение эффективности труда	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
2. Функциональная мощность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Надежность	0,2	4	5	5	0,8	1	1
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
5. Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
2. Цена	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Послепродажное обслуживание	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
4. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
5. Уровень проникновения на рынок	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Итого	1	46	45	44	4,6	4,55	4,5

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

SWOT-анализ для данного продукта представлен в приложении Б.

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. В данном случае объектом исследования являются экспериментальные данные, полученные опытным путем. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес [22].

В приложении В приведена морфологическая матрица для определения и улучшения показателей разработанного программного обеспечения. Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений. Для данной матрицы предложена три варианта решения технической задачи:

- А-1;Б-2;В-2;Г-2;Д-2.
- А-2;Б-3;В-3;Г-2;Д-3.
- А-3;Б-2;В-2;Г-3;Д-2.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ научного исследования

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ своим исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в приложении Г.

5.3.2 Определение трудоёмкости работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод - метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (5.1)$$

где t_{min} - минимальная трудоёмкость работ, чел/дни; t_{max} - максимальная трудоёмкость работ, чел/дни.

Для выполнения перечисленных в приложении Д работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель;

- консультант от предприятия.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 % [22].

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где T_p - продолжительность одной работы, раб.дни;

$t_{ож}$ - ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел/дни;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В приложении Д приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_K = T_p \cdot k_{кал}, \quad (5.3)$$

где T_K - продолжительность выполнения этапа работы в календарных днях;

T_p - продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$k_{кал}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (5.4)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ - календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$); $T_{\text{ВД}}$ - выходные дни; $T_{\text{ПД}}$ - праздничные дни.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Календарный план проведения научного исследования приведен в приложении Е. Диаграмма Ганта приведена в приложении Ж.

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы [22].

5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{М}} = (1 + k_{\text{T}}) \cdot \sum_{i=1}^m \text{Ц}_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (0,18).

В таблице 10 сведены данные о материальных затратах на научное исследование.

Таблица 10 - Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Датчик вибрации Радио ДВР ИМКВ.13.60.000 ПС	23456	1	23456
Радиомодем РМС1 ИМКВ.13.07.000 ПС	35600	1	35600
Блок передачи данных БПД1 ИМКВ.01.73.000-01 ПС	96000	1	96000
Платформа TibboAggreGate 5.6 с модулем машинного обучения	546000	1	546000
ОРС-сервер протоколов Modbus v. 2.1	10000	1	10000
Итого:			711056

Материальные затраты на проект:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} = (1 + 0,18) \cdot 711056 = 839047 \text{ руб.}$$

5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной техники, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Расчет по приобретению спецоборудования включены в таблицу 11.

Таблица 11 - Расчет бюджета на приобретение спецоборудования

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Персональный компьютер	30000	1	30000
Вибростенд	200000	1	200000
Итого:			230000

Затраты на спецоборудование равны 230000 рублей.

5.4.3 Основная заработная плата исполнительной темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.6)$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата;

$З_{доп}$ - дополнительная заработная плата (12-20% от основной зарплаты).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p, \quad (5.7)$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата;

$Т_p$ - продолжительность работы, выполняемых научно-техническим работником (раб. дни) (см. приложение Е);

$З_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника (руб.).

Среднеквадратичная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_M \cdot M}{F_D}, \quad (5.8)$$

где $З_M$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

- при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (примем 299 рабочих дней) [22].

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{OK} \cdot k_p, \quad (5.9)$$

где Z_{OK} - оклад в руб.;

k_p - районный коэффициент, равный 1,3 в Томске.

В таблице 12 приведен расчет основной заработной платы.

Таблица 12 - Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Z_{OK} , руб.	k_p	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дни	$Z_{осн}$, руб.
НР	26300	1,3	1554	9	13986
К	61538	1,3	3636	14	50904
И	15385	1,3	909	136	123624
Итого:					188514

5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнительской темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.) [22].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.10)$$

где $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (0,12-0,15);

$Z_{осн}$ - основная заработная плата.

Для НР: $Z_{доп} = 0,12 \cdot 13986 = 1678$ руб.

Для К: $Z_{доп} = 0,12 \cdot 50904 = 6109$ руб.

Для И: $Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 123624 = 14835$ руб.

Таким образом, получим полную заработную плату сотрудников без вычетов:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (5.11)$$

Для НР: $Z_{\text{зп}} = 13986 + 1678 = 15664$ руб.

Для К: $Z_{\text{зп}} = 50904 + 6109 = 57013$ руб.

Для И: $Z_{\text{зп}} = 123654 + 14835 = 138489$ руб.

5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [22].

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов, равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	З _{ВНЕБ} , руб.
НР	13986	1678	0,271	4245
К	50904	6109	0,271	15451
И	123624	14835	0,271	37531
Итого:				57227

Таким образом, отчисления во внебюджетные фонды составили 57227 рублей.

5.4.6 Прочие расходы

Прочие расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопия материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется в таблице 14.

Таблица 14- Прочие расходы

Наименование	Количество	Стоимость, руб.
Бумага, формат А4, упаковка	1 шт.	500
Канцтовары	10 шт.	300
Электроэнергия	1740 кВт	4159
Интернет	6 месяцев	3000
Итого:		7959

Таким образом, сумма прочих расходов составила 7959 рублей.

5.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат приведено в таблице 15.

Таблица 15 - Расчет бюджета НИТ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИТ и прочие расходы	839047
Затраты на специальное оборудование	230000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	188514
Затраты по дополнительной заработной плате	22622
Отчисления во внебюджетные фонды	57227
Прочие расходы	7959
Бюджет затрат НИТ	1257561

Таким образом, бюджет затрат НИТ составил 1257561 рублей.

5.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследований

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения объекта приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения объекта

Критерии	Весовой коэф.	Исполнение 1	Исполнение 2
Уровень новизны	0,4	5	8
Теоретический уровень	0,1	8	10
Возможность реализации	0,5	10	10

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения 1:

$$I_{P1} = 5 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,5 = 7,8.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения 2:

$$I_{P2} = 8 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,5 = 9,2.$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 7, проект имеет высокий уровень научно-технического эффекта, так как уровень НТЭ находится в пределах от 7 до 10.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп } j} = \frac{\Phi_{pj}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.13)$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп } j}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pj} - стоимость j -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{Pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.14)$$

где I_{Pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности для i -варианта исполнения разработки;

a_i - весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i - бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп j}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп j} = \frac{I_{Pj}}{I_{исп j}_{фин}}. \quad (5.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных [22]. В таблице 17 приведена сравнительная эффективность разработки. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{CP}):

$$\mathcal{E}_{CP} = \frac{I_1}{I_2}. \quad (5.15)$$

Таблица 17 - Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исполнение 1	Исполнение 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	8	10
3	Интегральный показатель эффективности	8	10
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,8	1,25

Таким образом, исполнение 2 является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с исполнением 1.

6 Социальная ответственность

6.1 Аннотация

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) ICCSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность) [23].

6.2 Введение

В работе, на первом этапе, рассматриваются методы технической диагностики оборудования, проводится сравнительный анализ методов и определяется оптимальный. Оптимальным методом является вибродиагностика, так как метод позволяет находить скрытые дефекты, дефекты на этапе зарождения за минимальное время диагностирования. Объектом исследования являются значения виброскорости полученные с датчика вибрации, который установлен на редукторе проходческого комбайна П110М. На втором этапе разрабатывается программное обеспечение, которое позволяет диагностировать основные дефекты проходческого комбайна, такие как дефекты подшипников, дефекты элементов муфт и др. Данное программное обеспечение

разрабатывается при помощи технологии машинного обучения, что позволяет прогнозировать развитие каких-либо дефектов проходческого комбайна. С помощью данного программного обеспечения инженеры могут проводить технического обслуживание оборудования.

6.3 Производственная безопасность

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 1.

Данные явления могут негативно повлиять на состояние здоровья, вызвать аварийную или травмоопасную ситуацию. Для предотвращения этих факторов следует установить эффективный контроль за выполнением требований и норм, обозначенных к данным параметрам.

6.3.1 Микроклимат производственного помещения

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы. В таблице 18 приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах согласно [24] и [25].

Таблица 18 – Оптимальные величины показателей микроклимата при работе с персональным компьютером

Период года	Наименование параметра			
	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(40-60)	0,1
Теплый	(23-25)	(22-26)	(40-60)	0,1

Для создания автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, в теплое время года должно применяться кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды. Параметры микроклимата, при отоплении и вентиляции помещения (кроме помещений, для которых метеорологические условия установлены другими нормативными документами) следует принимать по [26] и [27].

В таблице 19 приведены допустимые параметры микроклимата в подземных выработках.

Таблица 19 - Допустимые параметры микроклимата в подземных выработках на постоянных рабочих местах.

Скорость движения воздуха	Допустимая температура воздуха (°С), при относительной влажности воздуха		
	До 75%	От 76 до 90%	От 91 до 95%
До 0,25 м/с	(16-24)	(18-23)	(18-22)
От 0,26 до 0,5 м/с	(18-25)	(19-24)	(19-23)
От 0,51 до 1 м/с	(19-26)	(20-25)	(20-24)
От 1 до 1-4 м/с	(20-26)	(22-26)	(22-27)

В процессе трудовой деятельности работающие на горнодобывающих предприятиях могут подвергаться – при работе на открытой территории и в подземных выработках – воздействию как нагревающего, так и охлаждающего микроклимата.

