

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование динамических эксплуатационных нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами

УДК 62-137:531.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ91	Толстов Олег Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Рудаченко Александр Валентинович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк В.Б.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Сечин А.И.	д.т.н., профессор		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Сумцова О.В.	к.ф.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрина А.В.	д.т.н., доцент		

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Отделение школы (НОЦ) Нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ91	Толстову Олегу Владимировичу

Тема работы:

Исследование динамических эксплуатационных нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№117-62/с от 27.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование динамических нагрузок в процессе работы газоперекачивающего агрегата ЭГПА-4,0/8200-56/1,26, разработка математической модели системы «двигатель-муфта-ГТУ», моделирование процесса смещения подвижной оси вследствие возникающих динамических нагрузок в газоперекачивающих агрегатах компрессорных станций.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной)</i>	Введение Глава 1. Общие сведения о КС Глава 2. Классификация и виды дефектов ЭГПА Глава 3. Оценки напряженно-деформированного состояния надземной части трубопроводной обвязки компрессорной станции «Парабель» Глава 4. Математическая модель

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Глава 6 Социальная ответственность Заключение Список публикаций Список использованных источников ПРИЛОЖЕНИЕ А. Financial management, resource efficiency and resource conservation
--	--

Перечень графического материала	Диапазон значений скоростей двигателя при условии неуравновешенности двигателя, области роста амплитуды вибрации насоса, схема двигателя, спектр для разных скоростей вращения, фазовые графики, общая схема электродвигателя, ГТУ и муфты, зависимости смещения, виброскорости, виброускорения при различных условиях эксплуатации.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Романюк В.Б., к.э.н, доцент ОНД ИШПР
Социальная ответственность	Сечин А.И., д.т.н, профессор ООД ШБИП
Иностранный язык	Сумцова О.В., к.ф.н, старший преподаватель ОИЯ ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Раздел на английском языке: Приложение А. 1. Financial management, resource efficiency and resource conservation

Разделы на русском языке: реферат, введение, заключение, главы 1-6

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД ИШПР	Рудаченко Александр Валентинович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ91	Толстов Олег Владимирович		

Планируемые результаты обучения по ООП

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i>		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i> <i>Профстандарт: 01.004</i>
Специализация «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»		

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
ПК(У)-1	Способность разрабатывать учебно-методическое обеспечение программ профессионального обучения, а также реализовывать их	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарт: 01.004</i>
ПК(У)-2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-3	Способность оценивать экономическую эффективность инновационных решений в области трубопроводного транспорта углеводородов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-4	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-5	Способность участвовать в управлении технологическими комплексами, принимать решения в условиях неопределенности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-6	Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-7	Способность применять современные программные комплексы для проектирования технических устройств, аппаратов и механизмов, технологических процессов в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ91	Толстову Олегу Владимировичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>В данном разделе ВКР необходимо представить: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др. Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 20%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Расчет капитальных и текущих затрат и финансового результата реализации проекта</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>График выполнения работ</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет экономической эффективности внедрения новой техники или технологии</i>

Перечень графического материала:

<i>Организационная структура управления Линейный календарный график выполнения работ Графики динамики и сравнения показателей</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		27.03.2021г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ91	Толстов Олег Владимирович		27.03.2021г

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ91	Толстову Олегу Владимировичу

ШКОЛА		Отделение	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Тема дипломной работы: «Исследование динамических эксплуатационных нагрузок генерируемых центробежными машинами и агрегатами»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<ul style="list-style-type: none"> 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения 	<p>Объектом исследования в данной работе является технологическая обвязка газоперекачивающего агрегата, расположенного в компрессорном зале КС. Область применения: система магистральных газопроводов.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>- Федеральный закон от 28.12.2013 №426 – ФЗ, О специальной оценке условий труда. – М.: МЦФЭР, 2014. – 120 с</p> <p>- ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</p> <p>- ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности; - Федеральный закон от 30.03.1999 N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;</p> <p>- ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;</p> <p>- ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»;</p> <p>- СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы»;</p> <p>- СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение.</p>
<p>1. Производственная безопасность Анализ показателей шума и вибрации</p> <ul style="list-style-type: none"> установление соответствие показателей нормативному требованию; <p>Анализ показателей микроклимата</p> <ul style="list-style-type: none"> показатели температурные, скорости движения воздуха, запыленности. <p>Анализ освещенности рабочей зоны</p> <ul style="list-style-type: none"> типы ламп, их количество, соответствие нормативному требованию освещенности; при расчете освещения указать схему размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету. <p>Анализ электробезопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> наличие электроисточников, характер их опасности; установление класса электроопасности помещения, а 	<p>5.2.1 Анализ показателей шума на рабочем месте</p> <p>5.2.2 Анализ показателей вибрации на рабочем месте</p> <p>5.2.3 Анализ показателя освещенности рабочей зоны</p> <p>5.2.4 Анализ влияния токсичных и вредных веществ</p> <p>5.2.5 Анализ влияния механизмов и оборудования</p> <p>5.2.6 Анализ электробезопасности</p> <p>5.2.7 Анализ влияния аппаратов под давлением</p> <p>5.2.8 Анализ пожарной безопасности</p> <p>Вредные факторы:</p>

<p>также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления.</p> <ul style="list-style-type: none"> при расчете заземления указать схему размещения заземлителя согласно проведенному расчету. <p>Анализ пожарной безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> присутствие горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности. категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение. Разработать схему эвакуации при пожаре. 	<ol style="list-style-type: none"> Повышенные уровни шума Повышенные уровни вибрации Недостаточное освещение рабочей зоны Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования Поражение электрическим током Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением Пожаровзрывоопасность на рабочем месте
<p>2. 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>5.3.1 Анализ влияния технологии перекачки на сферы жизнеобеспечения</p> <p>5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды</p>
<p>3. 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>5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при работе НПС;</p> <p>5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Сечин А.И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ91	Толстов Олег Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 123 страниц, 49 рисунков, 20 таблиц, 36 источников.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, ЭГПА, неуравновешенные динамические нагрузки, моделирование математической модели работы ЭГПА, уравнение Лагранжа 2 рода.

Объектом исследования является ЭГПА с рабочим диапазоном частот 5740...8610, степенью сжатия 1,26 на объекте компрессорной станции.

Целью данной диссертации является исследование динамических нагрузок и, как следствие, процессов колебаний газоперекачивающего агрегата с точки зрения математической модели в соответствии с системой «двигатель-муфта-ГТУ». Проблемы связаны со скоростью вращения ротора и действующих нагрузок. Данный подход позволит повысить надежность, сократить экономические, энергетические и временные затраты путем оценки влияния нагрузок, путем оценки характеристик движения системы.

Теоретический обзор содержит данные о компрессорной станции, агрегате, его устройстве и характеристиках, методах проведения оценки НДС трубопровода и агрегата, а также о средствах измерения, применяющихся для данной оценки.

Основная часть содержит в себе математическое моделирование процесса колебаний, вибраций и неуравновешенных динамических нагрузок в процессе работы компрессорного агрегата на компрессорной станции. С помощью данной модели можно повысить надежность и пригодность оборудования.

Финансовая и социальная части включают в себя сравнительный экономический анализ виброанализаторов для проведения диагностики

					<i>Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Толстов О.В.			<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Рудаченко А.В.					9	123
<i>Консульт.</i>						ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
<i>Рук-ль ООП</i>		Шадрина А.В.						

технологической обвязки газоперекачивающего агрегата, а также меры безопасности при работе агрегата на компрессорной станции

					<i>Реферат</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной выпускной квалификационной работе были применены следующие термины и определения:

Компрессорная станция – комплекс сооружений газопровода (магистрального), предназначенный для компримирования газа.

Газоперекачивающий агрегат – технологическое устройство, включающее привод и нагнетатель, предназначенный для повышения давления в магистральном газопроводе.

Газотурбинная установка – конструктивно-объединенная совокупность газотурбинного двигателя, газовоздушного тракта, системы управления и вспомогательных систем.

Газотурбинный двигатель – часть газотурбинной установки, состоящей из газовой турбины, компрессора (компрессоров), камер сгорания, систем управления и вспомогательных агрегатов.

Компрессор – компонент газотурбинного двигателя, повышающий давление работе тела.

Турбина (газовая) – компонент газотурбинного двигателя, преобразующий потенциальную энергию нагретого рабочего тела под давлением в механическую работу.

Неисправность – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

					Определения, обозначения и сокращения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

В настоящей выпускной квалификационной работе были использованы ссылки на следующие обозначения и сокращения:

АД – асинхронный двигатель;

КС – компрессорная станция;

ГТУ – газотурбинная установка;

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

ЭГПА – электроприводной газоперекачивающий агрегат;

ТО – техническое обслуживание;

СКЗ – среднеквадратическое значение

НДС – напряжённо-деформированное состояние

					Определения, обозначения и сокращения	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Оглавление

РЕФЕРАТ	9
1.1. Общие сведения о КС.....	16
1.2.1 ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р-10-01	20
1.2.2. Состав блока нагнетателя	22
1.2.4. Ротор ЦБН	23
1.2.5. Магнитный подвес	24
1.2.6. Асинхронный двигатель	25
Классификация и виды дефектов ЭГПА.....	27
2.2.1. Виды отказов и дефектов и их связь с вибропроцессами	30
2.2.2. Загруженность деталей оборудования	33
2.2.3. Усталость.....	34
2.2.4. Связь усталости и вибропроцессов.....	34
2.2.5. Остаточная деформация	35
2.3.1. Физическое объяснение появления вибраций и основные термины в вибродиагностике.....	35
2.3.2. Измерение вибрации, виброизмерительные приборы, способы крепления вибродатчиков	39
Оценки напряженно-деформированного состояния надземной части трубопроводной обвязки компрессорной станции [REDACTED]	43
3.1.1. Вибрационного обследование и ТПО нагнетателей ГПА	43
3.1.2. Вибрационное обследование технологического оборудования ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р-10-01	46
3.1.3. Результаты замеров СКЗ виброскорости.....	47
4. Математическая модель ЭГПА	50

					Оглавление	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

4.1.1.	Применение уравнения Лагранжа 2 рода для составления математической модели.....	53
4.1.3.	Кинетическая энергия системы	53
4.1.2.	Потенциальная энергия системы	54
4.1.3.	Главный вектор и момент сил	55
4.1.4.	Работа обобщенных сил.....	55
4.2.1.	Результаты моделирования	56
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	72
5.1.	Анализ конкурентных технических решений	72
5.2.	Планирование работ по проведению вибродиагностики технологической обвязки насосного агрегата.....	74
5.3.	Определение трудоемкости выполнения работ.....	75
5.4.	Разработка графика проведения проекта	76
5.5.	Бюджет затрат на исследование.....	79
5.5.1.	Расчет материальных затрат исследования	79
5.5.2.	Расчет затрат на специальное оборудование для проведения исследования	80
5.5.3.	Основная заработная плата исполнителей исследования	81
5.5.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей исследования ..	81
5.5.5.	Отчисления во внебюджетные фонды	83
5.5.6.	Накладные расходы.....	83
5.5.7.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	84
5.6.	Определение ресурсоэффективности проекта.....	84
6.	Социальная ответственность	88

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	89
6.1.1. специальные правовые нормы трудового законодательства.....	89
6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	89
6.2. Производственная безопасность	90
6.2.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	92
6.2.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	98
6.3. Экологическая безопасность	100
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	102
Заключение	104
Список литературы	105
Приложение А	109

1.1. Общие сведения о КС

██████████ промплощадка [1] является структурным подразделением Томского ЛПУМГ ООО "Томсктрансгаз", осуществляющего эксплуатацию и обслуживание компрессорной станции, участков магистрального газопровода "██████████" (██████████, две нитки), "██████████" (██████████ нитки).

КС «██████████» размещается в ██████████, в ██████████.

Проект КС разработан ██████████ ██████████, в составе проекта газопровода «██████████». КС «██████████» введена в эксплуатацию в 1980 году.

Компрессорная станция состоит из одного цеха и подключена к двухниточному магистральному газопроводу «██████████ ██████████».

Диаметр каждой нитки газопровода – DN 1000, PN 55. Проектная производительность КС – ██████████. Режим работы – круглосуточный, круглогодичный.

На КС установлены ЭГПА STD 4000-2 с центробежными нагнетателями Н-280-12-7 в количестве 4 шт. Общая установленная мощность 16 МВт.

ЭГПА установлены в здании компрессорного цеха. Обвязка нагнетателей выполнена по «универсальной» схеме, позволяющей осуществлять компримирование газа в две ступени (2x2+1рез.) или в одну ступень (2x1+3рез.).

					Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Толстов О.В.			Общие сведения о КС		
Руковод.		Рудаченко А.В.					
Консульт.							
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					
					Лит.	Лист	Листов
						16	123
					ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		

Очистка газа от механических примесей и жидкости осуществляется на установке очистки, состоящей из блоков циклонных пылеуловителей (4 пылеуловителя производительностью 9 млн. м³ /сутки каждый).

Система охлаждения газа на КС отсутствует.

Кроме компрессорного [2],[3] цеха, на площадке КС расположены следующие

сооружения:

- газовая обвязка нагнетателей;
- установка очистки газа;
- дизель-генераторная;
- газораспределительная станция собственных нужд КС;
- трансформаторная подстанция КТП 2х400 кВА;
- закрытое распределительное устройство 10 кВ;
- склад ГСМ с насосной;
- склад метанола;
- топливораздаточный пункт;
- гаражи;
- служебно-эксплуатационный блок;
- резервуар запаса воды 250 м³ ;
- канализационные очистные сооружения с насосными станциями бытовых и промышленных стоков;
- админздание;
- склады и др.

На рисунке 1 представлена структурная схема КС.

					Общие сведения о КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

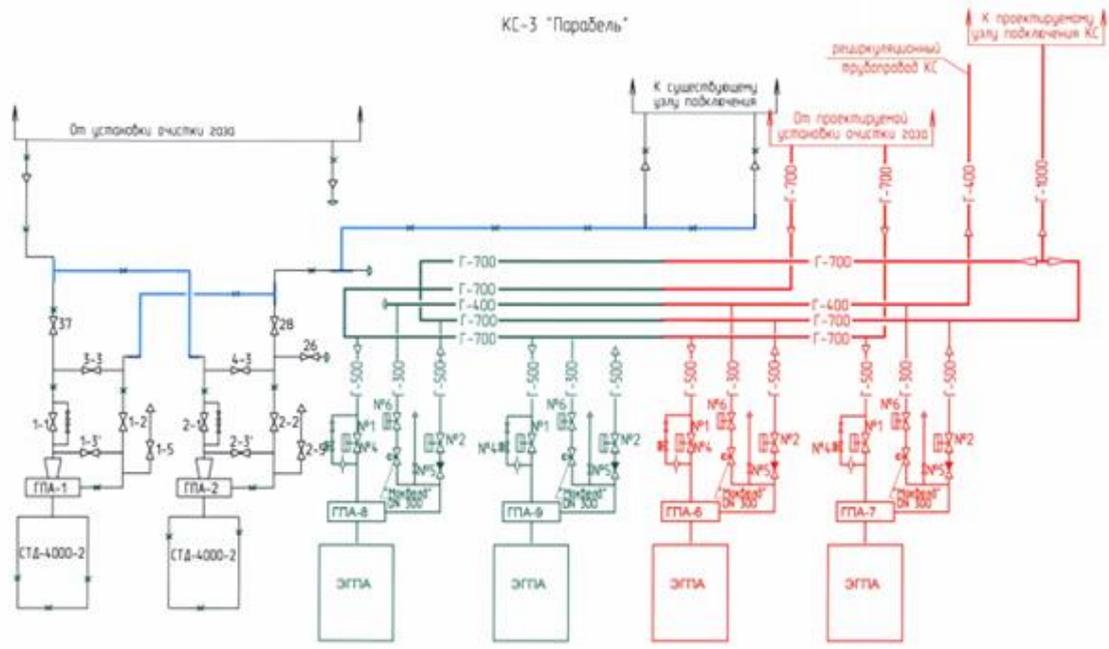


Рис.1. Технологическая схема КС «[REDACTED]».