Влияние нагревающего микроклимата связано с напряжением различных функциональных систем организма человека, что приводит к нарушению состояния его здоровья, работоспособности и производительности труда.

Охлаждающий микроклимат способствует возникновению сердечно-сосудистой патологии, приводит к обострению язвенной болезни, радикулита, обуславливает возникновение заболеваний органов дыхания [28].

Тепловое состояние горнорабочих на шахтах с круглогодичной отрицательной температурой воздуха может быть существенно скорректировано спецодеждой, теплоизоляция которой должна соответствовать конкретным условиям трудовой деятельности. Однако это не исключает обязательного отдыха рабочих в помещении (кабине) с должным микроклиматом. Периодическое обогревание необходимо прежде всего по причине охлаждения кистей и стоп.

6.3.2 Освещенность рабочего места

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники относится к III разряду зрительной работы, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана;
- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном.

Помещение с ПК имеет естественное и искусственное освещение. При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен

быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы белого свечения (ЛБ) или холодного свечения (ЛХБ), металлогалогенные лампы (МГЛ), ртутные лампы высокого давления (ДРЛ). Они должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно. На рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛБ. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному, естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы.

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно. При недостатке на рабочем месте естественного освещения, можно выполнить следующие мероприятия:

- в случае наличия в помещении зон с достаточным и недостаточным естественным освещением изменение расположения рабочих мест с их перемещением в зону с достаточным естественным освещением;
- анализ степени загрязнения стекол в светопроемах, их чистка и последующие контрольные измерения КЕО;
- установка более мощных ламп в светильник;
- установка дополнительного количества светильников;
- установка дополнительного светильника для местного освещения рабочей поверхности;
- косметический ремонт помещения с использованием светлых отделочных материалов и последующие контрольные измерения КЕО.

Требования к освещению рабочих мест, оборудованных персональными компьютерами, изложены в документах: [23], [29] и [30]. Мероприятия по

обеспечению нормативных требований к показателю ослеплённости (прямой блескости):

- увеличением высоты установки светильников;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами;
- уменьшением яркости светильников путем закрытия источников света светорассеивающими стеклами.

Рассчитаем освещение помещения. Размеры помещения 15x8x4 м, высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K_{э}}{N \cdot \eta} \quad (6.1)$$

Коэффициент отражения стен $R_c = 50$ % потолка $R_n = 70$ %.

Коэффициент запаса $K_{э} = 1,8$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Приняв $h_c = 0,5$ м; получаем

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7,$$

$$L = 1,4 * 2,7 = 3,78 \text{ м},$$

$$L/3 = 1,26 \text{ м}.$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 48$.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{120}{2,7 \cdot (15 + 8)} = 1,93.$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,61$.

$$\text{Световой поток лампы: } \Phi = \frac{300 \cdot 120 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{48 \cdot 0,61} = 2434,43 \text{ Лм.}$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов, выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq (\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}) / \Phi_{\text{ст}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$-10\% \leq (2850 - 2434,43) / 2850 \cdot 100\% \leq 20\%.$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки $P = 48 \cdot 40 = 1920$ Вт.

Что касается работы в шахте, то работа шахтера постоянно проводится при отсутствии естественного освещения. Поэтому хорошее, отвечающее санитарным требованиям, искусственное освещение является необходимым условием благоприятной санитарной обстановки в шахтах.

В настоящее время на угольных шахтах и рудниках применяется электрическое освещение стационарными и переносными светильниками, причем в России впервые в мире для их освещения применены люминесцентные лампы. Улучшение условий освещения в выработках достигается путем их побелки, так как при этом увеличивается коэффициент отражения поверхностей.

В связи с особенностями внешних условий в шахтах применяются светильники определенных типов. Во взрывоопасных шахтах могут быть допущены только взрывобезопасные светильники, в остальных шахтах специальные рудничные светильники и светильники повышенной надежности.

В целях ослабления слепящего действия света на глаза стеклянные колпаки светильников должны быть выполнены из матового или молочного стекла. Для предохранения от повреждений светильники должны иметь прочные металлические решетки.

Освещенность поверхности и коэффициент пульсаций определяют прямыми измерениями с помощью приборов в плоскости, указанной в нормах освещенности. Коэффициент пульсации освещенности учитывает пульсацию светового потока до 300 Гц. Пульсация освещенности свыше 300 Гц не оказывает влияния на общую и зрительную работоспособность.

Соблюдение норм коэффициента пульсации освещенности позволяет предотвратить отрицательное влияние стробоскопического эффекта и снизить зрительное и общее утомление человека [31].

6.3.3. Шум и вибрация

Источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства, а также серверные комнаты. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно [26] эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА. Мероприятия по защите от шума:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом;
- экранирование рабочего места, путем постановкой перегородок, диафрагм.

Защиту от шума следует выполнять в соответствии с [32], звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» [33]. Снизить уровень шума можно при помощи звукопоглощающих материалов, предназначенных для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создается за счет использования занавесок из плотной ткани. Также уровень шума может быть снижен путем очистки или замены системы охлаждения персонального компьютера.

Добычные и проходческие комбайны генерируют непостоянный прерывистый шум, уровни которого на рабочих местах и в рабочих зонах

составляют 95–100 дБА (в зависимости от типа машин). Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах определяются с учётом тяжести и напряжённости трудовой деятельности по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и территории жилой застройки».

Для снижения шума шахтных машин и механизмов следует оборудовать серийно выпускаемые перфораторы, погрузочные машины, скреперные лебёдки резиновыми глушителями. Учитывая специфику горных работ, следует обязательно применять средства индивидуальной защиты, в большинстве случаев они позволяют обеспечить надёжную защиту от шума и существенно улучшить санитарно-гигиенические условия труда.

Большинство машин и механизмов, применяемых в подземных выработках рудников, являются источниками повышенных уровней вибрации. Общее в воздействии вибрации при обслуживании машин и механизмов состоит в передаче вибрации к человеку через пол, сиденье, рычаги управления, сочетание вибрации рабочего места с локальной вибрацией. Следует отметить, что при работе разных машин, механизмов уровни вибрации и характер её воздействия на рабочего существенно отличаются. Степень вредности условий труда при действии на работника постоянной и непостоянной вибраций (общей, локальной) проводится согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». В настоящее время в РФ вступили в действие новые нормативные документы по измерению общей вибрации (ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность» и ГОСТ 31191.12004-ИСО 2631-1;1997 «Измерение общей вибрации и оценка её воздействия на человека»). Для снижения уровней общей вибрации рабочих мест на автосамосвалах, буровых установках и др. машин следует использовать подвески сиденья, предназначенные для защиты человека-оператора от действия вертикальных и горизонтальных вибрационных воздействий [34].

6.3.3 Напряженность магнитного поля

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье человека.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с [24] приведены в таблице 20.

На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140 В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения.

Все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

Таблица 20 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электростатического поля	В диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

6.3.4 Электрический ток

На рабочем месте из всего оборудования металлическим является лишь корпус системного блока компьютера, но здесь используются системные блоки, отвечающие стандарту фирмы IBM, в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания.

Электробезопасность рабочего места обеспечивается в соответствии с [35]. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм.

Согласно ПУЭ лабораторию по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

Электробезопасность в помещении лаборатории должна обеспечиваться техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- прикосновение к металлическим нетоковедущим частям;
- нерегламентированное использование электрических приборов;
- отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера, приборов корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого обеспечивается подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Так как все токоведущие части ЭВМ и других используемых приборов изолированы, то случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяется защитное заземление.

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью

применительно к выполняемой работе. При проведении незапланированного и планового ремонта вычислительной или любой другой техники выполняются следующие действия:

- отключение приборов от сети;
- проверка отсутствия напряжения.

После выполнения этих действий проводится ремонт неисправного оборудования. Если ремонт проводится на токоведущих частях, находящихся под напряжением, то выполнение работы проводится не менее чем двумя лицами с применением электрозащитных средств.

Общие требования по электробезопасности отражены в [35] и [36].

Рабочие места должны быть оборудованы отдельными щитами с общим рубильником электропитания, который должен находиться в легкодоступном месте, иметь закрытый зануленный металлический корпус и четкую надпись, указывающую величину номинального напряжения.

Эксплуатация электрооборудования и электросетей в шахтах повышает опасность их использования по следующим причинам:

- непрерывное подвигание фронта очистных и проходческих работ, что требует перемещения электрооборудования и наращивания электросетей;
- микроклиматические условия подземных работ характеризуются повышенной влажностью и запыленностью воздуха, обводненностью горных выработок, причем шахтные воды могут обладать повышенной агрессивностью из-за кислотности и содержания солей;
- стесненная обстановка в горных выработках, опасность обрушения горных пород, возможность образования в воздухе взрывоопасных концентраций горючих газов и угольной пыли.

Повреждение электрооборудования и нарушение изоляции могут стать не только причиной поражения людей электрическим током, но и инициировать взрывы горючих газов и угольной пыли. Электрооборудование может работать в обычных условиях, а также в условиях повышенной опасности.