Основные параметры КС Парабель и прилегающего газопровода
 основные технологические показатели КС приведены в таблице 1:

					Общие сведения о КС	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					18	

Табл.1. Основные параметры КС Парабель

производительность	██████████
давление газа на входе КС	██████████
давление газа на выходе КС	██████████
температура газа на входе КС	██████████
температура газа на выходе КС	██████████
количество ГПА	4 шт
проектная схема работы	3 раб. + 1 рез
мощность установленная	16,0 МВт
количество аппаратов установки очистки газа	3 шт.
давление импульсного газа	██████████
количество шлейфов и их диаметр: - всасывающих 1 шт. DN1000; - нагнетательных 1 шт. DN1000.	██████████ ██████████

На КС приняты электроприводные газоперекачивающие агрегаты ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р «Лысьва» - ВОСТОК производства ООО «Электро-Привод-Газ», оставляемые согласно временных технических условий ВТУ ВЖ 3335205, согласованных Управлением по транспортировке газа и газового конденсата ОАО «Газпром». Количество рабочих и резервных газоперекачивающих агрегатов определено на основании выполненных гидравлических расчетов [4] газопровода «██████████ ██████████» на период до 2020г. Согласно выполненным расчетам, на КС предусматривается установка 4 ЭГПА (3 раб.+1рез.) с неполнонапорными нагнетателями.

1.2. Описание электроприводного газоперекачивающего агрегата

На КС применяются асинхронные и синхронные электродвигатели [5] мощностью от 400 до 12500 кВт типа СТД - 4000 - 2, СТД - 12500 - 2 и АЗ - 4500 - 1500. Газоперекачивающие агрегаты имеют маркировку по типу электродвигателя, например: ГПА - СТД - 4000, ГПА - СТД - 12500.

Преимуществами данных ГПА являются дешевые монтажные работы; большой ресурс, большая эксплуатационная надежность; эксплуатационные расходы на 50% меньше по сравнению с ГТД; простота автоматизации и управления, экологическая чистота, пожаробезопасность.

Однако, существуют и недостатки, ими являются: ограниченность районов с дешевой электроэнергией; плохая приспособляемость к переменному режиму работы газопровода из-за постоянной частоты вращения (3000 об./мин).

1.2.1 ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р-10-01

Электроприводной газоперекачивающий агрегат ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р-10-01 (далее ЭГПА) осуществляет компримирование природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов и предназначен для замены выработавших свой ресурс электрогазоперекачивающих агрегатов.

Табл. 2. Технические характеристики ЭГПА.

Наименование параметра	Единица величины	Значение
Производительность объёмная отнесённая к 20 °С и 0,1013 МПа	млн. м ³ /сут	■
Производительность объёмная, отнесённая к начальным условиям	м ³ /мин	■

					Описание ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Степень повышения давления (степень сжатия)	о.е	1,26
Политропный КПД нагнетателя, не менее	о.е	0,85
КПД привода, не менее	о.е	0,93
Мощность привода	кВт	4000
Диапазон рабочих частот вращения, от номинальной, без превышения номинальной мощности	%	■
Точность установки частоты вращения в рабочем диапазоне частот (в % от номинальной частоты), не выше	%	■
Рабочий диапазон изменения частоты вращения ротора	об/мин	5740...8610
Диапазон рабочих температур газа	°С	■
Производительность объемная, отнесенная к 20 оС и 0,1013 МПа	млн.м ³ /сут	■
Производительность объемная, отнесенная к начальным условиям	м ³ /мин.	■
Номинальная механическая мощность, потребляемая нагнетателем на муфте электродвигателя	кВт	■
Политропный КПД	-	■
Масса при транспортировке	кг	14 220
Степень защиты, не хуже	-	■
Тепловыделения при максимальной нагрузке не более	кВт	■

1.2.2. Состав блока нагнетателя

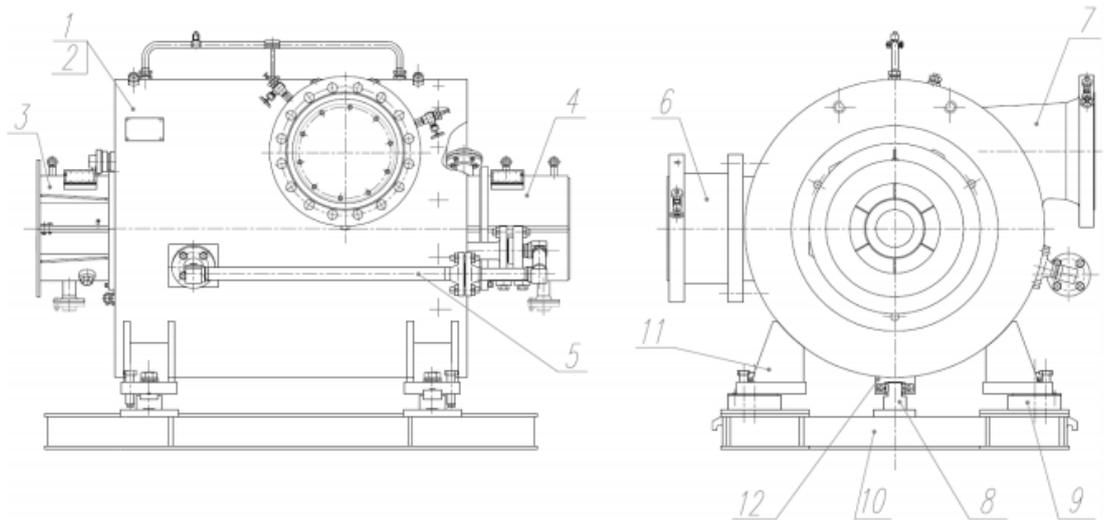


Рис. 2. Блок нагнетателя. Состав блока нагнетателя. 1 – цилиндр, 2 – пакет, 3 – блок радиального МП, 4 – блок радиально-упорного МП, 5 – трубопровод, 6 – всасывающий патрубок, 7 – нагнетательный патрубок, 8 – шпонка продольная, 9 – шпонка поперечная, 10 – рама фундаментная, 11 – опора, 12 – наварыш.

1.2.3. ЦБН

Проточная [6] часть нагнетателя объединена в пакет, устанавливаемый в расточку цилиндра. Внутри расточки крышки, нагнетательной части и вставки расположены обоймы лабиринтных уплотнений. Ротор внутри пакета без установленных блоков магнитных подвесов может находиться на поясках обойм уплотнений или в сдвинутом до упора в нагнетательную часть положении.

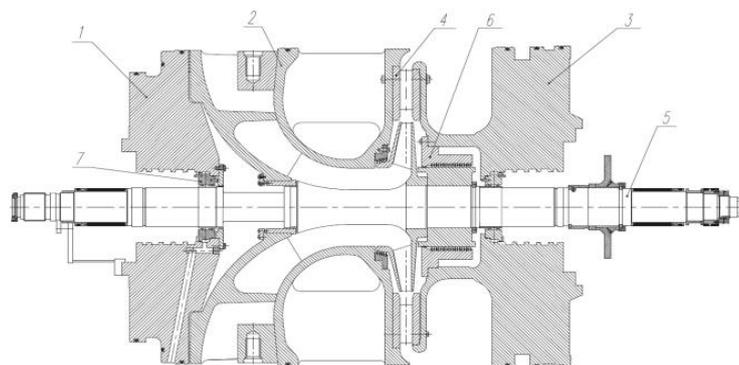


Рис. 3. ЦБН. Состав пакета ЦБН. 1 – крышка, 2 – вставка, 3 – нагнетательная часть, 4 – диффузор, 5 – ротор, 6 – обойма уплотнения, 7 – уплотнение.

1.2.4. Ротор ЦБН

Ротор ЦБН [7] состоит из вала, на котором насажены рабочее колесо; думмис; втулки уплотнений; несъемные детали магнитного подвеса – посадочная втулка радиального страховочного подшипника, датчик радиального подшипника ротора, посадочная втулка осевого страховочного подшипника; съемные детали магнитного подвеса – распорная посадочная втулка, предохранительная посадочная втулка, втулка с промежуточным диском, диск оснащенный, распорный диск, дисковый фланец, датчик осевой скорости; гайки со стопорной шайбой. Ротор тщательно отбалансирован. Все детали магнитного подвеса установлены механически съемными, за исключением диска оснащенного, для съема и насадки которого используется комплект гидрораспрессовки, позволяющий устанавливать детали с высоким натягом.

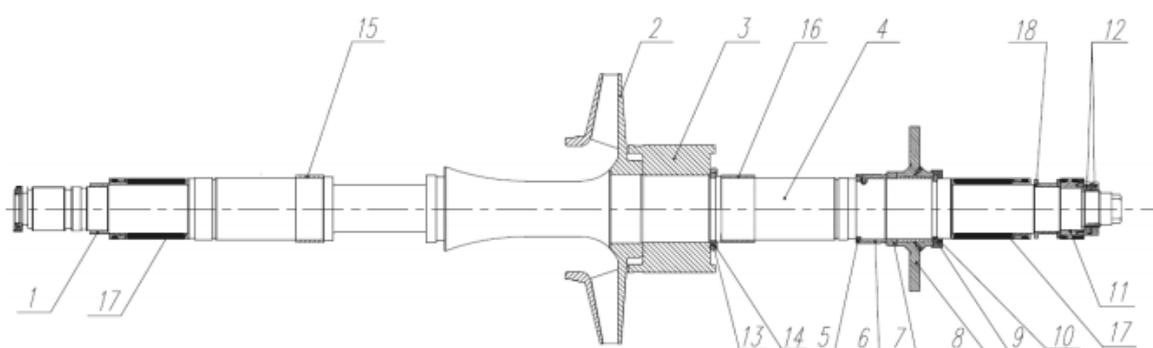


Рис. 4. Ротор. Состав ротора ЦБН. 1 – посадочная втулка радиального страховочного подшипника, 2 – рабочее колесо, 3 – думмис, 4 – вал, 5 – распорная посадочная втулка, 6 – предохранительная посадочная втулка, 7 – втулка с промежуточным диском, 8 – диск оснащенный, 9 – распорный диск, 10 – дисковый фланец, 11 – датчик осевой скорости, 12 – гайка со стопорной шайбой, 13 – кольцо упорное, 14 – кольцо стяжное, 15 – втулка, 16 – втулка, 17 – датчик радиального подшипника ротора, 18 – посадочная втулка осевого подшипника.

					Описание ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

1.2.5. Магнитный подвес

Роторы АД и ЦБН установлены на подшипники, действие которых основано на силе магнитного притяжения [8]. Это позволяет обойтись без применения маслосистемы и сопутствующих ей подсистем. В каждую машину установлен комплект магнитных подшипников (КМП), состоящий из двух (для АД) или трех (для ЦБН) магнитных подшипников (МП). АД снабжен двумя радиальными МП и не имеет осевого ограничителя перемещения. ЦБН снабжен двумя радиальными МП и одним осевым МП, стабилизирующим в осевом направлении всю систему “ротор АД - компенсирующая муфта-ротор ЦБН”. КМП каждой машины находится под управлением подсистемы САУ ЭГПА, отвечающей за работу магнитных подвесов данной машины [9].

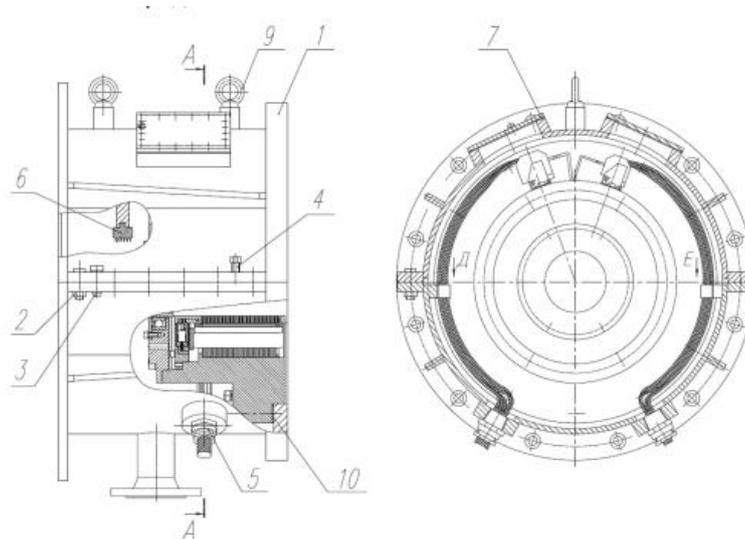


Рис. 5. Магнитный подвес. Состав блока радиального МП. 1 – кожух, 2 – болт, 3 – штифт установочный, 4 – винт, 5 – ввод кабельный, 6 – обойма уплотнения, 7 – крышка, 8 – скоба, 9 – рым-болт, 10 – прокладка.

					Описание ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

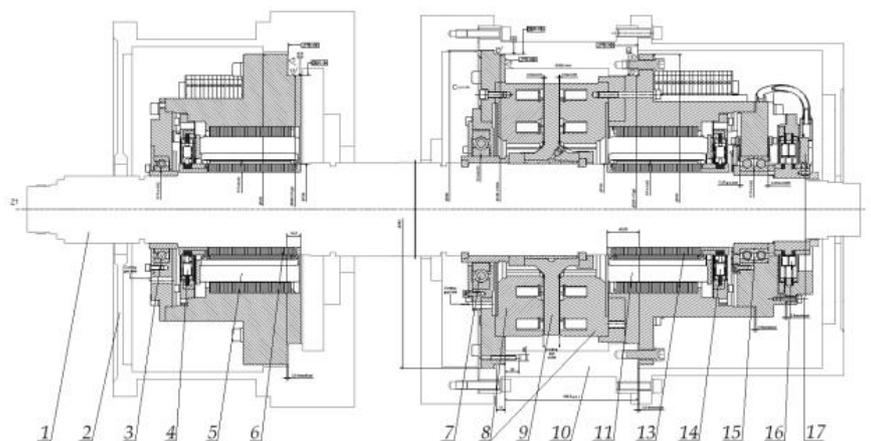


Рис. 7. Состав комплекта магнитного подвеса нагнетателя. 1 – ротор нагнетателя, 2, 10 – корпус магнитного подшипника, 3, 7 – страховочные радиальные шарикоподшипники, 4, 14 – комбинированный датчик радиального и осевого положения ротора, 5, 11 – статор радиального МП, 6, 13 – ферромагнитная втулка, 8 – катушки осевого МП, 9 – диск осевого МП, 15 – страховочный осевой шарикоподшипник, 16 – датчик осевого перемещения ротора, 17 – датчик частоты вращения ротора.

1.2.6. Асинхронный двигатель

Ротор асинхронного электродвигателя не питается током, а полюса на нем индуцируются магнитным полем статора. При этом обмотка статора включается в сеть и является как бы первичной, а обмотка ротора — вторичной, т.к. энергия в нее поступает из обмотки статора за счет магнитной связи между этими обмотками. В АД [10] в обмотке ротора присутствует электродвижущая сила от вращающегося магнитного поля статора и переменный ток от этой электродвижущей силы образует тоже переменное магнитное поле. Эти поля статорное и роторное взаимодействуют и создается асинхронное вращение.

В случае с асинхронным двигателем (который также называют индукционным) в пазы ротора вставляются короткозамкнутые металлические пластины. Кроме короткозамкнутой разновидности, применяются также фазные роторы, снабженные контактными кольцами, которые после разбега замыкаются накоротко.

					Описание ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

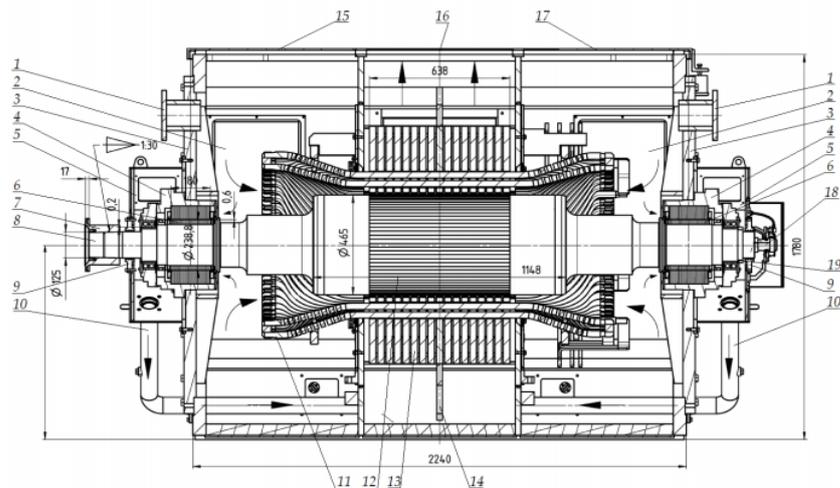


Рис. 8. Внутреннее устройство АД. 1 – подъемный люк, 2 – смотровой люк, 3 – подшипниковый щит, 4 – блок МП, 5 – защитный кожух МП, 6 – втулка МП, 7 – фланец, 8 – ротор, 9 – лабиринтное уплотнение, 10 – воздуховод охлаждения МП, 11 – обмотка статора, 12 – короткозамкнутая обмотка ротора, 13 – статор, 14 – перегородка, 15 – первое входное окно холодного воздуха, 16 – окно выхода горячего воздуха, 17 – второе входное окно холодного воздуха, 18 – графитовые щетки заземления ротора, 19 – втулка с магнитным элементом. Стрелками показан путь охлаждающего воздуха в АД. Система охлаждения не показана.

Классификация и виды дефектов ЭГПА

Классифицировать неисправности ГПА можно [11],[12] по следующим признакам:

- Принадлежность к отдельным узлам.

- Влияние на работоспособность:

а) неисправности, которые приводят к снижению ресурса узлов и детали;

б) неисправности, которые приводят к изменению характеристик функционирования.

- Описывающие их признаки:

а) неисправности, диагностические параметры которых определяются прямым измерением;

б) неисправности, диагностируемые;

в) неисправности, оцениваемые по условиям, приводящим к их возникновению, определяются по косвенным признакам.

Неисправности элементов и узлов ГТД располагаются в следующей последовательности по убыванию частоты:

- рабочие лопатки, ротор, направляющие лопатки и диафрагма турбины;

- подшипники;

- камера сгорания и газоходы горячих газов;

					<i>Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Толстов О.В.</i>			Классификация и виды дефектов ЭГПА	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Рудаченко А.В.</i>					27	123
<i>Консульт.</i>						ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

- рабочие лопатки и ротор компрессора; направляющие лопатки компрессора;
- теплообменники и выходные газоходы;
- корпус и уплотнения;
- вспомогательные устройства и системы;
- фундамент и прочие.

Лопатки осевого компрессора [13] могут выходить из строя по ряду следующих причин:

- динамические напряжения
- низкая конструктивная надежность лопаточного аппарата;
- плохое состояние поверхности, нарушение посадки лопаток;
- несоблюдение технологического процесса при изготовлении.

Поломка лопаток влечет за собой нарушение устойчивой работы ОК и всего агрегата в целом. Иногда происходят разрушения пазов лопаток с их выбросом в проточную часть, что приводит к крупным поломкам.

Усталостные трещины чаще всего возникают на выходных кромках лопаток (реже на входных). В дальнейшем именно усталостные трещины приводят к разрушению лопаток осевого компрессора. При анализе технического состояния лопаточного аппарата может возникать ряд признаков, указывающих на разрушение металлических деталей осевого компрессора ГТУ. Ими являются: риски, задиры, вкрапления, обломы.

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

Несоблюдение технологии изготовления приводит к нарушениям частотных характеристик лопаток ротора, статора, и, следовательно, к расширению диапазона резонансных режимов. Все это довольно часто приводит к образованию трещин и дальнейшим разрушениям. Также часто причиной появления трещин является срыв потока воздуха с появлением на концах лопаток вихрей, из-за которых возникают колебания лопаток, причем формы колебаний могут быть изгибно-крутильными или пластинчатыми в зависимости от частот резонансных колебаний. Поэтому при анализе состояния лопаток в качестве диагностического параметра рассматривают максимальное напряжение и амплитуду напряжений.

Основные причины, которые влияют на разброс напряжения в пределах проточной части ОК, носят конструктивно-производственный и эксплуатационный характер.

Конструктивно-производственными являются [14] случайные отклонения в геометрии профиля, в технологии изготовления, регулирования, к эксплуатационным относятся: неравномерность воздушного потока при отклонениях рабочих режимов; различная наработка отдельных лопаток, вследствие этого, разный их износ. Довольно часто разрушения лопаток возникают в результате эрозионного износа. На износ также оказывают влияние взаимное расположение направляющих и рабочих лопаток ротора и статора и характер механических примесей. К тому же больше всего этому виду износа подвержены входная и выходная кромка, верхняя часть рабочих лопаток и лопатки направляющего аппарата.

Разрушение лопаток [14] осевого компрессора связано с высоким уровнем динамических нагрузок, вызванных потоками циклового воздуха и неустойчивостью работы ОК.

При постоянной частоте вращения ротора и неустойчивой работе наблюдается уменьшение расхода циклового воздуха и увеличение степени

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

повышения давления. На неустойчивую работу компрессора оказывает влияние ряд следующих эксплуатационных факторов:

- повышение сопротивления всасывающего тракта в результате загрязнения фильтров;
- эрозионный износ лопаток, трещины и обрыв направляющих и рабочих лопаток, что снижает КПД компрессора неудовлетворительное состояние проточной части из-за загрязнения лопаточного аппарата, т. е. увеличение сопротивления.

Причинами возникновения неисправностей дисков турбин являются:

- неправильная их сборка;
- низкое качество поковок и механической обработки;
- коррозия поверхности;
- плохой контроль диска после его изготовления
- перегрев во время работы.

Состояние лопаток и диска турбины связано с влиянием высоких температур, которые вызывают прогары и коробление в корпусе турбин, трещины в дисках ротора турбины, трещины и обрыв рабочих и сопловых лопаток, что связано с изменением политропического коэффициента полезного действия турбины и площади соплового аппарата. Основными неисправностями также являются увеличение утечек в газоздушном тракте высокого давления в результате разрушения лабиринтных уплотнений, и загрязнения газоздушного тракта и изменения его геометрии, что связано с изменением гидравлического сопротивления.

2.2.1. Виды отказов и дефектов и их связь с вибропроцессами

					Классификация и виды дефектов ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Достоверность оценки состояния агрегата при техническом обслуживании, включающем в качестве необходимой составной части техническое диагностирование, зависит от понимания сущности рабочих процессов [15], выступающих в качестве носителей диагностической информации, и от знания законов возникновения и развития неисправностей.

Отказы и дефекты связаны с вибрационными процессами в оборудовании различным образом, они могут быть вызываемыми вибропроцессами, вызывающими вибропроцессы или изменяющими их. При разработке методик диагностирования полезно выделять характерные стадии развития дефекта (отказа), поскольку каждая из них может характеризоваться своим комплексом диагностических параметров. Обычно различают следующие стадии:

- появление причин, вызывающих дефект или отказ;
- инкубационный период (накопление повреждаемости, зарождение дефекта и ранняя стадия развития, вызывающая изменение свойств, иногда трудно обнаруживаемого используемыми методами диагностики);
- развитый дефект, т. е. дефект, обнаруживаемый методами диагностики, но не вызывающий вторичных повреждений;
- развитие дефекта, вызывающее вторичные повреждения или изменения в оборудовании, характеризующиеся своими диагностическими параметрами;
- внезапное или мгновенное разрушение (имеет место не для всех дефектов), которое может вызывать или не вызывать вторичных разрушений.

Первые две стадии в большинстве случаев диагностируют по параметрам, характеризующим причины дефекта, длительность и степень их воздействия. Развитый дефект обнаруживают по параметрам, характеризующим степень его развития. Развитие дефекта, вызывающее

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

вторичные повреждения дополнительно обнаруживается по диагностическим параметрам этих повреждений. В задаче диагностики внезапного или мгновенного разрушения, которое необходимо предотвратить при контроле оборудования, следует использовать параметры, характеризующие первые две стадии его развития.

В вибродиагностике следует учитывать тот факт, что дефекты на разных стадиях развития могут быть связаны с вибрационными процессами в оборудовании (колебаниями его деталей или динамическими процессами, их вызывающими) различным образом, а переход от одной стадии развития к другой может быть постепенным или скачкообразным.

Дефекты обычно классифицируют по следующим аспектам, учитываемым при разработке и использовании методов и средств диагностики:

- по виду разрушения (усталость, износ, ползучесть, коррозия, термомодеформации и т. д.);
- по моментам проявления (в процессе работы, при осмотрах и техническом обслуживании, при разборке);
- по временному характеру проявления (внезапные, постепенные, сбои, перемежающиеся отказы);
- по причинам возникновения (конструктивные, технологические, производственные, эксплуатационные, дефекты материала);
- по степени опасности;
- по последствиям (отказ, устраняемый при эксплуатации; отказ, ведущий к досрочному выводу оборудования из эксплуатации; отказ, ведущий к происшествию; отказ, ведущий к аварии);

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

- по способам устранения (заменой детали, регулировкой, мелким ремонтом, заменой узлов в эксплуатации, доработкой в заводских условиях и т.д.);
 - по связи дефектов и отказов между собой (независимые и зависимые).

Рассмотрим основные факторы и процессы, вызывающие прочностные отказы и дефекты оборудования, их связь с вибрационными процессами.

2.2.2. Загруженность деталей оборудования

Нагрузки бывают нескольких видов: статические, динамические (переменные и ударные), циклические.

Статические нагрузки могут оказывать влияние на вибрации в оборудовании, главным образом в тех случаях, когда они вызывают изменение геометрической формы деталей, например, кинематических пар. Кроме того, под действием статических нагрузок могут изменяться частоты собственных колебаний деталей, вследствие увеличения жесткости, например, действие центробежных сил на диски и лопатки турбомашин. При действии достаточно высоких статических нагрузок в течение длительного времени, явления ползучести материала могут привести к изменению геометрической формы деталей и появлению трещин.

Циклические нагрузки не вызывают вибраций оборудования, но приводят к явлениям усталости металла, что в свою очередь может оказать влияние на вибрацию.

Динамические нагрузки — основная причина колебания деталей агрегатов и их динамической напряженности, приводящей к усталостным поломкам.

					Классификация и виды дефектов ЭГПА	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.2.3. Усталость

Существуют несколько видов усталостных [15] разрушений деталей: типичная усталость под действием переменных напряжений происходит из-за развития трещины, распространяющейся в материале по экспоненциальному закону; контактно — усталостные разрушения (питтинг, шелушение, усталостное выкрашивание контактных пар), начинающиеся с зарождения язвы или отдельного очага усталостного разрушения и, затем, с увеличением числа язв относительно быстрого разрушения; коррозионно-усталостные разрушения деталей начинаются с очага коррозии (например, подверженных воздействиям агрессивных газов), служащего началом трещин, после заполнения которых, продуктами коррозии происходит коррозионное растрескивание и разрушение деталей; термическая усталость на начальной стадии сопровождается слабым изменением геометрической формы тела вследствие образования сетки мелких трещин, затем магистральных трещин, приводящих к разрушению под действием динамических напряжений.

Под действием переменной нагрузки усталостная долговечность имеет обратно — степенную зависимость от ее значения с показателем степени порядка восьми и более в зависимости от материала.

2.2.4. Связь усталости и вибропроцессов

Вибрация вызывает усталостные разрушения деталей, действуя, как переменная нагрузка. При появлении усталостных трещин изменяются собственные частоты колебаний деталей вследствие изменения их жесткости и могут изменяться демпфирование и характер колебаний (например, начинают проявляться эффекты нелинейности), что может вызвать изменение характера вибрации данной детали.

Характер изменений при усталостных процессах таков, что существует инкубационный, обычно длительный, период медленного накопления повреждений с постоянной скоростью, после которого происходит резкое

					Классификация и виды дефектов ЭГПА	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

увеличение скорости накопления повреждений. Такому закону, очевидно, должно следовать и изменение интенсивности вибрации, связанной с явлениями усталости. Однако при этом следует учитывать возможное изменение частот и форм колебаний вибрирующих деталей — возможны резкие изменения интенсивности колебаний деталей, вошедших в резонанс. Для нормально работающих деталей (исправное состояние) в инкубационном периоде развития усталостных дефектов изменение вибрации происходит с постоянной скоростью (при этом возможно случайное медленное флуктуирующее изменение интенсивности). На стадии быстрого разрушения увеличивается частота случайных флуктуации и их размах (дисперсия), т.к. увеличивается скорость случайных изменений.

2.2.5. Остаточная деформация

Нагрузки, вызывающие напряжения, которые превышают предел упругости, могут привести к остаточной деформации и появлению трещин. Остаточные деформации изменяют геометрическую форму и размеры деталей, что влияет на вибрационные процессы, генерируемые взаимодействием деталей (кинематических пар).

2.3.1. Физическое объяснение появления вибраций и основные термины в вибродиагностике

Если система, примером которой послужат вращающиеся части двигателя, муфта, ГТУ, в частности, система валов, выведена из положения равновесия, то она благодаря силам упругости, стремится возвратиться в первоначальное состояние. Достигнув его, ввиду накопившейся энергии, упругая система переходит нейтральное положение (положение равновесия), отклоняется в другом направлении, возвращается из него и цикл повторяется.

У каждого упругого тела есть определённая частота, зависящая от свойств и природы тела (от конструкции, размера, веса, упругих свойств материала и характера крепления). Такая частота колебаний называется

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
						35
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

собственной частотой. Частота собственных колебаний в течение всего времени колебания остается неизменной, а величина их амплитуды зависит от величины приложенной возмущающей силы в момент вывода системы из состояния покоя.

При частоте возмущающей силы, равной или кратной частоте собственных колебаний тела, наступает состояние резонанса. Поэтому даже при небольшой возмущающей силе происходит резкое увеличение амплитуды колебаний тела. Если энергия колебаний увеличивается работой возмущающей силы, действие которой совпадает в течение каждого периода с направлением движения, то частота колебания в данном случае называется критической. Состояние резонанса весьма опасно для тела, так как амплитуда колебаний, несмотря на неизменную величину приложенных сил, может возрастать до тех пор, пока возрастающие вместе с ней напряжения не приведут к разрушению тела.

Вращающийся ротор нагнетателя не вибрирует и не оказывает отрицательного воздействия на подшипники, когда он полностью уравновешен во всех своих частях. Однако, в процессе эксплуатации, это условие может быть нарушено вследствие даже ничтожных изменений в распределении масс ротора по окружности.

При наличии небаланса в роторе при его вращении этот небаланс является возмущающей силой, вызывающей вынужденные колебания вала; при этом частота вынужденных колебаний совпадает с числом оборотов ротора, а амплитуда колебаний изменяется почти пропорционально изменению величины небаланса. Число оборотов ротора, соответствующее состоянию резонанса (частота вынужденных колебаний равна или кратна частоте собственных колебаний ротора), называется критическим числом оборотов или критической скоростью вращения.

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

По достижении критического числа оборотов возникают сильные вибрации ротора, опасные для прочности. Работа в таком состоянии весьма опасна, так как приводит к задеванию вращающихся частей. Если продолжать увеличивать число оборотов вала, то опасные вибрации прекратятся. Однако при дальнейшем увеличении числа оборотов можно дойти до такой скорости вращения, при которой вал опять начнет сильно вибрировать, т. е. будет достигнута вторая критическая скорость; дальнейшее увеличение числа оборотов приведет к достижению третьей критической скорости и т. д. Таким образом, роторы имеют много критических скоростей, но практическое значение имеют только первые три критические скорости.