Система электрической защиты в шахтах не должна допускать поражения людей, возникновения пожаров, взрывов газа и пыли от электрического тока. Основными элементами системы электрической защиты в шахтах являются предупреждение прикосновения человека к токоведущим частям, защитное заземление, защитное отключение, применение электрозащитных средств, а также использование электрооборудования в конструктивном исполнении, учитывающем рабочие условия. Защита от прикосновения к токоведущим частям предусматривает:

- размещение открытых токоведущих частей электроустановок на высоте, недоступной от случайного прикосновения;
- размещение электроустановок в закрытых корпусах, предотвращающих проникновение к токоведущим частям без специальных приспособлений и инструментов;
- применение специальных блокировочных устройств, препятствующих доступу к токоведущим частям до снятия с них напряжения;
- ограждение щитками и другими приспособлениями открытых токоведущих частей.

В подземных выработках шахт должна устраиваться общая сеть заземления, к которой подсоединяются все объекты, подлежащие заземлению.

Также при работе в шахте предусматривается защитное отключение - автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Электрозащитные средства индивидуальной защиты подразделяются на основные и дополнительные. К основным относятся диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, изолирующие штанги, указатели напряжения. Дополнительными средствами защиты являются изолирующие подставки, диэлектрические галоши, коврики.

К организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работы с электроустановками, относят: отбор персонала, допуск к работе, надзор во время работы [37].

6.3.5 Производственная пыль

Пылью называется газодисперсная система (аэрозоль) с диаметром твердых частиц от 0,1 мм и ниже. Добыча полезных ископаемых приводит к образованию большого количества пыли, особенно при механическом дроблении горных пород и полезного ископаемого, их взрывании, погрузке, транспортировке. Действие пыли на организм человека зависит от ее химического состава, дисперсности (степени измельчения), концентрации в воздухе, времени пребывания человека в запыленной атмосфере, формы пылинок и их возраста. В зависимости от свойств пыль подразделяется на ядовитую (ртутная, свинцовая, марганцевая, бериллиевая и др.) и неядовитую (угольная, породная, торфяная и др.). Действие неядовитой пыли проявляется в нарушении жизнедеятельности верхних дыхательных путей, легких, кожи и глаз.

На угольных шахтах удельное пылевыведение колеблется от 50 до 1000 г/т добытого угля, а чаще всего составляет 100–200 г/т.

Точки контроля за содержанием пыли в горных выработках выбираются на таком расстоянии от источника пылеобразования, чтобы пылевой поток становился равномерным по сечению и мало изменялся по длине выработки. Это расстояние составляет 20 м и более. Набор проб производится с помощью автоматического эжекторного рудничного аспиратора.

Существуют следующие способы борьбы с пылью на горных предприятиях:

- Предупреждение или снижение пылеобразования. Реализация этого направления может быть обеспечена внедрением машин с крупным сколом угля, а также предварительным увлажнением угольного массива

путем нагнетания воды в пласт через скважины, пробуренные из подготовительных выработок или очистного забоя;

- Осаждение пыли, взвешенной в воздухе, путем орошения;
- Для борьбы с пылью используют также пену, подаваемую на поверхность, с которой выделяются мелкодисперсные частицы;
- Концентрацию выделившейся в воздух пыли снижают путем дополнительной подачи воздуха средствами вентиляции;
- Выделяющуюся пыль удаляют путем пылеотсоса;
- Для предотвращения попадания пыли в организм человека используют средства индивидуальной защиты (респираторы «Лепесток», Ф-62Ш, «Астра-2») [38].

6.4 Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации персонального компьютера, как твердого отхода и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, их можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы). Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов

существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию подлежат захоронению на полигонах.

При добыче подземных ископаемых на земную поверхность поднимается большое количество шахтных, рудничных, карьерных и дренажных вод (далее - шахтных вод), загрязняющих водные бассейны. Основными загрязняющими веществами, сбрасываемыми с шахтными сточными водами, являются соединения азота, нефтепродукты, сульфаты и хлориды, тяжелые металлы, фенолы. Шахтные воды, содержащие фенольные соединения, попадая в водотоки, нарушают биологическое и гидрохимическое равновесие и создают угрозу не только для здоровья населения, но и для рыбных запасов рек. Органические соединения, частично просачиваясь через зону аэрации, попадают в подземный водоносный горизонт грунтовых вод и загрязняют его, а также с потоком подземных вод распространяются на значительные расстояния, нанося при этом серьезный экологический и экономический ущерб.

Современными, эффективными и экологически безопасными методами очистки сточных вод различных отраслей промышленности от фенольных соединений являются фотохимические процессы очистки, основанные на использовании свободных радикалов в качестве окислителей [39].

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятной чрезвычайной ситуацией возникающей при работе с компьютером является пожар.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;

- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара (ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. [40]). Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты.

Согласно Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории по пожарной и взрывопожарной опасности:

- повышенная взрывопожароопасность (А);
- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В1 - В4);
- умеренная пожароопасность (Г);
- пониженная пожароопасность (Д).

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

В летний период во время грозы возможно попадание молнии вследствие чего возможен пожар. Во избежание этого рекомендуется установить на крыше здания молниеотвод.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории необходимо категорически запретить.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания. Первичными средствами пожаротушения являются специальные материалы, устройства и инструменты, использующие при локализации и (или) при ликвидации возгораний начальной стадии. К ним относятся асбестовое полотно, песок, внутренний пожарный кран, лопата, кошма, ведро, вода, ручные и переносные огнетушители и прочее.

План эвакуации из помещения представлен на рисунке 33.

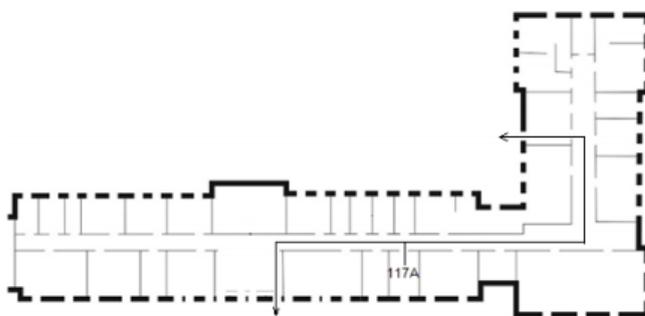


Рисунок 33 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещения учебного корпуса №10, пр. Ленина 2, 1 этаж.

Чрезвычайные ситуации в шахтах возникают из-за отсутствия или сбоя в работе систем, ограничивающих или предотвращающих возникновение аварийной ситуации, неэффективность методов устранения которой может иметь тяжелые последствия. Таким образом, чрезвычайную ситуацию можно определить как непредвиденное событие, угрожающее здоровью и благополучию персонала или работе шахты и требующее эффективных и своевременных ответных мер для предотвращения или смягчения его последствий.

Все виды работ в горном деле связаны с особым риском и могут привести к возникновению чрезвычайной ситуации. Факторы риска, связанные с подземными горными выработками, включают выделение метана, образование угольной пыли, использование энергоемких систем добычи и возможность спонтанного воспламенения угля. При подземной добыче руды чрезвычайные ситуации возникают при обвале пластов породы (прорывы, обвалы, разрушение подвесных стен или опор) или неожиданном взрыве определенных веществ и сульфидной пыли. Риск при работе в открытых карьерах связан с использованием мощного высокоскоростного машинного оборудования, возможностью внезапных взрывов и нарушения стабильности склонов. Опасные взрывы химических соединений, протечка и возникающий в результате прорыва дамбы поток могут случиться при добыче руды.

Современные методы добычи руды и эксплуатации шахт включают в себя меры, направленные на предотвращение или снижение указанных факторов риска. Тем не менее, аварии регулярно происходят в шахтах всего мира, даже в тех странах, где формальные технологии контроля риска приняты в качестве основной стратегии для повышения безопасности горных работ и снижения вероятности и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций.

Система готовности к экстренным ситуациям предполагает определение, анализ и разработку ответных действий на трех уровнях. Индивидуальные действия или действия первого уровня включают в себя действия отдельного человека при обнаружении опасной ситуации или аварии, в том числе:

- уведомление соответствующих руководителей об обстоятельствах аварии;
- сдерживание развития ситуации (элементарные противопожарные мероприятия, оказание первой помощи пострадавшим или эвакуация их из зоны аварии);
- эвакуация, выход из зоны аварии или в укрытие.

Действия второго уровня после уведомления об аварии включают в себя работу специально подготовленных бригад, обладающих специальными навыками, полномочиями и оборудованием.

Действия третьего уровня необходимы в ситуациях, когда действия первого и второго уровней не обеспечивают должной безопасности или неэффективны, и включают в себя использование специальных систем, оборудования и технологий:

- использование приборов обнаружения людей;
- спасение через скважины большого диаметра;
- заполнение шахты инертным агентом, дистанционное блокирование, затопление;
- проверка/обследование средств передвижения и различных систем (например, видеокамер в штольнях), забор проб воздуха [41].

6.6 Организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить

федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”. За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль. Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий.

Контроль за состоянием условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность: дисциплинарная, административная, уголовная, материальная.

Рабочее место - это часть пространства, в котором инженер осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Согласно [42] конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;
- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;
- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;
- уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

По условиям работы рабочее место относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя. Рабочее место должно занимать площадь не менее 6 м, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека.

Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах (90 – 110)°. Схема рабочего места приведена на рисунке 34.

Помимо работы за компьютерным столом, предусматривается работа в шахте. Согласно Правилам безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03 от 2004 г., шахта должна быть оборудована системами наблюдения, оповещения об авариях людей независимо от того, в каком месте шахты они находятся, средствами поиска застигнутых аварией людей, а также прямой телефонной и дублирующей ее альтернативной связью с аварийно-спасательной службой, обслуживающей шахту [43].