Если первая критическая скорость ротора лежит выше его нормальной рабочей скорости (числа оборотов), то ротор носит название жесткого; его ось при вращении в эксплуатационных условиях не испытывает изгибных колебаний. Роторы, рабочая скорость которых близка к первой критической скорости или превышает ее, называются гибкими.

По направлениям, ориентированным относительно главной оси ротора агрегата и измеряемым на вершине крышек подшипников, различаются три основных вида вибраций: поперечная (перпендикулярная оси ротора),

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
						37
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

продольная (осевая) и вертикальная.

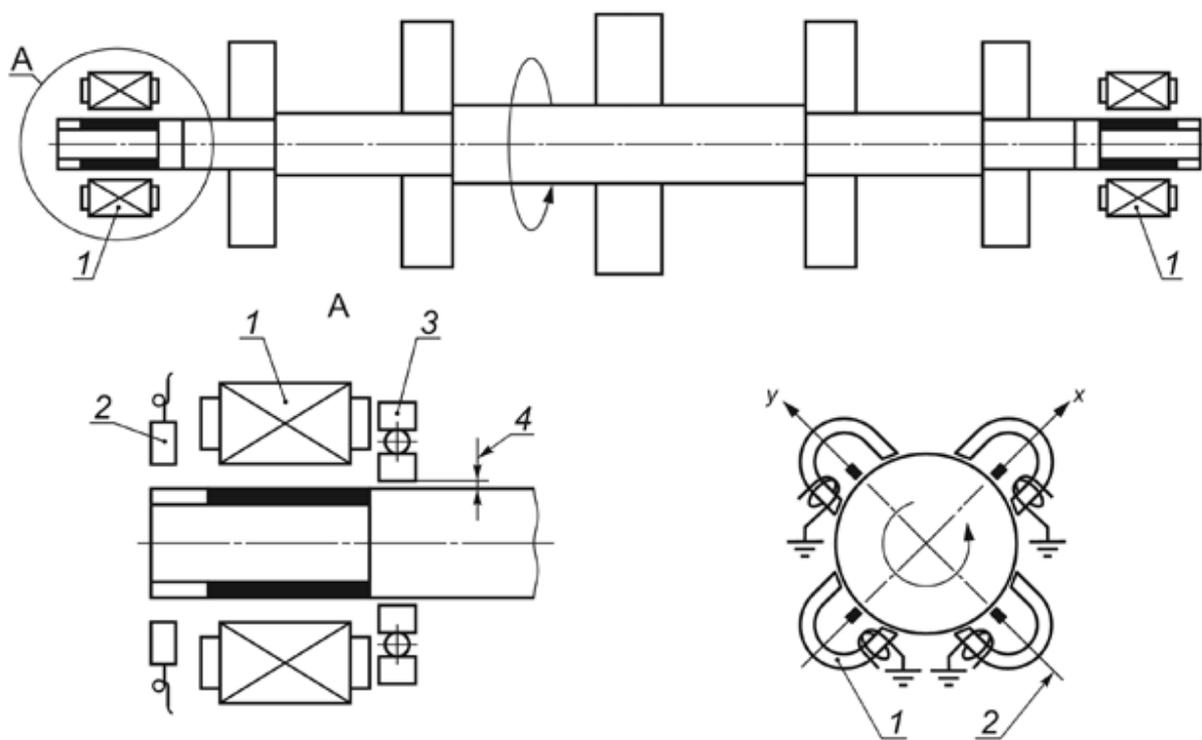


Рисунок 9. Точки измерения вибрации ротора на активных магнитных подшипниках.

1 - АМП; 2 - датчик перемещения; 3 - страхующий подшипник; 4 – зазор.

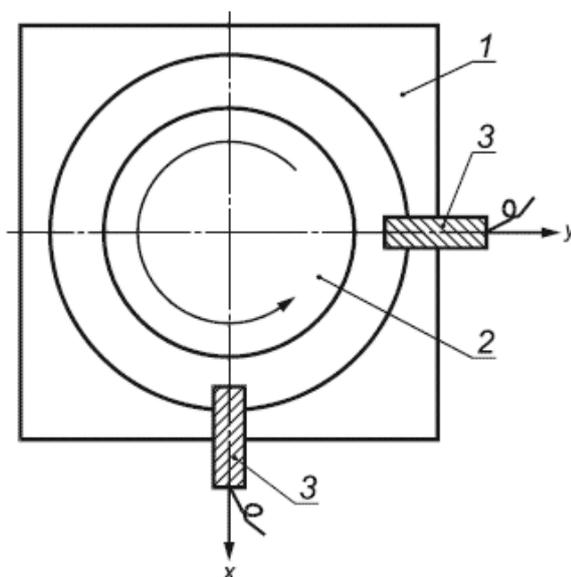


Рис.10. 1 - корпус; 2 - вал; 3 - датчик перемещения.

Как видно из рисунка 10, у радиального подшипника измерительные оси датчиков совпадают с осями x и y . Сигналы этих датчиков позволяют определить положение оси ротора в каждый момент времени, включая

постоянное смещение (эксцентриситет) и переменную составляющую (орбиту прецессии вала).

Наибольшее практическое значение имеет поперечная вибрация, вызываемая смещением центра тяжести вращающегося ротора, т. е. небалансом, однако измерения происходят всегда для трёх направлений и в двух направлениях для МП.

В качестве измеряемой величины вибрации может быть использована одна из следующих:

- виброперемещение, в микрометрах (мкм);
- виброскорость, в миллиметрах на секунду (мм/с);
- виброускорение, в метрах на секунду в квадрате (м/с²).

2.3.2. Измерение вибрации, виброизмерительные приборы, способы крепления вибродатчиков

Вибрационные исследования, необходимые для установления причин повышенной вибрации, являются весьма сложным процессом и требуют не только значительной затраты времени, но и высокой квалификации персонала, производящего эти испытания и их измерения, в сообществе ОАО «Газпром трансгаз Томск» независимо от удалённости филиала, этим занимаются специалисты по вибродиагностике с «Инженерно-Технического Центра» (ИТЦ).

Измерения следует производить одними и теми же приборами [16] и в одном и том же месте для получения результатов, которые можно будет сопоставить с данными предыдущих замеров вибраций (составить вибрационную картину машины).

По функциональному назначению виброизмерительная аппаратура делится на контрольную (контрольно-сигнальную), диагностическую (исследовательскую) и балансировочную, а по способу применения – на стационарную и переносную.

					Классификация и виды дефектов ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39



Рис. 11. Переносные вибронализаторы Кварц и Microlog

Контрольная виброаппаратура предназначена для измерения параметров интенсивности вибрации в контролируемых точках машины, а контрольно-сигнальная также для сигнализации и отключения машины по предельным значениям этих параметров.

Диагностическая и исследовательская – для специальной обработки вибрационного сигнала и измерения разнообразных параметров вибрации, а также для запоминания исходных данных и результатов их обработки.

Балансировочная виброаппаратура предназначена для измерения амплитуды и фазы оборотной вибрации и частоты вращения балансируемого ротора. Современные процессорные балансировочные приборы также содержат программу для расчета корректирующих масс. В настоящее время многие типы исследовательской виброаппаратуры одновременно выполняют функции балансировочной.

Вибрация преобразовывается в электрический сигнал посредством датчика, связанного с объектом измерения.

Датчики работают в ограниченном температурном диапазоне. Обычно рабочий диапазон температур составляет от -30°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Для установки на горячие поверхности необходимо использовать высокотемпературный

					Классификация и виды дефектов ЭГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

пьезоакселерометр, в котором электронная часть преобразователя выносится в отдельный корпус. Эта мера позволяет расширить температурный диапазон до +260⁰С (или даже до +450⁰С, при использовании специальной керамики).

Результаты измерения вибрации существенно зависят от способа крепления датчика на исследуемой поверхности. Эти рассуждения применимы только к датчикам скорости и ускорения, т. к. в них вибрация измеряется контактным способом.

Ручным щупом пользуются тогда, когда жесткая установка датчика невозможна. Такой способ крепления поможет выполнить замер на горячей поверхности.

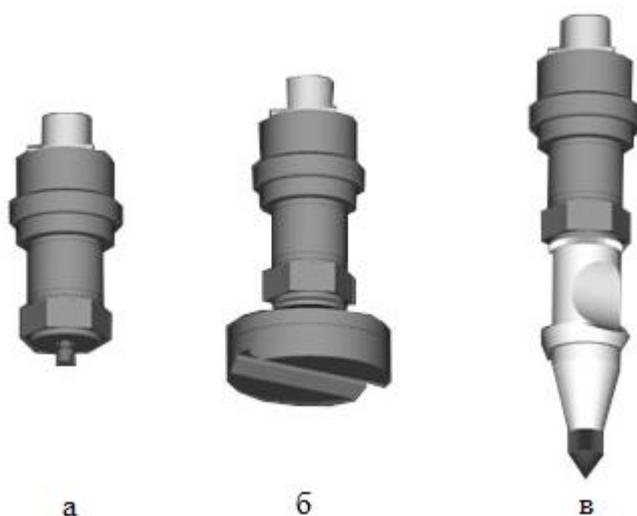


Рисунок 12. Способы крепления датчиков. а- на шпильке, диапазон измеряемых частот 0-20000 Гц, б- на магните, диапазон измеряемых частот 0-4500 Гц, в- на ручном щупе диапазон измеряемых частот 0-200 Гц.

Место установки датчика должно быть чистым и плоским. Шероховатость поверхности должна быть минимальной. Краска в месте установки датчика должна отсутствовать и место установки датчика должно быть промаркировано соответствующим образом. На практике такие точки

прописываются в специальной «вибрационной карте» машины, выдаваемой производителем по требованию эксплуататора.

					<i>Классификация и виды дефектов ЭГПА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

Оценки напряженно-деформированного состояния надземной части трубопроводной обвязки компрессорной станции ██████████

3.1.1. Вибрационного обследование и ТПО нагнетателей ГПА

Замеры [16] проводились согласно ГОСТ ИСО 10816- 3-2002. «Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт номинальной скоростью от 120 до 15000 об/мин». Данные замеров можно расценивать как руководство по оценке степени виброактивности машин на месте их эксплуатации посредством измерения вибрации на корпусах или опорах подшипников. Методы оценки, установленные в настоящем стандарте, основаны на измерениях вибрации только в широкой полосе частот. Контроль вибрационного состояния также проводился методами измерения вибрации в узких полосах частот с использованием спектрального анализа. Измерения необходимо проводить в двух ортогональных радиальных направлениях на крышке или опоре каждого подшипника как показано на рисунке 10. Направление измерений вибрации подшипника допускается выбирать произвольно, но обычно для горизонтально установленной машины предпочтительны горизонтальное и вертикальное направления. Схема точек измерения указана на рисунке 13. Частотный диапазон 4...2500 Гц. Количество усреднений 10.

					Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Толстов О.В.			Оценки напряженно-деформированного состояния	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					43	123
Консульт.						ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

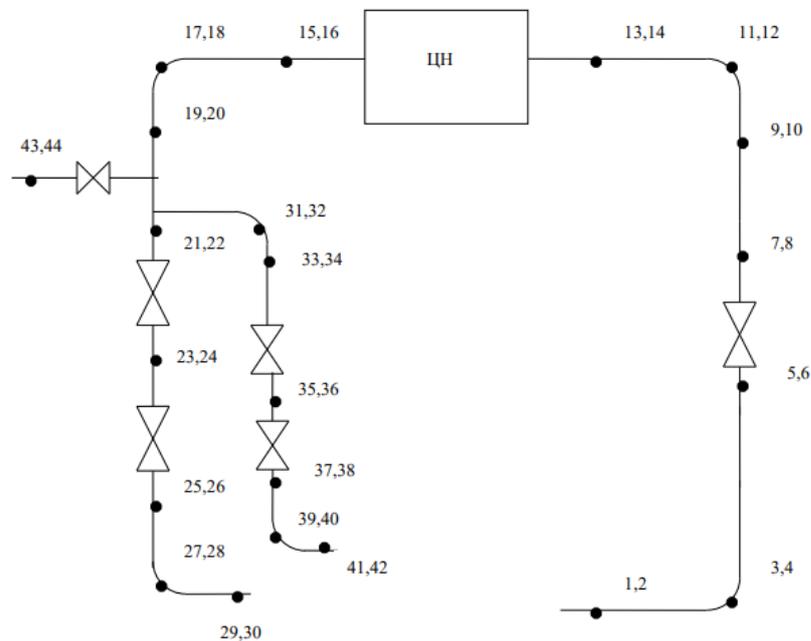


Рис. 13. Схема расположения точек измерения вибрации ТПО нагнетателей ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р НЦ 220-11-1СМП

Вибрационное обследование и оценка вибрационного состояния проводится согласно прилагаемой инструкции завода изготовителя «Atlas Copco» 2946 0444 04 «Test Data - Condition Monitoring» для компрессоров серии ZT. Результаты представлены на рисунке 13. Средства измерения: Виброметр тип SKF Microlog CMXA 70. Датчик тип - CMSS2200.

					Оценки напряженно-деформированного состояния	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

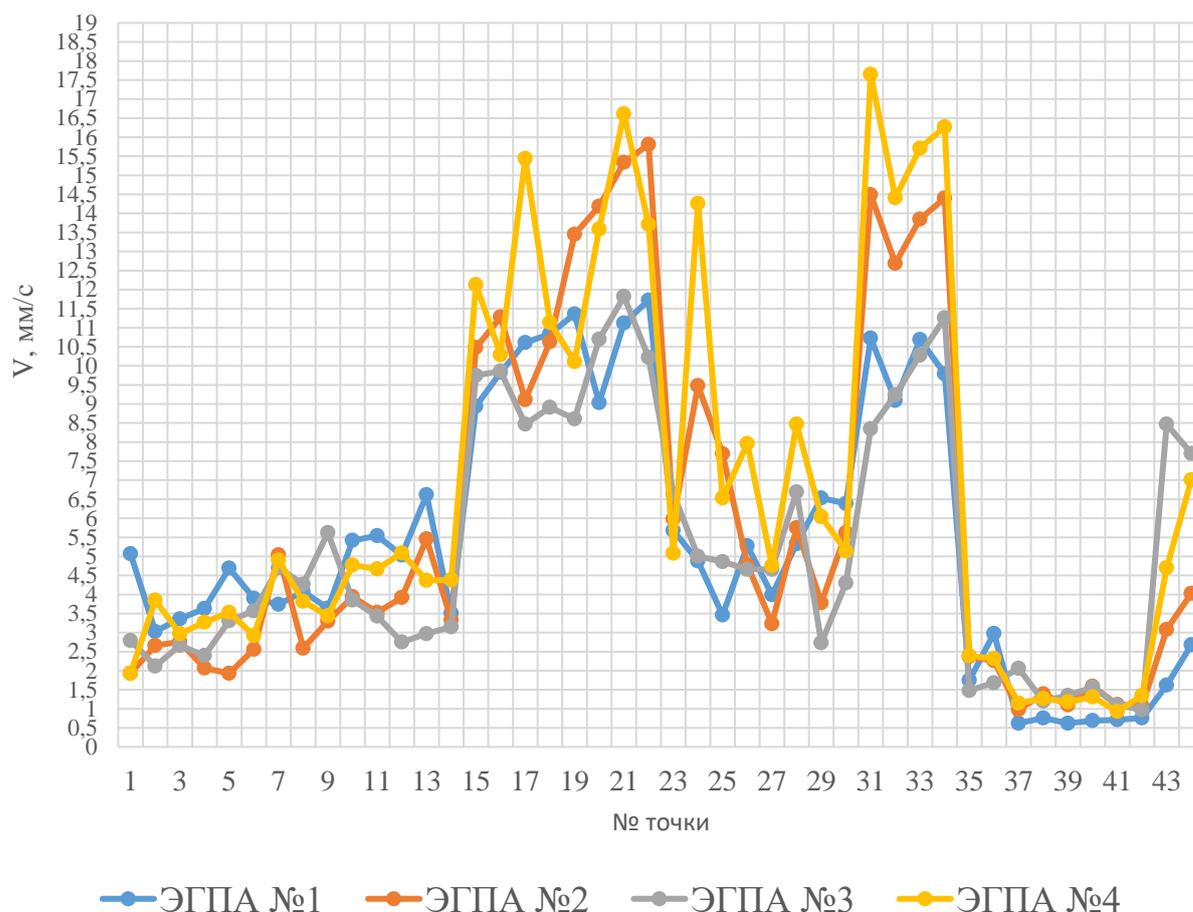


Рис. 14. Среднеквадратичные уровни вибрации ТПО нагнетателей

Исходя представленных результатов, видны завышенные значения в областях точек 15-22 и 31-34. Данные точки находятся на участках обвязки с повышенными значениями виброскорости, а именно вблизи ЭГПА. В характерных точках СКЗ всех агрегатов приобретают повышенные значения в одних и тех же областях, в данных точках виброскорость значительно выше чем в отдаленных. Разность значений виброскорости на каждом отдельном ГПА возникает из-за разных эксплуатационных режимов работы. Также видно, что высокие значения виброскорости наблюдаются вблизи трубопроводной линии всасывания. Также высокие значения наблюдаются на изгибе обвязки, что говорит о уязвимости данных областей для влияния вибраций. Можно сделать вывод, что к данным точкам необходимо повышенное внимание и более тщательное исследование.