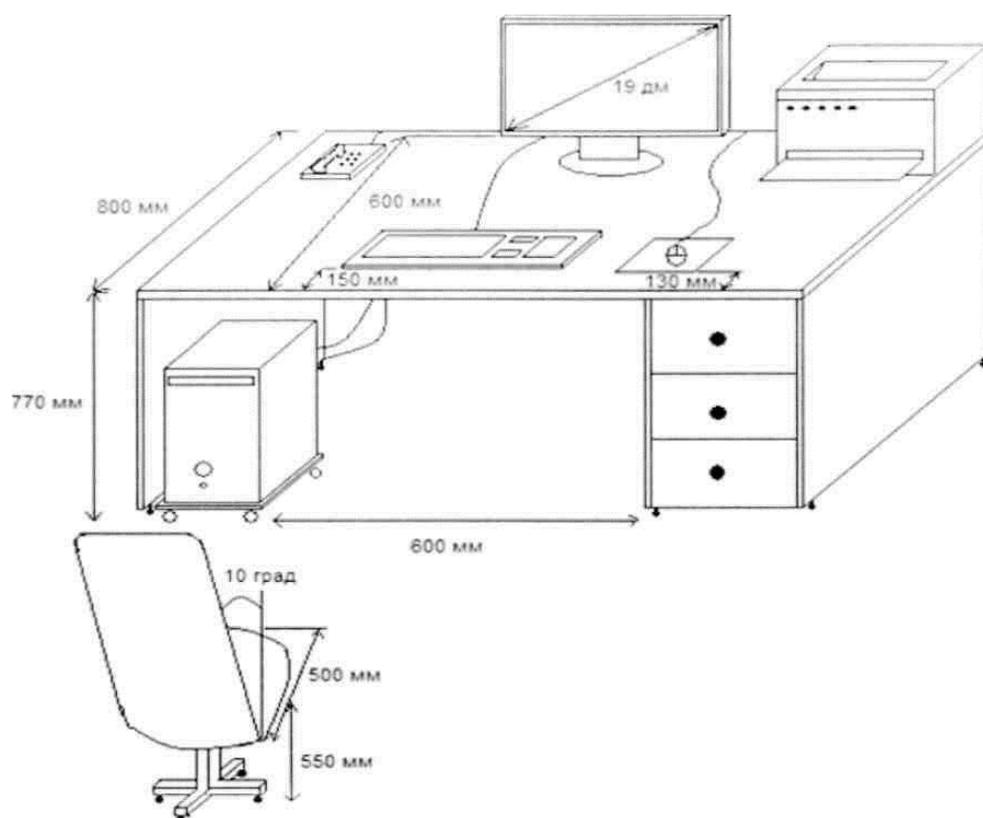


Рисунок 34 – Схема рабочего места.

При отсутствии утвержденного план ликвидации аварий (ПЛА) или несогласовании его работниками аварийно-спасательной службы запрещается ведение работ в шахте и на поверхности (если работы на поверхности могут привести к возникновению аварийной ситуации в шахте).

На шахте обязан вестись табельный учет всех спустившихся в шахту и выехавших (вышедших) из нее.

Первый руководитель шахты устанавливает порядок выявления своевременно не выехавших (не вышедших) из шахты людей и принимает меры по их розыску.

В местах, определенных техническим руководителем шахты, должны быть установлены сигнальные устройства и знаки безопасности, согласованные в установленном Госгортехнадзором России порядке.

Расстояние до наиболее удаленных горных выработок строящихся, реконструируемых, действующих и закрываемых шахт должно быть таким,

чтобы время выхода людей из этих выработок в случае аварии не превышало времени действия изолирующего самоспасателя.

Работник шахты с подземными условиями труда обязан быть обеспечен исправным индивидуально закрепленным изолирующим самоспасателем и аккумуляторным головным светильником.

Запрещаются спуск в шахту, передвижение людей по выработкам, а также ведение работ без самоспасателя и светильника.

Для обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации аварийных ситуаций на шахте обязан быть резерв финансовых средств и материальных ресурсов в соответствии с законодательством Российской Федерации.

В организации должна быть сформирована комиссия по чрезвычайным ситуациям (КЧС). В ряде случаев при отсутствии КЧС предусмотрено возложение координирующих функций на руководителя организации. Основными задачами объектовой КЧС являются:

- руководство разработкой и осуществлением мероприятий по предупреждению ЧС, повышению надежности работы объекта;
- организация работ по созданию на потенциально опасном объекте локальной системы оповещения, поддержание ее в постоянной готовности;
- обеспечение готовности органов управления, сил и средств к действиям при чрезвычайных ситуациях, руководство их ликвидацией и эвакуацией персонала объекта;
- руководство созданием и использованием резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- организация подготовки руководящего состава.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе было разработано программное обеспечение, предназначенное для дистанционного определения состояния редуктора проходческого комбайна П110М, эксплуатирующего в сложных шахтных условиях.

В качестве метода диагностики редуктора проходческого комбайна был выбран метод вибродиагностики, так как данный метод является самым эффективным для быстрого обнаружения дефектов роторного оборудования. После определения метода диагностики редуктора проходческого комбайна был выбран комплекс диагностических средств, обеспечивающих максимальную информацию о техническом состоянии машины. В данной работе рассматривались два метода вибрационной диагностики: метод общего уровня вибрации и метод прямого спектра.

Реализация программного обеспечения проводилась на платформе Tibbo AggreGate при помощи инструмента машинного обучения. Данное программное обеспечение позволяет определять и прогнозировать состояние роторного оборудования, которое эксплуатируется в сложных шахтных условиях. Более того, данная разработка предупреждает аварии, которые влекут за собой поломку оборудования, ремонтные работы, сопровождающиеся простоем в производстве.

По результатам исследования была проведена апробация разработанного программного обеспечения на упрощенном стенде системы мониторинга лавного конвейера при использовании привода АОЛ 21-4. Апробация прошла успешно и показала работоспособность и эффективность разработанного программного обеспечения.

Список используемых источников

1. Зайков В.И., Берлявский Г.П. Эксплуатация горных машин и оборудования: Учебник для вузов/ В.И. Зайков, Г.П. Берлявский. - 3 изд., стер.- М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001.-257 с.
2. Сидоров В.А. Методы и средства технического диагностирования [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://eam.su/leksiya-7-metody-i-sredstva-texnicheskogo-diagnostirovaniya.html>, свободный.
3. 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.-128 с.
4. Диагностика подшипников качения [Электронный ресурс].-2017. Режим доступа: <http://vibropoint.ru/diagnostika-podshipnikov-kachenia/> , свободный.
5. Технический паспорт на датчик вибрации радио ДВР ИМКВ.13.60.000.
6. Digital Triaxial Vibration Sensor with FFT Analysis and Storage Digital ADIS16228 [Электронный ресурс].-2018. Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adis16228.pdf>, свободный.
7. Технический паспорт на радиомодем РМС1 ИМКВ.13.07.000.
8. Технический паспорт на блок передачи данных БПДЗ ИМКВ.01.80.100.
9. Технический паспорт на искробезопасный источник питания ИБП1 ИМКВ.40.00.000-01.
10. Герике Б.Л., Абрамов И.Л., Герике П.Б Вибродиагностика горных машин и оборудования: учебное пособие / Б.Л. Герике, И.Л. Абрамов, П.Б. Герике.- Кемерово: Изд-во Кузбасского государственного технического университета, 2007.-167 с.

11. Матюшкова О.Ю., Тэттэр В.Ю. Современные методы виброакустического диагностирования / О.Ю. Матюшкова, В.Ю. Тэттэр // Омский научный вестник.-2013. -№3. - С. 294-299.
12. Источники возникновения вибрации [Электронный ресурс].-2017. Режим доступа: <http://vibropoint.ru/istochniki-vozniknovenia-vibracii/>, свободный.
13. Диагностика редукторов [Электронный ресурс].-2017. Режим доступа: <http://vibropoint.ru/diagnostika-reduktorov/>, свободный.
14. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие / В.В. Петрухин, С.В. Петрухин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. - 168 с.
15. Платформа AggreGate [Электронный ресурс].-2016. Режим доступа: http://www.wikireality.ru/wiki/Платформа_AggreGate, свободный.
16. Все возможности и преимущества машинного обучения в новой версии AggreGate 5.5 - лидера на рынке IoT платформ [Электронный ресурс].- 2001-2019. Режим доступа: <https://aggregate.tibbo.com/ru/news/release-55.html>, свободный.
17. Мюллер А., Гвидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python: руководство для специалистов по работе с данными. - М.: O'Reilly Media. - 2017. 392 с.
18. Соколов Е.А. Линейная регрессия. Курс лекций. [Электронный ресурс].- 2017. Режим доступа: https://compsciclub.ru/media/courses/2018-autumn/spb-recommendation/materials/lecture02-linregr_1.pdf, свободный.
19. Введение в деревья решений [Электронный ресурс].-2010. Режим доступа: <https://docplayer.ru/34310241-Vvedenie-v-derevya-resheniy-m-151.html>, свободный.
20. Деревья принятия решений [Электронный ресурс].-2006. Режим доступа: <http://www.amse.ru/archive/courses/2006/nikolenko/notes-01-dectrees.pdf>, свободный.

21. Открытый курс машинного обучения. Классификация, деревья решений и метод ближайших соседей [Электронный ресурс].-2017. Режим доступа: <https://www.pvsm.ru/python/249240>, свободный.
22. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебное пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. -36 с.
23. Романенко С.В., Анищенко Ю.В. Социальная ответственность: методическое указание / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. -21 с.
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
25. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
26. ГОСТ 21.602—79. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
27. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
28. Чеботарёв А.Г. Физиолого-гигиеническая оценка микроклимата на рабочих местах в шахтах карьерах и меры профилактики его неблагоприятного воздействия / "Горная промышленность". - 2012.-№6.- с.34.
29. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий.
31. ГОСТ Р 5945-2012. "Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности".
32. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

33. СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».
34. Чеботарёв А.Г., Пальцев Ю.П. Виброакустические факторы рабочей среды при подземной и открытой добыче твёрдых полезных ископаемых / "Горная промышленность". - 2012.-№5.-с.50.
35. ГОСТ Р 12.1.019- 2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
36. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
37. Портола В.А., Бурков П.В., Гришагин В.М., Фарберов В.Я. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 201 с.
38. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ.
39. Соколов Э.М., Шейнкман Л.Э., Дергунов Д.В. Обеспечение экологической безопасности горных предприятий по водному фактору на основе нейросетевого моделирования / "Записки горного института".- 2015. №Т.211.- с.96.
40. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.
41. Пупин А.А. Факторы риска и мероприятия, проводимые на горных предприятиях для снижения возникновения экстренных ситуаций / Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горно-геологического образования в Сибири: сб. статей. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - с. 366-367.- 2 т.
42. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
43. ПБ 05-618-03. Правила безопасности в угольных шахтах.

**Приложение А
(обязательное)**

Описание используемых функций платформы Tibbo AggreGate

Функция	Описание
addColumns(DataTable table, String format1, String expression1, String format2, String description2, ...)	Добавляет один и более столбцов к таблице table. Формат первого добавляемого столбца определен аргументом format1, его значение задается через expression1, и т.д. Формат закодирован в строку. Значение для данного поля рассчитывается путем выполнения выражения, которое может содержать ссылки на другие ячейки данной таблицы. Если ряд не определен в ссылке, она возвращается к текущему ряду.
addRecords(DataTable table, Object field1, Object field2, ...)	Добавляет к таблице одну или более записей. Если заданная таблица имеет N столбцов, будут использоваться первые N аргументов полей для заполнения первой добавленной записи, вторые N аргументов заполняют вторую и так далее.
aggregate(Object source, String expression, Object initialValue)	Рассчитывает некоторое "объединенное значение" для Таблицы данных.
cell(DataTable table, String field)	Возвращает значение ячейки таблицы данных, проходящей в первом аргументе. Ячейка задана параметрами field и row.
filter(DataTable table, String filterExpression)	Возвращает таблицу, содержащую только те строки исходной таблицы, которые соответствуют filterExpression.
records(DataTable table)	Возвращает количество записей (строк) в таблице.
select(DataTable table, String fieldToSelect, String fieldToCheck, Object value)	Сканирует каждый ряд в таблице и проверяет, равняется ли значение поля fieldToCheck значению. Если оно true, возвращает значение fieldToSelect из текущей записи.
table(String format, Object field1, Object field2, ...)	Создает новую таблицу, используя формат закодированный в строку и массив параметров.
callFunction(String context, String function, Object parameter1, Object parameter2, ...)	Вызывает функцию под названием функция контекста с путем контекста и возвращает ее выход. Ввод функции таблица данных строится из массива параметров (parameter1, parameter2, ...).
getVariable(String context, String variable)	Получает переменную под названием переменная из контекста с путем контекста и возвращает ее значение.
setVariable(String context, String variable, Object parameter1, Object parameter2, ...)	Устанавливает переменную под названием переменная контекста с путем контекста. Если обеспечивается лишь один параметр типа DataTable, эта таблица будет использоваться в качестве нового значения переменной.

**Приложения Б
(обязательное)
Карта сегментирования рынка**

		Виды предоставляемых услуг		
		Технический сервис (вибродиагностика)	Производство и поставка вибронализаторов	Обучение вибродиагностов
Погребители	Угольные компании			
	Заводы горно- шахтного оборудования			
	Машино- строительные предприятия			
		ООО «Сибэлектро»	ООО «Балтех»	ООО «Диамех 2000»

**Приложение В
(обязательное)
SWOT-анализ**

	<p>Сильные стороны проекта (С): С1. Заявленная экономичность и эффективность разработанной технологии. С2. Новизна проекта, которая характеризуется возможностью прогнозирования. С3. Удобство в эксплуатации.</p>	<p>Слабые стороны проекта (Сл): Сл1. Сопровождение проекта на первых этапах. Сл2. Отсутствие рекламы продукта. Сл3. Узкая продуктивная линейка.</p>
<p>Возможности (В): В1. Повышение стоимости продукта у конкурента. В2. Сотрудничество с другими компаниями. В3. Определение целевой аудитории.</p>	<p>СиВ: 1. Привлечение большого круга потребителей за счет оптимальной цены и хорошего качества продукта.</p>	<p>СлиВ: 1. Сокращение затрат на производство при помощи использования инновационных технологий. 2. Обучение персонала для дальнейшего сопровождения проекта.</p>
<p>Угрозы (У): У1. Низкая репутация компании. У2. Развитая конкуренция. У3. Отсутствие спроса на новые технологии.</p>	<p>СиУ: 1. Реклама продукции. 2. Расширение линейки продукта.</p>	<p>СлиУ: 1. Создание конкурентных преимуществ продукта при помощи расширения функционала. 2. Реклама продукции.</p>

**Приложение Г
(обязательное)**

Морфологическая матрица для определения и улучшения показателей качества программного обеспечения по экспериментальным данным

	1	2
А. Метод вибродиагностики	По общему уровню вибрации	Метод прямого спектра
Б. Количество замеров уровня вибрации	Однократно	Многократно (>10)
В. Единицы измерения вибрации	Виброперемещение	Виброускорение
Г. Архивация данных	В течение года	От 3 до 5 лет
Д. Диапазон измерения	От 0 до 300...500 Гц	Свыше 1000...2000 Гц

**Приложение Д
(обязательное)
Перечень работ и загрузка исполнителей**

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подготовительный этап		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР,К,И	К – 100% НР-30% И-30%
Составление и утверждение ТЗ	НР, К,И	К – 100% НР-60% И-40%
Разработка календарного плана	НР, И	НР - 100% И – 100%
Изучение предметной области	И	И-100%
Изучение методов вибродиагностики		
Общий уровень вибрации	И	И – 100%
Метод прямого спектра		
Изучение технологии машинного обучения		
Изучение платформы AggreGate	И	И – 100%
Изучение видов и алгоритмов машинного обучения		

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Разработка программного обеспечения		
Создание модулей для машинного обучения на платформе AggreGate	И	И – 100%
Обучение модулей, анализ полученных данных, переобучение модулей	И, К	И – 100% К - 25%
Визуализирование и анализ полученного результата		
Экономическое обоснование		
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	И – 100%
Анализ опасных и вредных производственных факторов		
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях	И	И – 100%
Документирование		
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР – 10% И – 100%
Оформление графического материала	И	И-100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И-100%

**Приложение Е
(обязательное)**

Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ			Длительность работ, чел/дни					
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	T_P			T_K		
					НР	К	И	НР	К	И
Подготовительный этап										
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР,К,И	НР-2 К-4 И-2	НР-4 К-7 И-4	НР-3 К-6 И-3	1	2	1	2	3	2
Составление и утверждение ТЗ	НР, К,И	НР-6 К-10 И-4	НР-8 К-12 И-6	НР-7 К-11 И-5	3	4	2	5	6	3
Разработка календарного плана	НР, И	НР-1 И-1	НР-3 И-3	НР-2 И-2	1	-	1	2	-	2
Изучение предметной области	И	И-6	И-8	И-7	-	-	7	-	-	11
Изучение методов вибродиагностики										
Общий уровень вибрации	И	И-12	И-15	И-14	-	-	14	-	-	21
Метод прямого спектра	И	И-12	И-15	И-14	-	-	14	-	-	21
Изучение технологии машинного обучения										
Изучение платформы AggreGate	И	И-8	И-9	И-9	-	-	9	-	-	14
Изучение видов и алгоритмов машинного обучения	И	И-7	И-10	И-9	-	-	9	-	-	14
Разработка программного обеспечения										
Создание модулей для машинного обучения на платформе AggreGate	И, К	К-3 И-12	К-4 И-15	К-4 И-13	-	2	7	-	3	11

Этап	Исполнители	Продолжительность работ			Длительность работ, чел/дни					
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	T_P			T_K		
					НР	К	И	НР	К	И
Обучение модулей, анализ полученных данных, переобучение модулей	И, К	К-7 И-30	К-9 И-35	К-8 И-32	-	4	16	-	6	24
Визуализирование и анализ полученного результата	И, К	К-2 И-8	К-3 И-10	К-3 И-9	-	2	5	-	3	8
Экономическое обоснование										
Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	И-5	И-6	И-6	-	-	6	-	-	9
Анализ опасных и вредных производственных факторов										
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях	И	И-2	И-3	И-3	-	-	3	-	-	5
Документирование										
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР-3 И-36	НР-5 И-38	НР-4 И-37	2	-	19	3	-	29
Оформление графического материала	И	И-6	И-8	И-7	-	-	7	-	-	11
Подведение итогов	НР, И	НР-2 И-2	НР-3 И-3	НР-3 И-3	2	-	2	3	-	3