3.1.2. Вибрационное обследование технологического оборудования ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р-10-01

Вибрационное обследование [16] и оценка вибрационного состояния для агрегатов 1-4 проводится согласно прилагаемой инструкции завода изготовителя «Atlas Copco» 2946 0444 04 «Test Data - Condition Monitoring» для компрессоров серии ZT. Результаты представлены на рисунке 15. Средства измерения: Виброметр тип SKF Microlog CMXA 70. Датчик тип - CMSS2200.

Замеры проводились в точках отмеченных на рис. 15.

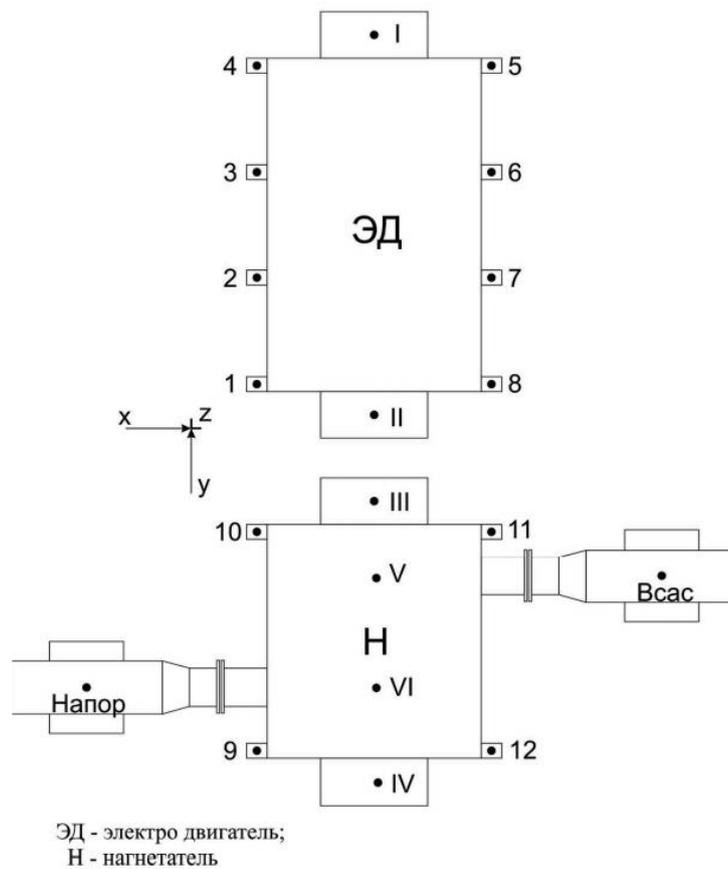


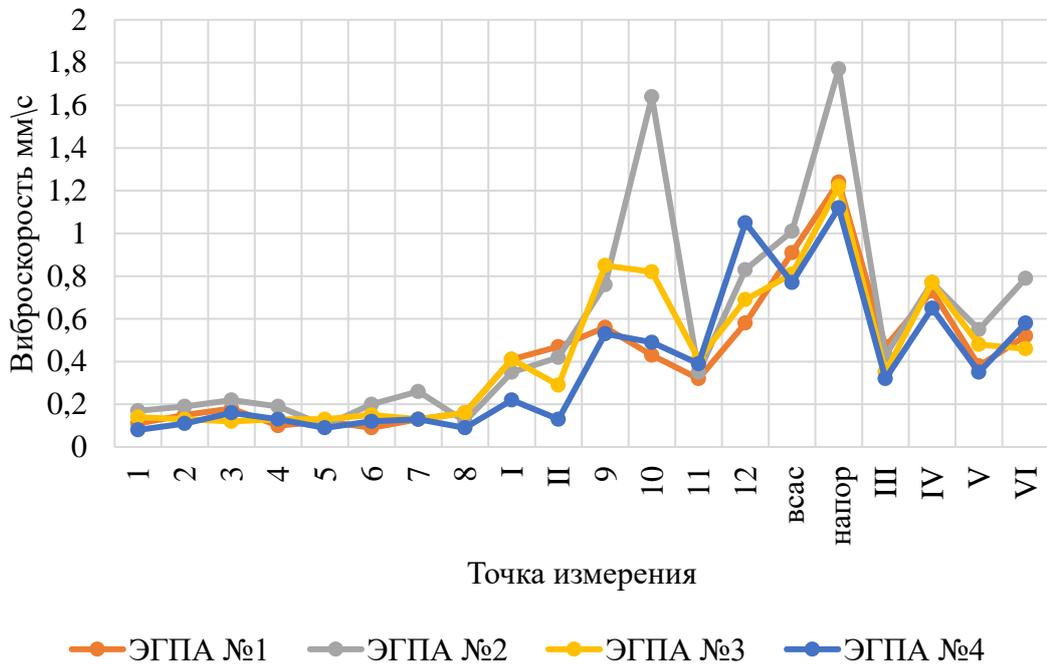
Рис. 15. Схема расположения точек измерения вибрации.

ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р НЦ 220-11-1СМП

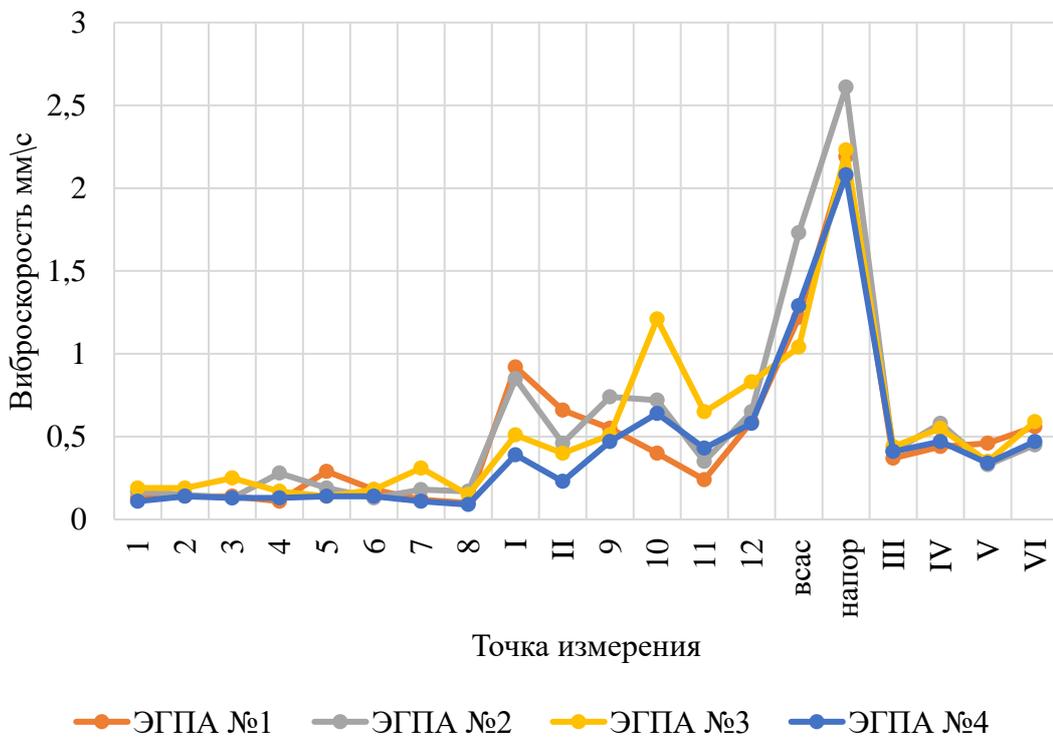
					Оценки напряженно-деформированного состояния	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

3.1.3. Результаты замеров СКЗ виброскорости

замер СКЗ в направлении X



замер СКЗ в направлении Y



замер СКЗ в направлении Z

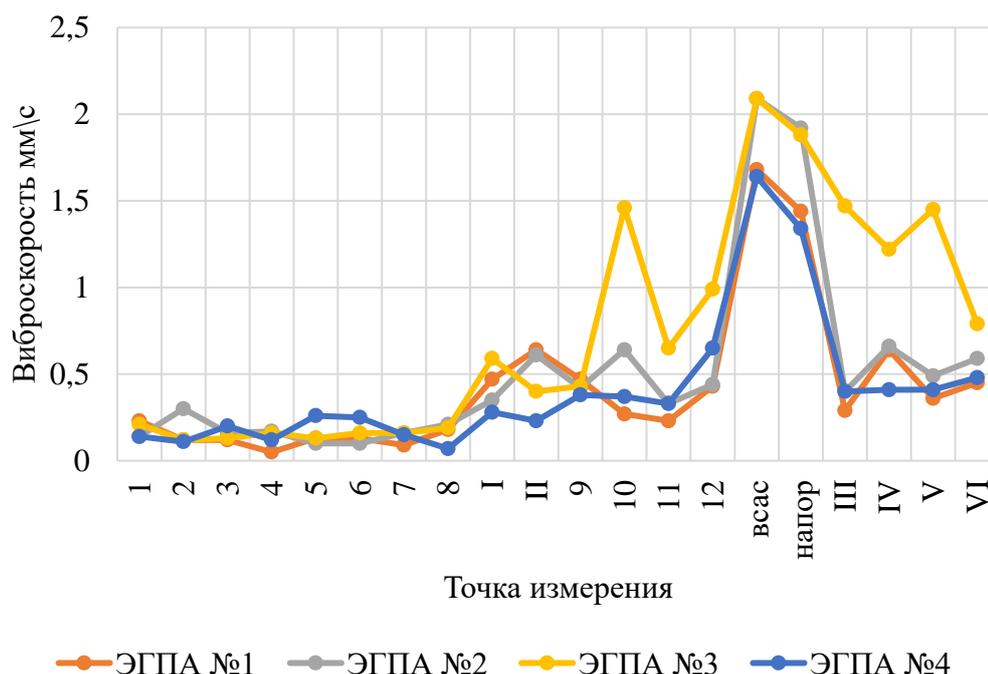


Рис. 16. Результаты замеров СКЗ виброскорости для ЭГПА 1-4, а-направлениях x, y, z.

Можно сделать вывод, что точками, с повышенными значениями являются точки, расположенные на линии нагнетания, особое внимание стоит уделить точкам, находящимся вблизи всаса и напора, в них наблюдаются наивысшие значения скорости, что может быть вызвано неоднородностью режима движения среды в данной зоне. Такие точки требуют внимания. Согласно СТО Газпром 2-2.3-324-2009 некоторые точки находятся в диапазоне В1, некоторые значения граничат с зоной С1, трубопроводы и агрегаты, находящиеся в данной зоне пригодны к длительной эксплуатации, но имеются конструкционные и эксплуатационные условия, способные привести к ухудшению технического состояния. Стоит отметить, что данные границы зон вибродиагностики согласно условия должны быть установлены по соглашению между изготовителем и потребителем машины. Однако использование информации об установленных границах зон позволяет избежать ненужных затрат на снижение виброактивности установок и предъявления чрезмерно завышенных требований. В некоторых случаях

специфические особенности конкретной установки допускают установление иных границ (более низких или более высоких).

					Оценки напряженно-деформированного состояния	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

4. Математическая модель ЭГПА

На основании представленных данных об ЭГПА-4,0/8200-56/1,26 составлена схема для математической модели [17] состоящий из трех основных перемещающихся при работе элементов, имеющих массу m_i , а также определенные динамические и конструкционные параметры. АД-асинхронный двигатель представленный на схеме цифрой I, муфта, представленная на схеме цифрой II и ГТУ-газотурбинная установка, представленная на схеме цифрой III. Каждый элемент системы имеет 4 степени свободы, а именно может перемещаться по оси X, Y и Z, а также вращение, то есть изменение угла φ . Элементы схемы представлены на рисунке 16.

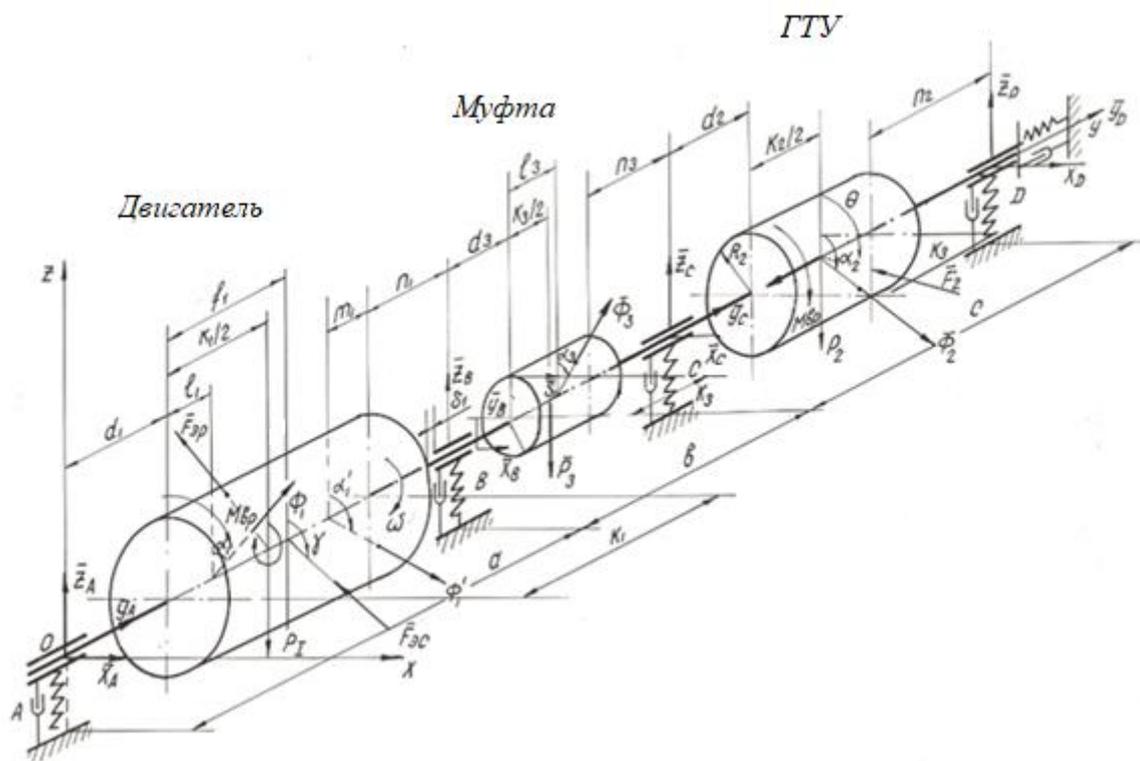


Рис. 17. Общая схема электродвигателя, ГТУ и муфты

В данной системе обобщенной координатой будет [18] являться угол

					Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Толстов О.В.			Математическая модель	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					50	123
Консульт.						ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

поворота φ (двигатель асинхронный, а значит углы поворота у двигателя, муфты, ГТУ могут изменяться).

Введем обозначения для системы:

тело I (двигатель)

O – начало координат;

d_1 – расстояние от подшипниковой опоры в точке A до торца ротора двигателя, м;

l_1 – расстояние от торца ротора двигателя до траектории приложения сил дисбаланса Φ_1 , м;

$M_{вр}$ – момент вращения на валу ротора двигателя, Н·м;

φ – угол поворота ротора двигателя, град.;

Φ_1 – силы дисбаланса ротора двигателя, Н;

ω – угловая скорость ротора двигателя, об/сек;

\vec{P}_1 – вес тела ротора двигателя, Н;

f_1 – расстояние от торца статора двигателя до точки приложения результирующей воздействия электромагнитной силы статора $\vec{F}_{эс}$, м;

$\vec{F}_{эс}$ – электромагнитная сила статора, Н;

$\vec{F}_{эр}$ – электромагнитная сила действия ротора на статор, Н;

γ – угол воздействия электродвижущей силы статора на ротор двигателя, град;

Φ'_1 – силы дисбаланса ротора двигателя, Н;

m_1 – расстояние от воздействия силы дисбаланса Φ'_1 , м;

a – расстояние между подшипниковыми опорами, м;

K_1 – длина ротора двигателя, м;

R – сила реакции опоры, Н.

тело II (ГТУ)

d_2 – расстояние от переднего подшипника насоса до торцевого уплотнения турбины, м;

R_2 – радиус рабочего колеса турбины, м;

$M_{вр}$ – момент вращения на валу турбины, Н·м;

$\vec{\Phi}_2$ – силы дисбаланса рабочего колеса турбины, Н;

θ – угловая скорость рабочего колеса турбины об/сек;

$\vec{F}_{ос}$ – сила сопротивления торцевого уплотнения, Н;

\vec{F}_2 – радиальная составляющая гидродинамических сил, Н;

\vec{P}_2 – вес ротора турбины, Н;

α_2 – угол между вектором сил дисбаланса ротора турбины и нормалью к оси его вращения, град;

c – расстояние между опорными подшипниками турбины, м;

n_2 – расстояние от центра тяжести рабочего вала турбины до его заднего подшипника, м;

K_2 – ширина рабочего колеса, м;

тело III (муфта)

l_3 – расстояние от торца муфты до траектории приложения сил дисбаланса $\vec{\Phi}_3$, м;

$\vec{\Phi}_3$ – силы дисбаланса муфтового соединения Н;

$K_3/2$ – расстояние от торца муфты до ее центра тяжести, м;

\vec{P}_3 – вес муфты, Н;

α_3 – угол между векторами сил инерции от дисбаланса тела III (муфта) и нормалью к оси ее вращения, град;

b – расстояние между передними подшипниками насоса и двигателя;

n_3 – расстояние от торца муфты до переднего подшипника насоса, м;

					<i>Математическая модель</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

K_3 – расстояние от центра тяжести рабочего колеса насоса до его заднего подшипника, м.

В каждой из точек на ось x действуют силы реакции опоры, представляющие из себя силы упругости и демпфирования и веса относительно неподвижной оси: R, P .

На ось y : M, P, R .

На ось z : P, R .

4.1.1. Применение уравнения Лагранжа 2 рода для составления математической модели

Для получения выражений движения системы под действием внешних обобщенных сил используем уравнение Лагранжа 2 рода в обобщенных координатах. Механическая система [19] состоит из n материальных точек, положение каждой из которых определяется в пространстве трех измерений координатами: $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_n, y_n, z_n$.

Запишем уравнение Лагранжа для обобщенных координат:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_{ijk}} \right) + \frac{\partial T}{\partial q_{ijk}} - \frac{\partial E_p}{\partial q_{ijk}} = Q_{ijk} \quad (1)$$

где $Q_{ijk} = \frac{A_i}{\partial q_{ijk}}$, а A_i представляет сумму произведений внешних сил. T -

кинетическая энергия системы. E_p - потенциальная энергия системы.

Исходя из представленного выражения (1), для составления движения системы необходимо определить его кинетическую, потенциальную энергию, а также сумму всех внешних обобщенных сил, действующих на систему.

4.1.3. Кинетическая энергия системы

Кинетическая энергия системы представляет собой сумму составляющих продольного и вращательного движения:

$$T_{\text{системы}} = T_{\text{поступательное}} + T_{\text{вращательное}} \quad (2)$$

Кинетическая энергия поступательного движения:

					Математическая модель	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$T_{\text{поступательное}} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1}{2} m \cdot (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) \quad (3)$$

Кинетическая энергия вращательного движения:

$$T_{\text{вращательное}} = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{I \cdot \dot{\varphi}^2}{2} \quad (4)$$

$$I = \frac{m \cdot R^2}{2}$$

Уравнение кинетической энергии системы совершает поступательно-вращательное движение:

$$T_{\text{системы}} = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} I_i \cdot (\dot{\varphi}_i^2) + \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} m_i \cdot (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 + \dot{z}_i^2) \quad (5)$$

В обобщенных координатах выражение для 3 тел с 4 степенями свободы: x, y, z, φ поступательно-вращательного движения принимает вид:

$$T_{\text{системы}} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 I_i \cdot \dot{\varphi}_i^2 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 m_i \cdot \dot{q}_{jk}^2 \quad (6)$$

Где m_i – массы двигателя, муфты и ГТУ, кг;

I_i – моменты инерции тела относительно оси вращения, кг·м²;

q_{ijk} – формализация обобщенных координат системы, количество которых равно 4. i (1,...,3) – тело; 1 – двигатель; 2 – муфта; 3 – ГТУ. j (1,...,4) – обобщенные координаты; 1 – x; 2 – y; 3 – z; 4 – φ; k (1,...,4) – точка приложения; 1 – A; 2 – B; 3 – C; 4 – D.

4.1.2. Потенциальная энергия системы

Введем коэффициенты жесткости и демпфирования: k_{jk}, λ_{jk} тогда уравнение потенциальной энергии системы выглядит следующим образом :

					Математическая модель	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$E_p \text{ системы} = \sum_{i=1}^3 P_i \cdot \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 q_{jk} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 k_{jk} \cdot q_{ijk}^2 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 \lambda_{jk} \cdot \dot{q}_{ijk} \cdot q_{ijk} \quad (7)$$

Где P_i – вес тела i ; k_{jk}, λ_{jk} – коэффициенты жесткости и демпфирования в j точке по направлению k .

4.1.3. Главный вектор и момент сил

При движении системы и действующих на нее внешних неоднородных сил, возникают условия дисбаланса. Дисбаланс может быть статическим, при котором ось вращения и ось инерции тела параллельны, моментным, когда ось вращения пересекается с осью инерции, и, динамическим, который является общим случаем, при задании параметров которого могут возникать статический и моментный дисбаланс. Оси инерции и вращения при динамическом дисбалансе пересекаются. Главный момент и главный вектор динамического дисбаланса записывается выражениями 8 и 9:

$$\sum M_{Gi} = l_i \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{A_i} \neq 0 \quad (8)$$

$$\sum F_{Gi} = m_i R_i \omega^2 \cdot \sqrt{1 - \lambda_i^2 + 2\lambda_i \cos \alpha'_1} \neq 0 \quad (9)$$

Где $A_i = [m_i R_i \cdot \lambda_i \sin(\alpha'_i - \alpha_{ic})]^2 + \left[\frac{\sum \Phi_i \cdot \lambda_i \cos(\alpha'_i - \alpha_i) - \cos \alpha_{ic}}{2 \cdot \omega^2 \cdot \lambda_i \cos(\alpha'_i - \alpha_c) + \cos \alpha_{ic}} \right]^2$, $\alpha_{ic} = (\Phi_i \wedge \sum \Phi)$

4.1.4. Работа обобщенных сил

Работу совершают обобщенные силы и моменты [20], которые в данном случае выражены через главный вектор F_2 сил и главный момент сил M_2 , а также момент вращения тела. Момент сопротивления полагаем не значительным т.к. установка находится на магнитных подвесах.

Работа обобщенных сил будет выглядеть следующим образом:

					Математическая модель	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$Q_{ijk} = \frac{\partial A_{ijk}}{\partial q_{ijk}} = \sum_{i=1}^3 M_i \cdot \varphi_i + \sum_{i=1}^3 M_{\Gamma i} \cdot \varphi_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 F_{\Gamma l i} \cdot q_{jk} \quad (10)$$

Подставив выражения 6,7 и 10 в уравнение 1, получим уравнение Лагранжа второго рода для системы из 3 тел с 16 степенями свободы в обобщенных координатах:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 I_i \cdot \dot{q}_{jk}^2 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 m_i \cdot \dot{q}_{jk}^2 \right)}{\partial \dot{q}_{jk}} \right) \\ & + \frac{\partial \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 I_i \cdot \dot{\varphi}_i^2 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 m_i \cdot \dot{q}_{jk}^2 \right)}{\partial q_{jk}} \\ & - \frac{(\partial \sum_{i=1}^3 P_i \cdot \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 q_{jk} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 k_{jk} \cdot q_{jk}^2 + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 \lambda_{jk} \cdot \dot{q}_{jk} \cdot q_{jk})}{\partial q_{jk}} \\ & = \frac{\partial (\sum_{i=1}^3 M_i \cdot q_{jk} + \sum_{i=1}^3 M_{\Gamma i} \cdot q_{jk} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 F_{\Gamma l i} \cdot q_{jk})}{\partial q_{jk}} \end{aligned} \quad (11)$$

Дифференцируя выражение, получим систему ОДУ вида:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^3 I_i \cdot \ddot{q}_{jk} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 m_i \cdot \ddot{q}_{jk} - \sum_{i=1}^3 P_i - \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 k_{jk} \cdot q_{jk} - \\ & \frac{1}{2} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 \lambda_{jk} \cdot \dot{q}_{ijk} - \sum_{i=1}^3 M_i - \sum_{i=1}^3 M_{\Gamma i} - \sum_{i=1}^3 F_{\Gamma l i} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Выражение 11 записанное с индексацией представляет собой систему и является аналитическим решением математической модели:

$$\begin{cases} (I_1 + I_1 + I_1) \cdot \ddot{q}_{44} + (m_1 + m_1 + m_1) \cdot \ddot{q}_{44} - \frac{1}{2} \lambda_{44} \cdot \dot{q}_{44} - k_{44} \cdot q_{44} - \sum_{i=1}^3 P_i - \sum_{i=1}^3 M_i - \sum_{i=1}^3 M_{\Gamma i} - \sum_{i=1}^3 F_{\Gamma l i} = 0 \\ (I_1 + I_1 + I_1) \cdot \ddot{q}_{12} + (m_1 + m_1 + m_1) \cdot \ddot{q}_{12} - \frac{1}{2} \lambda_{12} \cdot \dot{q}_{12} - k_{12} \cdot q_{12} - \sum_{i=1}^3 P_i - \sum_{i=1}^3 M_i - \sum_{i=1}^3 M_{\Gamma i} - \sum_{i=1}^3 F_{\Gamma l i} = 0 \\ \dots \\ (I_1 + I_1 + I_1) \cdot \ddot{q}_{44} + (m_1 + m_1 + m_1) \cdot \ddot{q}_{44} - \frac{1}{2} \lambda_{44} \cdot \dot{q}_{44} - k_{44} \cdot q_{44} - \sum_{i=1}^3 P_i - \sum_{i=1}^3 M_i - \sum_{i=1}^3 M_{\Gamma i} - \sum_{i=1}^3 F_{\Gamma l i} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

4.2.1. Результаты моделирования

На основании вышеизложенного были получены результаты моделирования движения системы в программном комплексе MathCad [21].

					Математическая модель	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Некоторые из результатов численных расчетов для точки «А» представлены на графиках изменения амплитуд, скорости и ускорения составляющих колебаний по времени. на рис. 18–35.

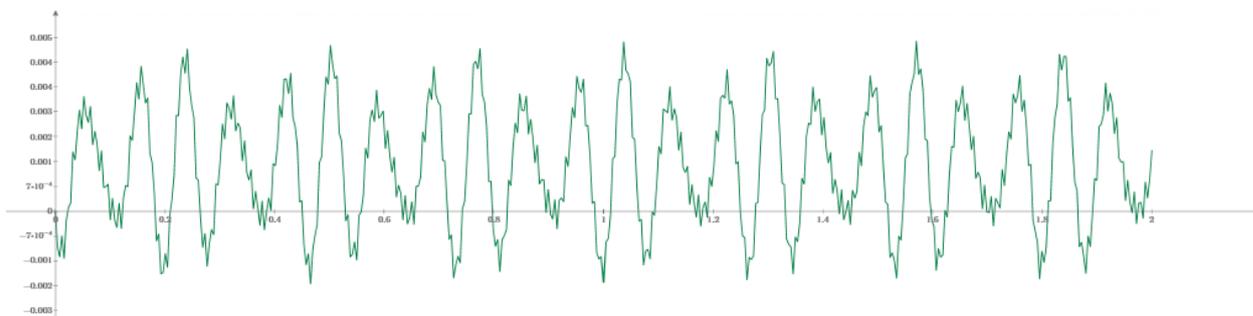


Рис. 18. Изменение амплитуды колебаний составляющей X в зависимости от времени в точке А.

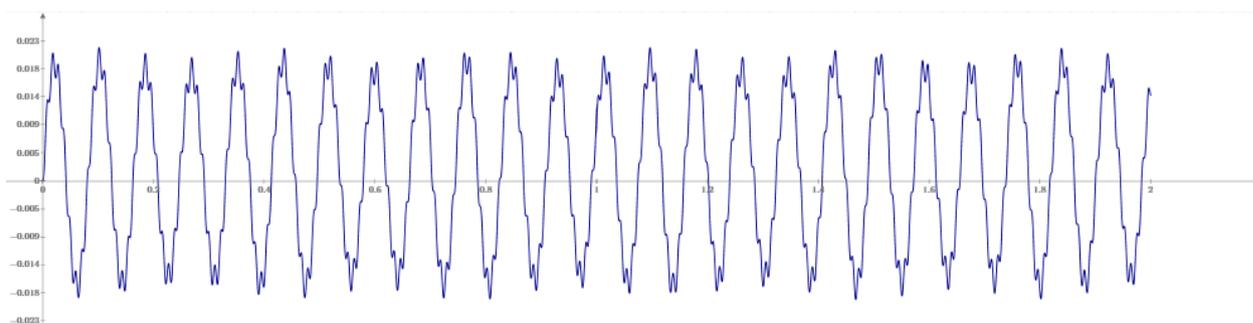


Рис. 19. Изменение амплитуды колебаний составляющей Y в зависимости от времени в точке А.

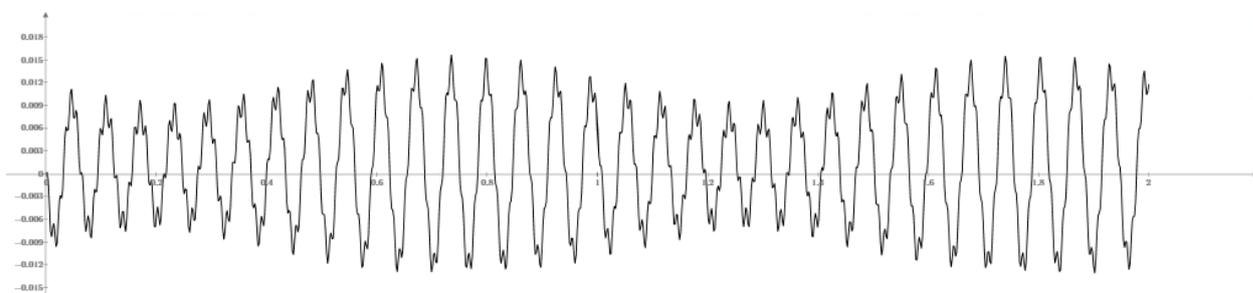


Рис. 20. Изменение амплитуды колебаний составляющей Z в зависимости от времени в точке А.