**Приложение Ж
(обязательное)**

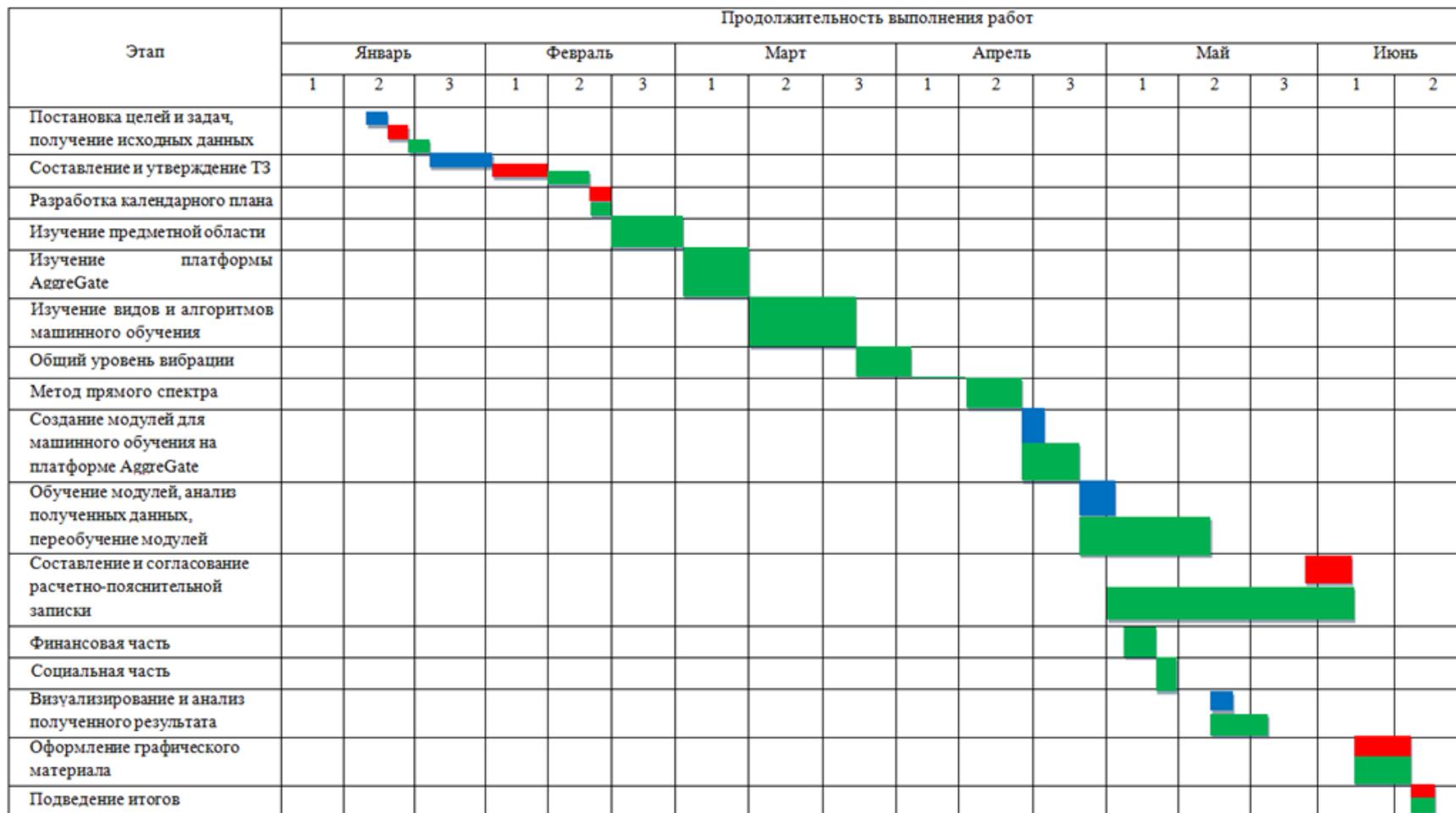
Календарный план проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Начало работ	Окончание работ
1	Постановка целей и задач	НР,К,И	14.01.2019	21.01.2019
2	Составление и утверждение ТЗ	НР,К,И	22.01.2019	18.02.2019
3	Разработка календарного плана	И, НР	18.02.2019	20.02.2019
4	Изучение принципа работы датчика вибрации	И	28.02.2019	05.03.2019
5	Сбор данных с датчика вибрации	И	05.03.2019	08.03.2019
6	Изучение методов вибродиагностики: общий уровень вибрации	И	18.03.2019	22.04.2019
	Изучение методов вибродиагностики: метод прямого спектра			
7	Получение эталонных и экспериментальных данных	К,И	25.03.2019	29.03.2019
8	Изучение платформы AggreGate	И	02.03.2019	09.03.2019
9	Изучение технологии машинного обучения	К,И	09.03.2019	12.03.2019
10	Изучение видов и алгоритмов машинного обучения	И	12.03.2019	22.03.2019
11	Настройка передачи данных по протоколу Modbus	К,И	29.03.2019	29.03.2019
12	Создание модулей для обучения на платформе AggreGate	К,И	03.04.2019	12.04.2019
13	Обучение модулей, анализ полученных данных, переобучение модулей	К,И	12.04.2019	15.05.2019
14	Визуализирование полученного результата	И	16.05.2019	22.05.2019
15	Проверка ПО в условиях шахты	К,И	23.05.2019	31.05.2019
16	Анализ перспективности разработки, оценка целесообразности разработки и затрат	И	03.05.2019	07.05.2019
17	Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях	И	06.05.2019	08.05.2019
18	Составление пояснительной записки	И,НР	01.05.2019	05.06.2019

№ работ	Вид работ	Исполнители	Начало работ	Окончание работ
19	Перевод на английский язык одной из частей ВКР	И	15.05.2019	24.05.2019
20	Оформление графического материала	И,НР	06.06.2019	12.06.2019
21	Подведение итогов, подготовка к защите ВКР	И,НР	13.06.2019	14.06.2019

НР - научный руководитель
К - консультант от предприятия
И - инженер

**Приложение И
(обязательное)
Диаграмма Ганта**



ИР ■ К ■ И ■

**Приложение К
(обязательное)**

Перечень опасных и вредных факторов технологии

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	<p>Микроклимат.</p> <p>Освещенность рабочего места.</p> <p>Уровень шума на рабочем месте.</p> <p>Напряженность магнитного поля.</p>	Электрический ток	<p><u>ГОСТ 12.0.003-74</u> "Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы".</p> <p><u>СанПиН 2.2.4-548-96</u> "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений".</p> <p><u>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03</u> "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий".</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 "Система стандартов безопасности труда. Шум".</p> <p>ГОСТ 12.1.030-81 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность".</p>

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Проходческий комбайн</p> <p>ДВР</p> <p>РМС1</p> <p>ИБП1</p> <p>БПДЗ</p>	<p>Микроклимат.</p> <p>Освещенность рабочего места.</p> <p>Шум и вибрация.</p>	<p>Электрический ток.</p> <p>Производствен-ная пыль.</p>	<p>«<u>Правила безопасности</u> при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 г. № 599).</p> <p><u>ГОСТ 15150-69</u> "Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды".</p> <p><u>СанПиН 2.2.2948-11</u> "Гигиенические требования к организациям, осуществляющим деятельность по добыче и переработки угля".</p> <p><u>ГОСТ Р 55733-2013</u> "Освещение подземных горных выработок. Основные требования и методы измерений".</p>

**Приложение Л
(обязательное)
Methods of technical diagnostics of machines and equipment**

**Раздел 1
Методы технической диагностики машин и оборудования
Par 1
Methods of technical diagnostics of machines and equipment**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	Каминская Виктория Сергеевна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Скороспешкин В.Н.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП	Сидоренко Т.В.	к.п.н.		

1 Methods of technical diagnostics of machines and equipment

The development of means and methods of technical diagnostics to the working conditions of the mining equipment is an important factor in further improving the equipment operation process, ensuring its safety and the possibility of preventing emergency operation and sudden failures.

Diagnosis is an integral part of equipment maintenance and repair and ensures its performance according to the actual technical condition when solving the following basic tasks:

1. determination of the type of technical condition of the equipment;
2. search for a defect location;
3. determining the causes of defects and issuing recommendations for their elimination;
4. forecasting the technical condition of the equipment;
5. control of the correctness of the operation of the operating personnel for the operation of the equipment; the accumulation of statistical material for the improvement of manufacturing technology and operating modes of newly created machines.

The most effective diagnostic methods are vibroacoustic, pneumohydraulic, kinematic and electromagnetic. Diagnostic signs that determine the technical condition caused by various kinds of defects should be assessed according to the following conditions: structural (geometry, interrelation of parts, condition of the material of parts); functional (performance and characteristics of the workflow and regulatory process); vibration (set of oscillatory processes).

A significant number of defects (up to 60%) are strength defects, which is explained by the complexity and insufficient perfection of dynamic calculations, as well as simplified ideas about the physics of oscillatory processes and the tension caused by them [1].

1.1 Technical diagnostics methods

Technical diagnostics is a system of methods used to establish and recognize signs characterizing the technical condition of equipment. All methods of technical diagnostics are divided into subjective (organoleptic) and objective (instrument).