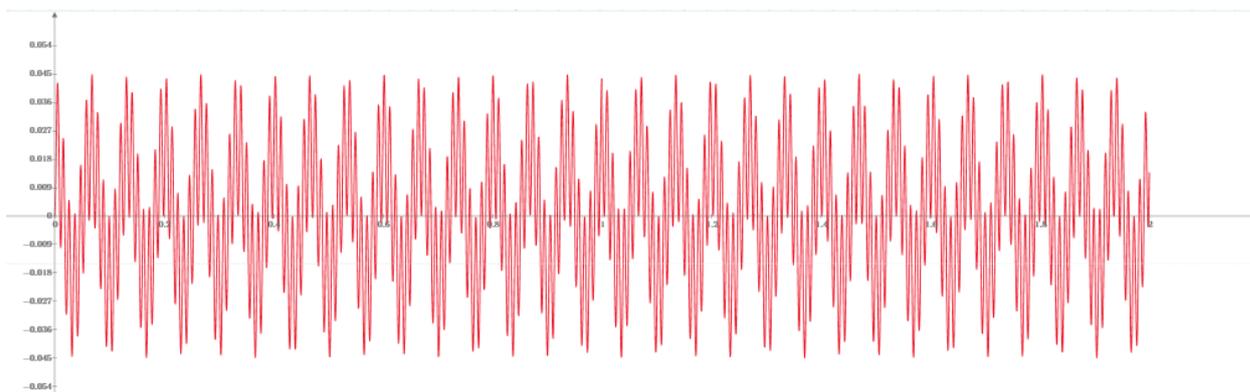


Рис. 21. Изменение амплитуды колебаний составляющей φ в зависимости от времени в точке А.

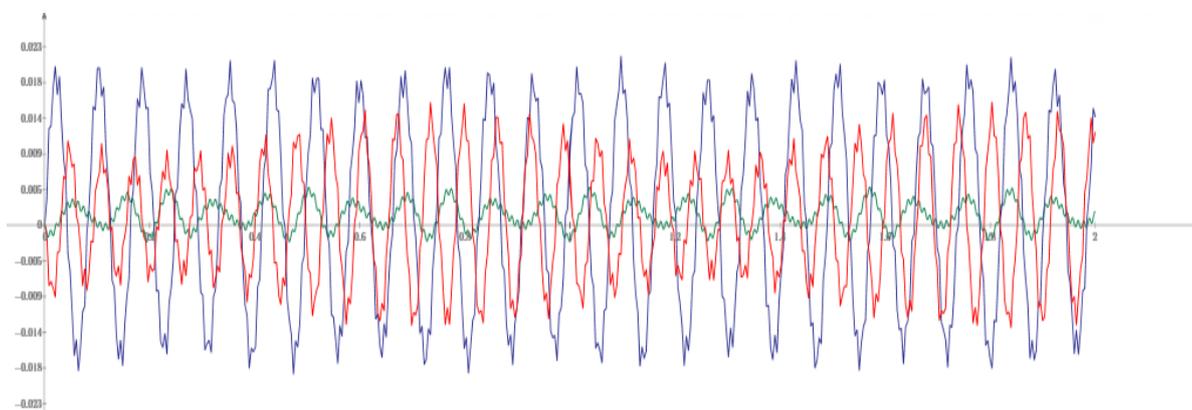


Рис. 22. Наложение амплитуд перемещения составляющих в точке А.

Результаты исследования переходных процессов в системе позволяют установить зависимость возвратно-поступательного перемещения элементов системы по оси x , y , z и их угла наклона φ от времени.

Изменения характеристик перемещения имеют полигармонический характер, с определенным числом циклов. На рисунке 22 можно выделить зоны сложения амплитуд колебаний, происходящее в точках $t=0,4$, $t=0,65$, $t=1,85$ сек, такие сложения происходят многократно на выбранном участке времени.



Рис. 23. Изменение скорости колебаний составляющей X в зависимости от времени в точке A.

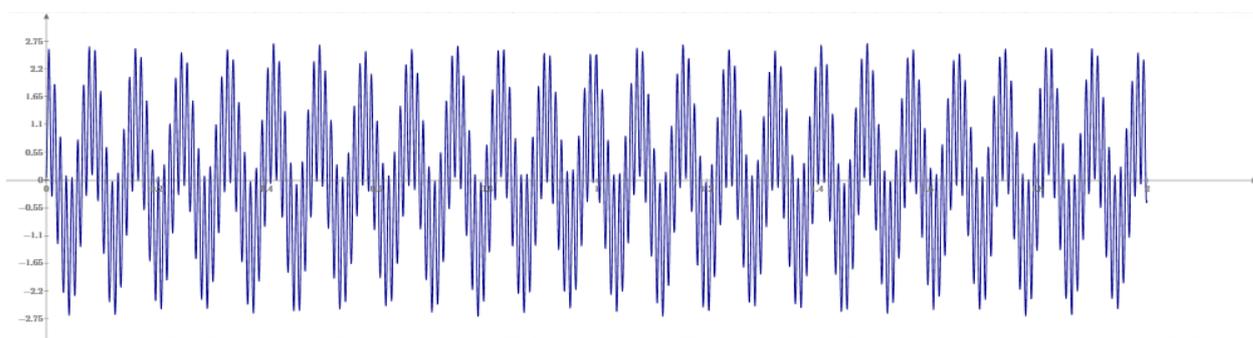


Рис. 24. Изменение скорости колебаний составляющей Y в зависимости от времени в точке A.

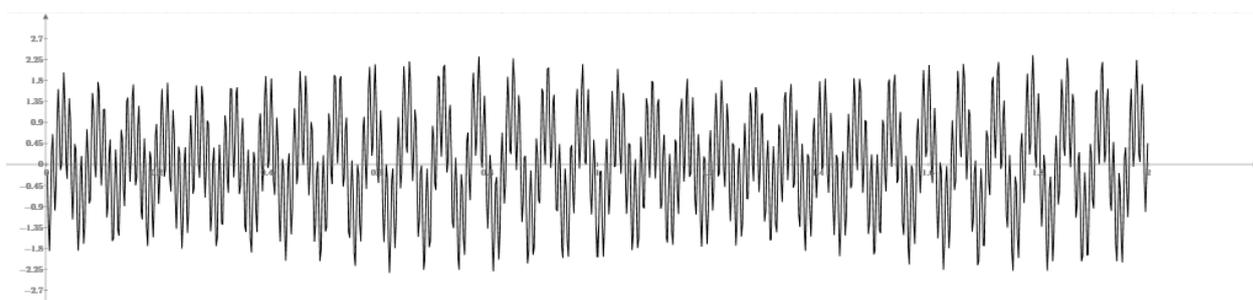


Рис. 25. Изменение скорости колебаний составляющей Z в зависимости от времени в точке A.

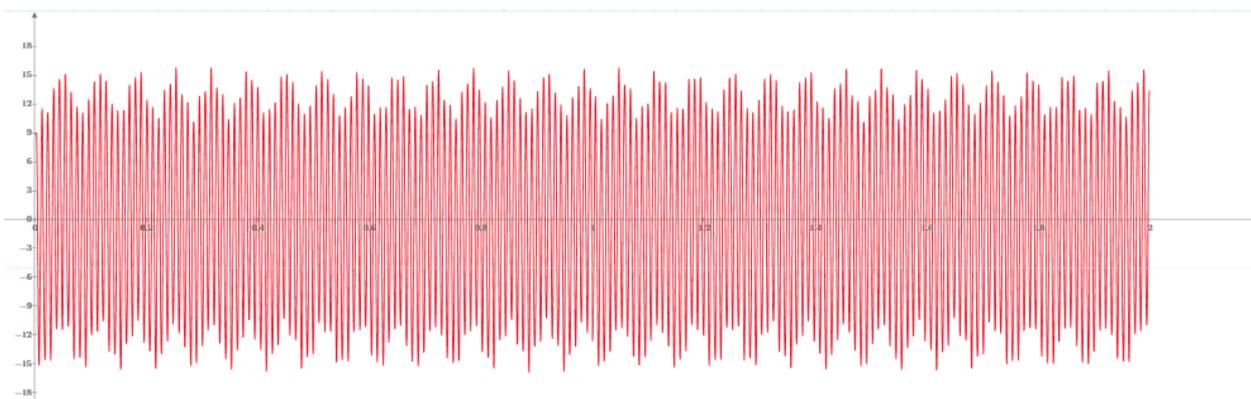


Рис. 26. Изменение скорости колебаний составляющей φ в зависимости от времени в точке А.

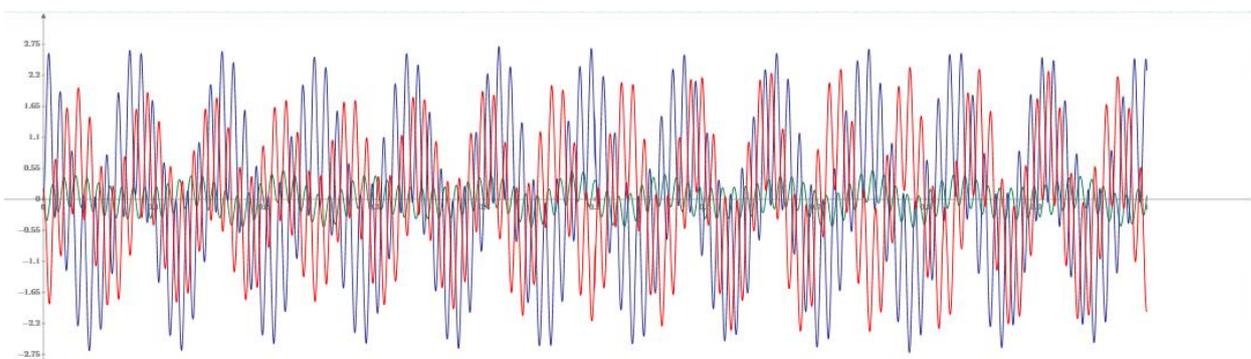


Рис. 27. Наложение скорости колебаний составляющих в зависимости от времени в точке А.

Результаты исследования переходных процессов в системе позволяют установить зависимость скорости возвратно-поступательного перемещения элементов системы по оси x , y , z и их угла наклона φ от времени.

Изменения составляющих скорости колебаний имеют полигармонический характер, с определенным числом циклов.

Применим данную математическую модель к выбору оптимальных конструкционных и эксплуатационных параметров, изменив скорость вращения элементов на 30%. Тогда графические результаты моделирования примут вид:

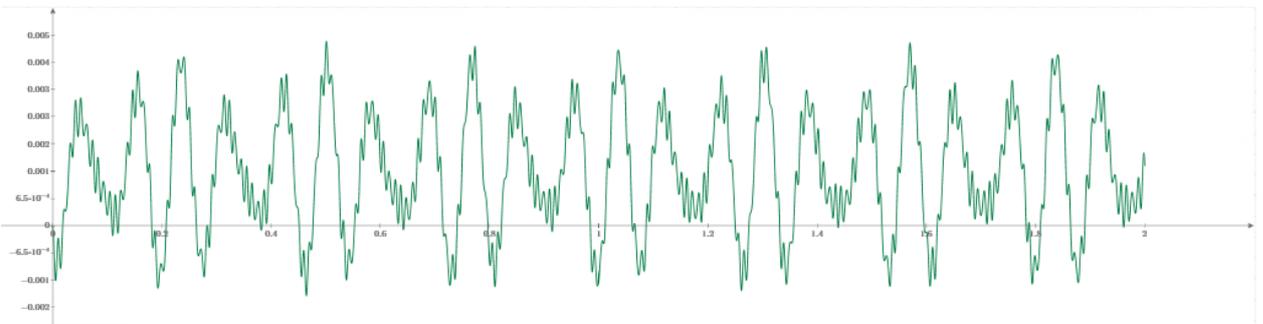


Рис. 28. Изменение амплитуды колебаний составляющей X в зависимости от времени в точке A.

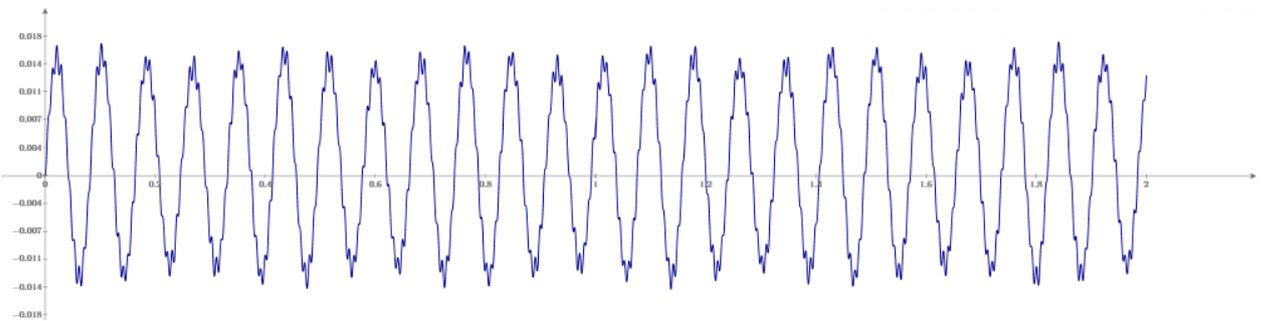


Рис. 29. Изменение амплитуды колебаний составляющей Y в зависимости от времени в точке A.

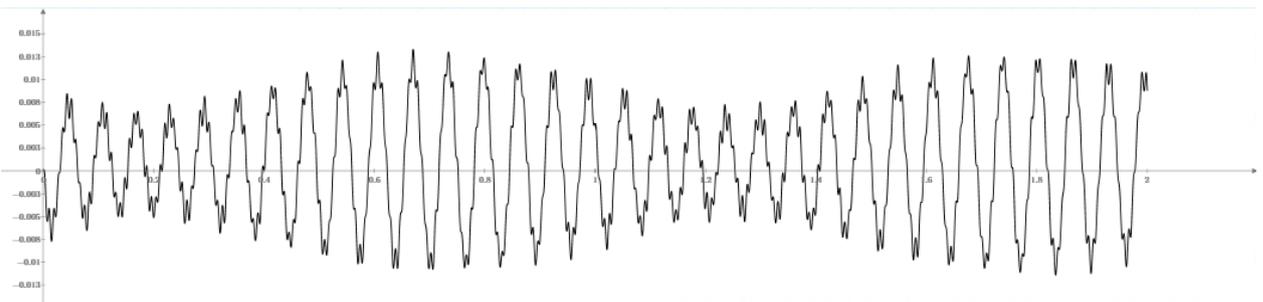


Рис. 30. Изменение амплитуды колебаний составляющей Z в зависимости от времени в точке A.

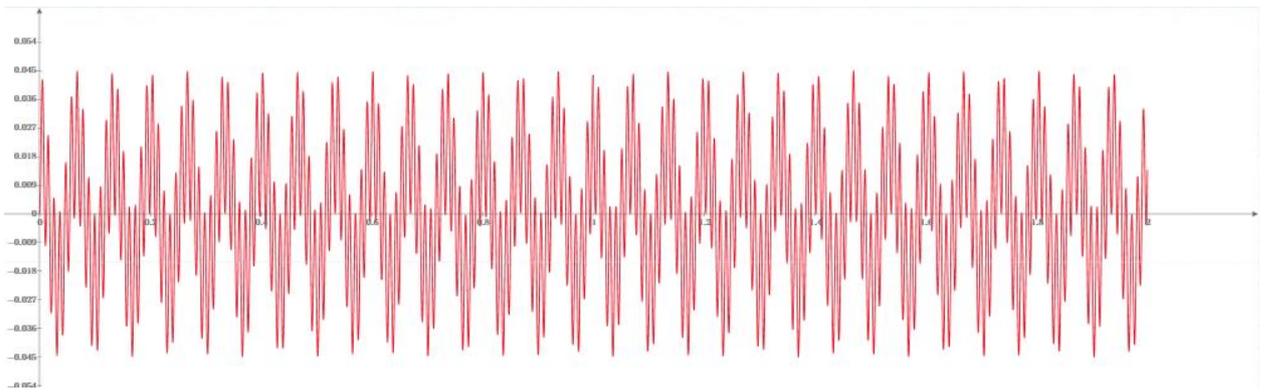


Рис. 31. Изменение амплитуды колебаний составляющей φ в зависимости от времени в точке А.