The organoleptic method (organ- + Greek. leptikos - able to take, perceive) is based on the analysis of information perceived by the human sense organs without the use of technical measuring or recording means. This information cannot be represented in numerical terms, but is based on sensations generated by the senses. The decision on the object of control is made according to the results of the analysis of sensory perceptions. Therefore, the accuracy of the method essentially depends on the qualifications, experience and abilities of the persons conducting the diagnosis. When organoleptic control can be used technical means that are not measuring, but only increase the resolution or sensitivity of the senses (magnifier, microscope, auditory tube, etc.).

Decision making has the character of “corresponds - does not correspond” and is determined by diagnostic rules of the “if - then” type, which have a concrete implementation for the nodes of the mechanism. Practically, the state of the equipment is assessed on a two-level scale - continue operation or need repair. The main goal is to detect deviations from the operating state of the mechanism. The decision on the technical condition of the mechanism is made by technological or repair personnel servicing the equipment on the basis of experience and production situation. The decision is made to stop the equipment for visual inspection and subsequent repair, continued operation or diagnosis using instrument methods. Practical experience shows that it is impossible to replace mechanics with its subjectivism, based on knowledge of the features of operation and maintenance of equipment. This method is the first level of solving diagnostic problems. Standards, the use of the organoleptic method of control is not regulated, but in the practice of the maintenance services it is used everywhere. Based on the operating experience of metallurgical machines accumulated by a number of firms, this method is interpreted as follows.

The main organoleptic methods used in assessing the technical condition of mechanical equipment.

1. The noise analysis of mechanisms is carried out in two directions:

- 1.1. Acoustic perception, allowing to evaluate the most significant damage that changes the acoustic picture of the mechanism. Very effective in determining damage to couplings, imbalance or weakening of the landing parts, broken rotor rods, impact parts. Diagnostic signs - change in pitch, rhythm and volume of sound.
- 1.2. Analysis of the oscillation mechanisms. In this method, mechanical vibrations of body parts are converted into sound vibrations using technical or electronic stethoscopes. Electronic tools allow you to expand the possibilities of human perception.
2. Temperature control allows you to assess the degree of heating of body parts at levels "cold", "warm", "hot." "Cold" - temperature less than +20 ° C, "warm" - temperature + 30 ... 40 ° C, "hot" - temperature above +50 ° C.
3. A visual inspection of the mechanism provides most of the information on the technical condition. Inspection can be carried out in a dynamic mode (when the mechanism is running) and in static mode (when the mechanism is stopped).
4. Tactile methods are used in assessing the waviness, roughness, quality of a lubricant, its viscosity, plasticity, presence of foreign inclusions, to assess the surface roughness of damaged parts.

Along with organoleptic methods, technical methods are used to diagnose the measured parameter. Diagnosing with the use of devices is based on the receipt of information in the form of electric, light, and sound signals that reflect the change in the state of an object. Depending on the physical nature of the measured parameters are distinguished:

1. Mechanical method - based on the measurement of geometric dimensions, gaps in the interfaces, pressures and velocity of elements. It is used in the quantitative assessment of wear parts, the establishment of backlash and clearances in the interfaces, pressures in the hydraulic and pneumatic networks, the tightening forces of threaded connections, the nominal speed of the drive. A variety of measuring tools and devices are used: rulers, calipers, probes, templates, dial-type movement indicators, torque wrenches, torque limit keys, pressure gauges.
2. The electrical method (wattmeter) is to measure: current, voltage, power, resistance, and other electrical parameters. The method allows indirect parameters to establish the technical condition of the mechanism. Means for realization: ammeters; voltmeters; measuring bridges; Sensors: displacements, torques, pressures; tachogenerators; thermocouples.
3. Thermal method (thermometry) - based on measuring the temperature parameters of the object being diagnosed. With the help of thermometry are determined: deformation caused by uneven heating, the condition of the bearing assemblies, lubrication systems, brakes, couplings. The following are used: thermistors, thermometers, thermocouples, thermal indicators, thermal paints, thermal imagers.
4. Vibroacoustic methods (vibrometry) are based on the measurement of elastic vibrations propagating through the nodes as a result of the collision of moving parts during operation of the mechanisms. Scope: assessment and control of mechanical vibrations; identification, recognition and monitoring of damage development in parts and structures. The following are used: sound level meters, vibrometers, spectrum analyzers of vibroacoustic signal parameters.
5. Methods of lubrication analysis are based on determining the type and amount of wear products in the oil. The following methods are used: colorimetric, polarographic, magnetic-induction, radioactive and spectrographic.
6. Methods of non-destructive testing: magnetic, eddy current, ultrasonic, penetrating control, radiation, radio wave. Methods are used to determine the integrity of individual parts of the mechanism [2].

Vibrodiagnostic method for diagnosing the technical condition of the units is the most effective for quickly detecting defects in rotary equipment, various gearboxes, turbines, pumps,

electric motors in the very early stages of nucleation. Defects directly related to the reverse frequency, such as imbalance, misalignment, weakening of the foundation, as well as the development of bearing defects, or poor gear coupling gear of gearboxes, are diagnosed and determined by this method for just one of the data on vibration. It is also possible to conduct vibrodiagnostic examination and identification of developed defects, by removing the total level of vibration in three measurement directions, each of which is responsible for the types of defect. So for example, an excess of vibration in a horizontal direction indicates an imbalance of equipment, in a vertical direction a weakening of the foundation on which the unit is installed, and an axial direction indicates a misalignment.

The standards for the level of vibration are divided into the power classes inherent in each type of equipment and are described in GOST ISO 10816 "Vibration. Monitoring the state of machines on the results of vibration measurements on non-rotating parts".

1.2 Vibration diagnostics

Vibration diagnostics is a method of diagnosing technical systems and equipment based on the analysis of the vibration parameters created by the operating, due to the structure of the object under study.

Vibration diagnostics plays a significant role in the detection of complex defects, since the vibrations arising during the operation of the machine sufficiently reflect the relative state of the part or assembly, make it possible to judge the emerging dynamic loads, as well as to detect the causes of defects.

Vibrodiagnostic methods are aimed at detecting and identifying malfunctions of mining machines and equipment that affect their vibration — rotor defects, support system defects, stator assemblies, sliding bearings and rolling bearings, gears and belt drives experiencing or generating dynamic loads.

The carrier of information about the technical condition of the working equipment in vibration diagnostics is a vibroacoustic signal. The vibration signal almost instantly responds to changes in the state of the equipment, which determines the speed of diagnosis and decision making.

Vibration is a complex oscillatory motion, which can be represented as a set of simple harmonics, which are described by three parameters: frequency f , amplitude S and initial phase φ .

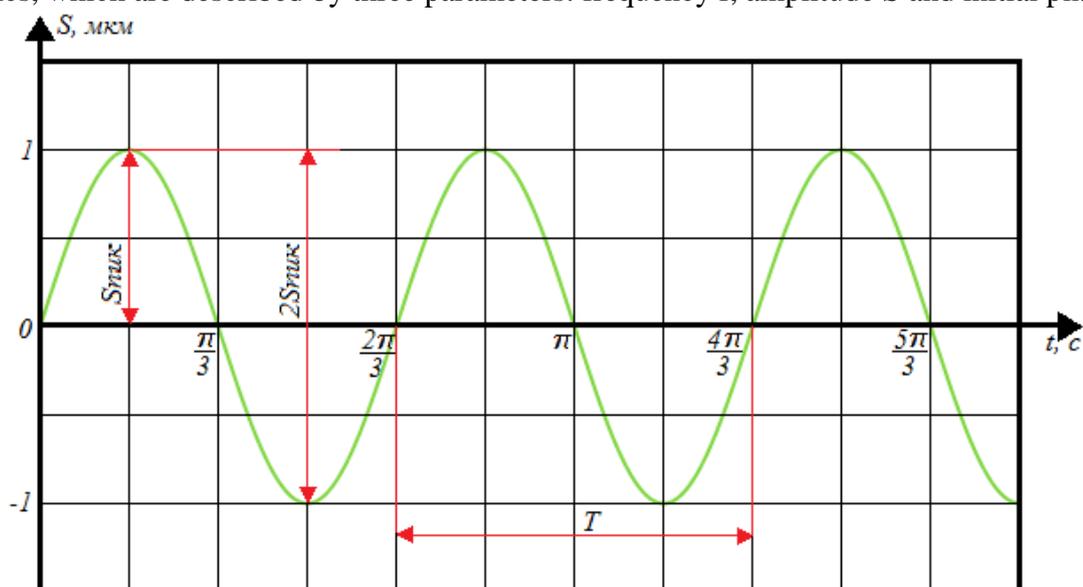


Figure 1 - Oscillation parameters

These parameters have certain mathematical relationships to each other when considering harmonic oscillations. If the point (or body) vibration has a purely longitudinal shape of

oscillations along one axis (x), then the instantaneous displacement (vibration) from the initial position can be described by a mathematical equation:

$$s = S_{max} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right) = S_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f) = S_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1.1)$$

where $\omega = 2\pi \cdot f$ - is the angle frequency; S_{max} - maximum displacement of a point (or body) from the initial position; t - time. Vibration displacement is measured in micrometers ($1 \mu\text{m} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$) or to mm. The frequency of vibration is measured in hertz ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$) or revolutions per minute (rpm, rad / s).

The change in the displacement in time is the speed (vibration velocity) of a point (or body) moving, therefore, the oscillations can be described in terms of speed

$$v = \frac{ds}{dt} = \omega \cdot S_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{max} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (1.2)$$

Thus, the vibratory displacement through differentiation can be converted to speed. The units of vibration velocity are mm/s or m/s .

During differentiation, the amplitude is multiplied by the frequency; therefore, the amplitude of the vibration velocity at a certain frequency is proportional to the product of the displacement (s) and frequency (f). With increasing frequency at a fixed offset value, the speed will double, and an increase in frequency by 10 times will result in an increase in speed by a factor of 10.

The change in the speed of a point (or body) in time is the acceleration (vibration acceleration) of movement

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = -\omega^2 \cdot S_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -a_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \quad (1.3) \\ = a_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi).$$

Thus, to obtain acceleration from speed, one more differentiation is necessary, which means another multiplication by frequency. Therefore, the acceleration at a fixed offset will be proportional to the square of the frequency. Acceleration units are m/s^2 .

Based on Newton's second law (the force is equal to the product of mass and acceleration) at a given displacement, the force will be proportional to the square of the frequency. That is why in practice they do not face oscillations, where large accelerations are accompanied by large displacements, there are simply no such very large forces that would be extremely destructive.

As can be seen from the above equations, the shape and period of oscillations remain unchanged regardless of whether displacement, velocity, or acceleration is considered.

It should be noted that the instantaneous values of s, v, a differ in phase. So, the speed is ahead of the displacement by the phase angle of 90° (in the equation) and the acceleration is ahead of the speed by the phase angle of 90° (in the equation). The peak value of the oscillation amplitude, that is, the use of the peak value of the amplitude of oscillations, was effectively used when characterizing harmonic (simplest) oscillations.

When considering the oscillations depicted in Figure 2, use other magnitudes of the amplitudes.

The arithmetic average absolute value of the oscillation amplitude characterizes the overall vibration intensity and is defined as

$$X_{|average|} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| dt. \quad (1.4)$$

The average value of the amplitude of oscillations is used in the analysis of oscillations over a very long period of time (day, several days), mainly in stationary equipment monitoring systems. Therefore, this value is not of particular practical interest.

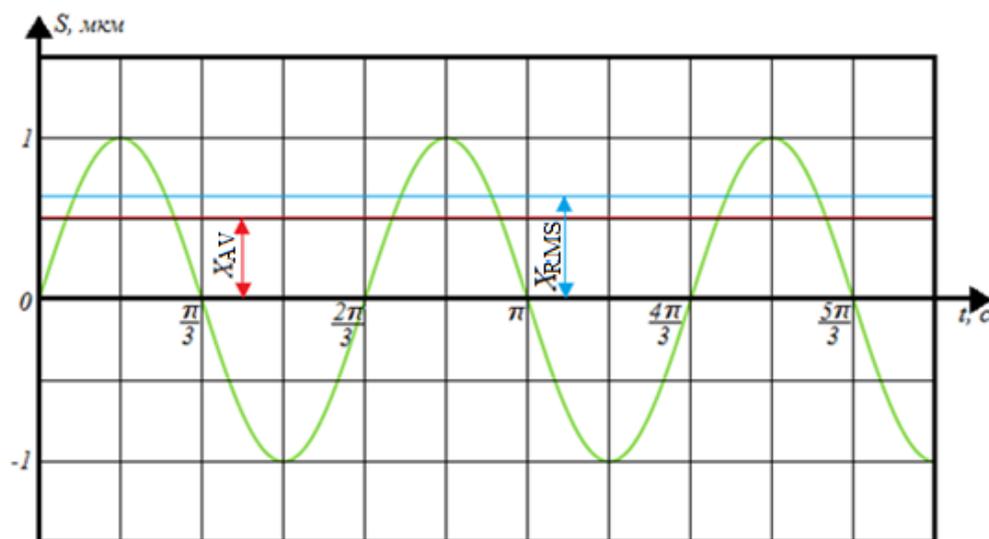


Figure 2 - Determination of the average and effective amplitude of oscillations

Another magnitude of the oscillation amplitude is the root-mean-square value (RMS). RMS is an important characteristic of the amplitude of vibration, for the calculation of which instantaneous values of the amplitude of oscillations are required to be squared and the resulting values averaged over time. To obtain the correct values, the averaging interval takes at least one oscillation period. After that, to get the RMS, the square root is extracted:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T s^2(t) dt}. \quad (1.5)$$

For purely harmonic oscillations (vibration contains only one oscillation frequency), the ratio between the peak, average, and mean-square values of the amplitude is defined as

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} X_{|average|} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{max}. \quad (1.6)$$

In general terms, these relationships can be described as:

$$X_{RMS} = F_f \cdot X_{|average|} = \frac{1}{F_c} \cdot X_{max}, \quad (1.7)$$

where F_f, F_c - respectively, the shape and amplitude coefficient:

$$F_f = \frac{X_{скз}}{X_{|average|}}; F_c = \frac{X_{пик}}{X_{RMS}}. \quad (1.8)$$

The coefficients give an idea of the vibration wave form. For purely harmonic oscillations, these coefficients are

$$F_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11 (\cong 1Db); F_c = \sqrt{2} = 1,414 (\cong 3Db). \quad (1.9)$$

Oscillations encountered in practice are not purely harmonic oscillations, although many of them can be periodic. Figure 3 shows an example of a typical dynamic process.

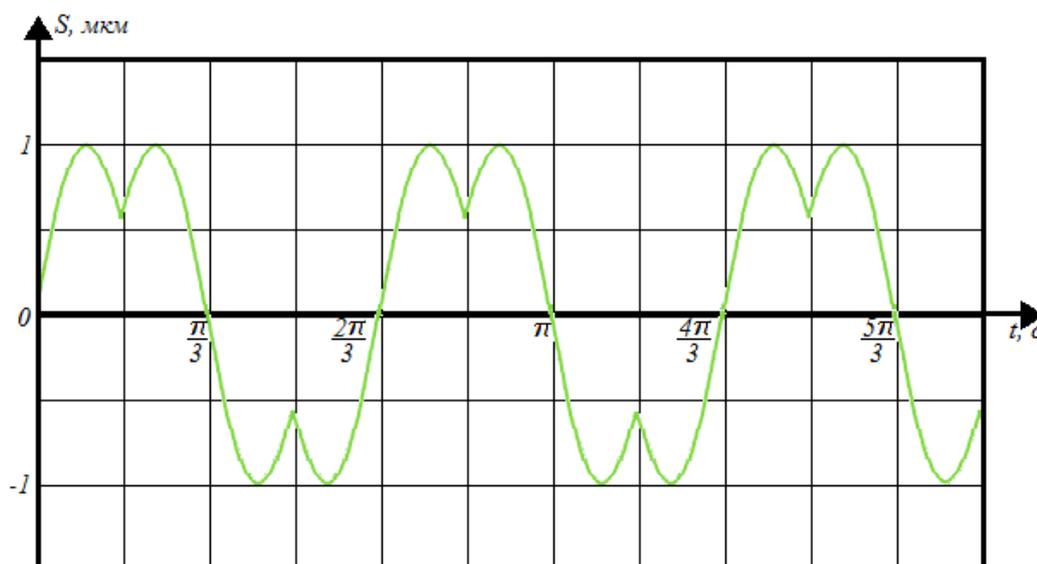


Figure 3 - Typical dynamic process

Having determined the peak, mean, and RMS values of this vibration, as well as its shape and amplitude coefficients, we can obtain information that allows one to draw a conclusion about the non-harmonic character.

When used as a diagnostic feature, each of the parameters considered has a specific feature. As for the magnitude of the oscillation, when describing it, the following basic parameters are used: vibration displacement (s); vibration velocity (v); vibration acceleration (a).

Vibration displacement is controlled most effectively in the low-frequency range from 0 to 300 ... 500 Hz. The frequency response of the vibration velocity has a plot - from 10 to 1000 ... 2000 Hz. Therefore, in the frequency range from 10 to 1000 Hz, it is recommended to control the vibration according to the vibration velocity parameter.

With increasing frequency, high levels of vibration acceleration are excited. Therefore, vibration acceleration is controlled most effectively in the high-frequency range - over 1000 ... 2000 Hz. Using vibration accelerations at frequencies of 100 Hz and below is inefficient.

Based on the above, it follows that to assess the technical condition of machines and mechanisms, it is necessary to use vibration velocity in the frequency range from 10 to 2000 Hz. If the frequency of the vibration source (for example, oil vibration of a sliding bearing) is in the low frequency range from 0.5 to 500 Hz, then in addition to the vibration velocity parameter, it is necessary to control the vibration by vibration. If the frequency of the vibration source (for example, a rolling bearing) is in the high-frequency range above 1000 Hz, then in addition to the vibration velocity parameter, it is necessary to control the vibration by vibration acceleration[3].

References

1. Zaikov V.I., Berlyavsky G.P. Operation of mining machinery and equipment: A textbook for higher education / V.I. Zaikov, G.P. Berlyavsky. - 3 ed., Sr.- M.: Publishing House of the Moscow State Mining University, 2001.-257 p.
2. Sidorov V.A. Methods and means of technical diagnostics [Electronic resource] - Access mode: <https://eam.su/lekciya-7-metody-i-sredstva-texnicheskogo-diagnostirovaniya.html>, free.
3. Gavrilin A.N. Diagnostics of technological systems: a training manual. Part 2 / A.N. Gavrilin, B.B. Moises; Tomsk Polytechnic University. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2014.-128 p.