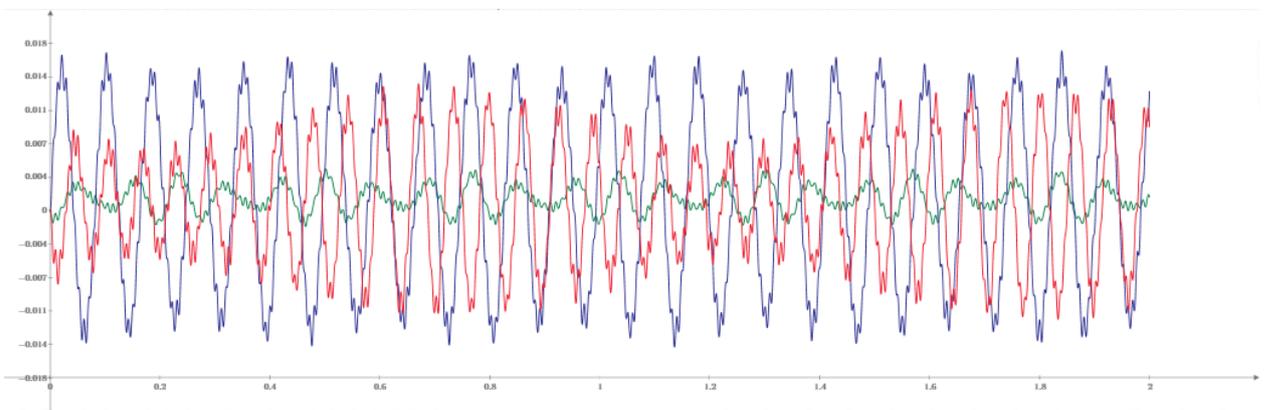


Рис. 32. Наложение составляющих колебаний в зависимости от времени в точке А.

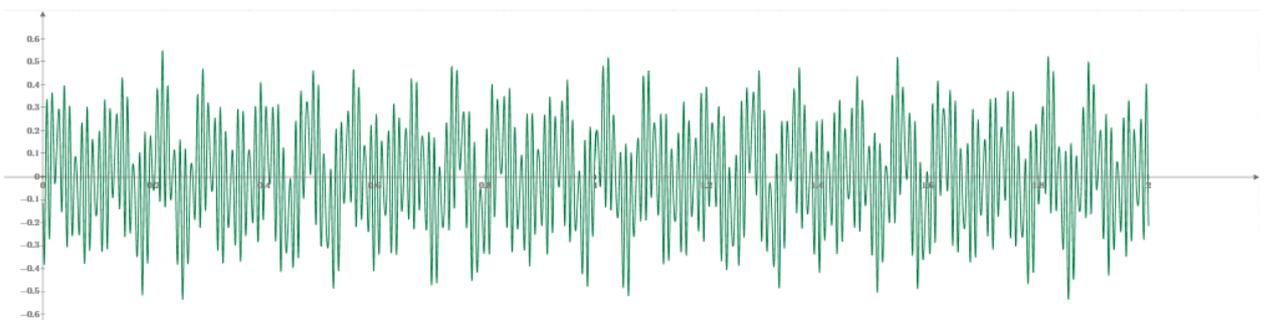


Рис. 33. Изменение скорости колебаний составляющей X в зависимости от времени в точке А.

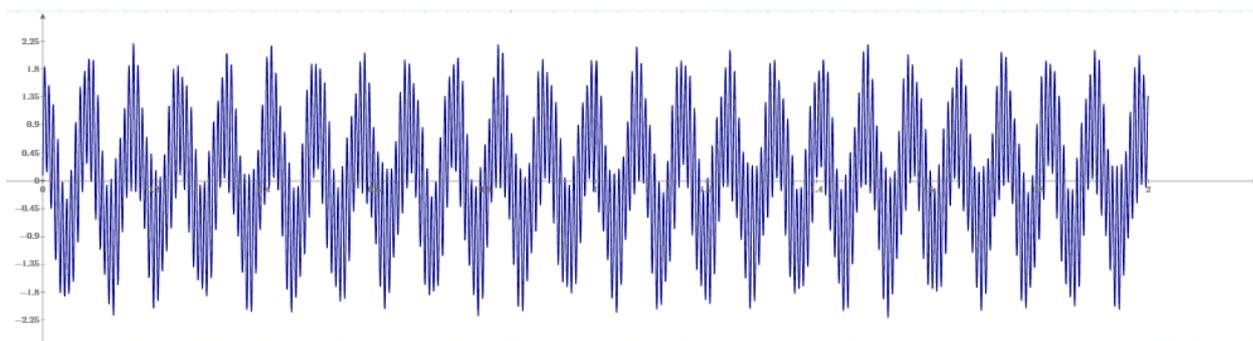


Рис. 34. Изменение скорости колебаний составляющей Y в зависимости от времени в точке A .

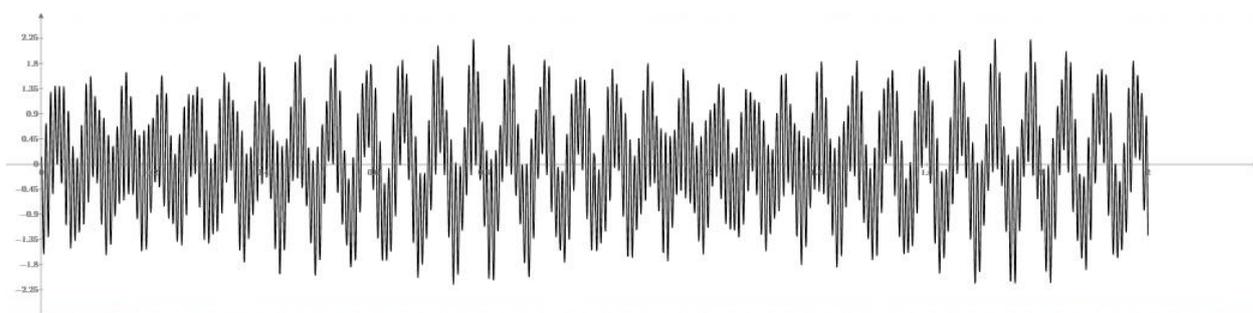


Рис. 35. Изменение скорости колебаний составляющей Z в зависимости от времени в точке A .

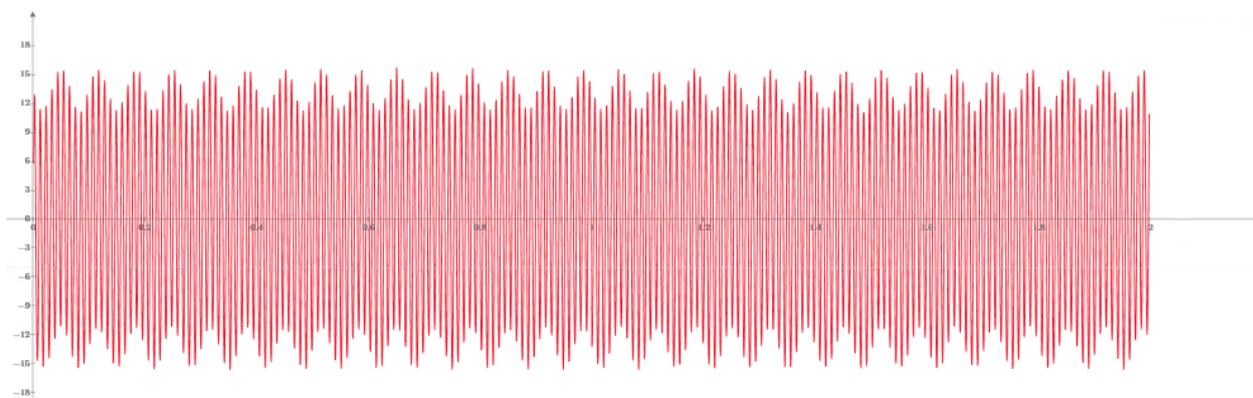


Рис. 36. Изменение скорости колебаний составляющей φ в зависимости от времени в точке A .

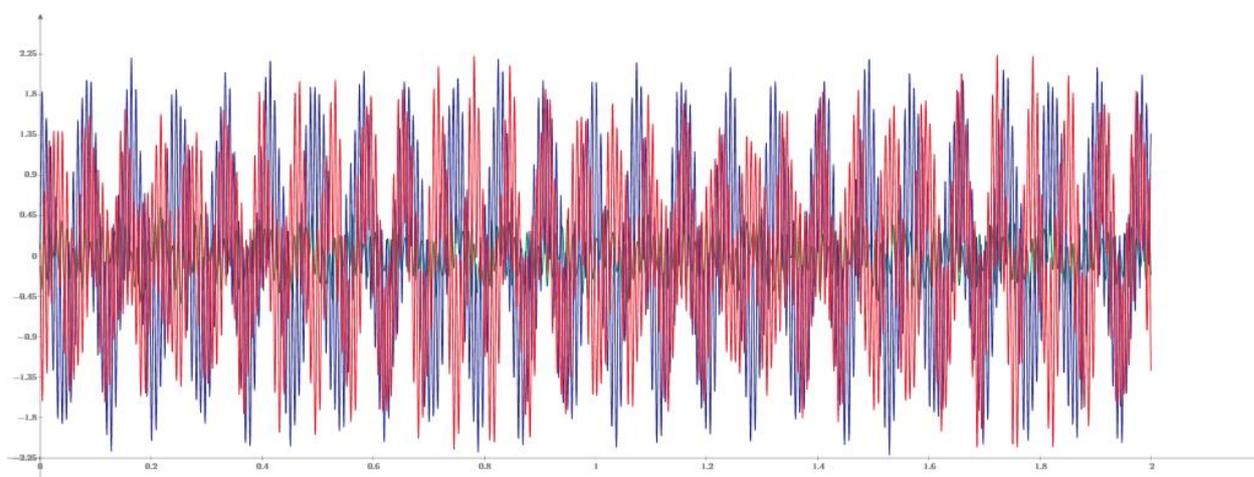


Рис 37. Наложение скорости колебаний составляющих в зависимости от времени в точке А.

В данном случае видна сложная характеристика изменений полигармонических колебаний. Амплитуда колебаний, при увеличении угловой скорости, а также период колебаний увеличиваются.

Результаты исследования переходных процессов в системе позволяют установить зависимость возвратно-поступательного перемещения, а также скорости возвратно-поступательного движения элементов системы по оси x , y , z и их угла наклона ϕ от времени.

Изменения составляющих скорости колебаний имеют полигармонический характер, с определенным числом циклов.

Опираясь на представленные результаты можно судить о вкладе скорости вращения на характеристики движения, отметим, что при повышении угловой скорости вращения каждого элемента, как и ожидалось, пропорционально повысились и амплитуды перемещений и скоростей перемещений составляющих, существенно не оказав влияния на вид кривой.

Применим случай использования муфты, не обеспечивающей жесткую связь, которая позволит изменить скорость вращения двигателя без изменения скорости муфты и турбины. Скорость вращения двигателя увеличим на 30%. Тогда графические результаты моделирования примут вид:

					<i>Математическая модель</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

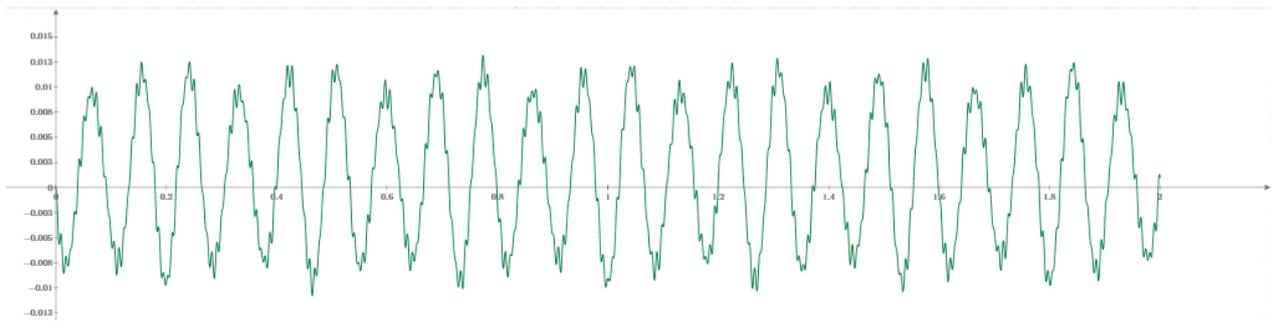


Рис. 38. Изменение амплитуды колебаний составляющей X в зависимости от времени в точке A .

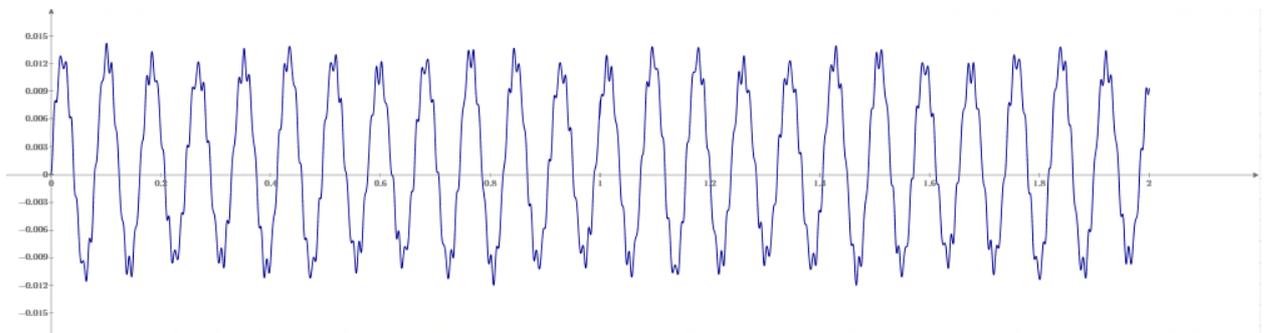


Рис. 39. Изменение амплитуды колебаний составляющей Y в зависимости от времени в точке A .

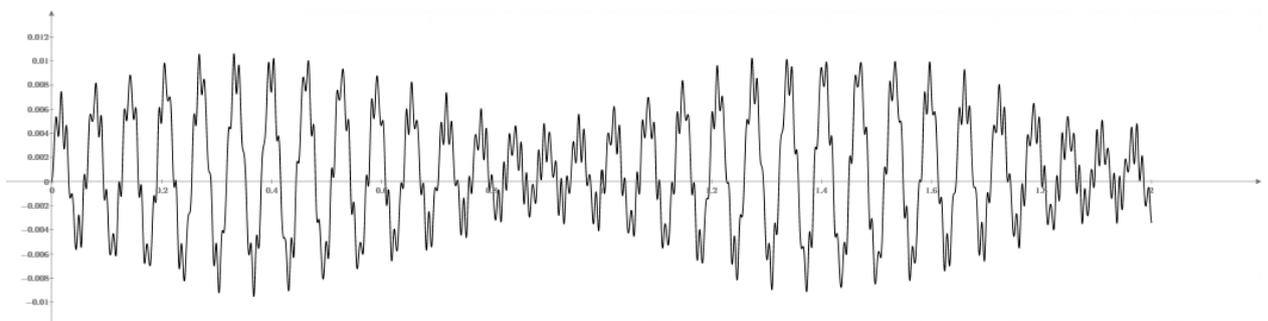


Рис. 40. Изменение амплитуды колебаний составляющей Z в зависимости от времени в точке A .

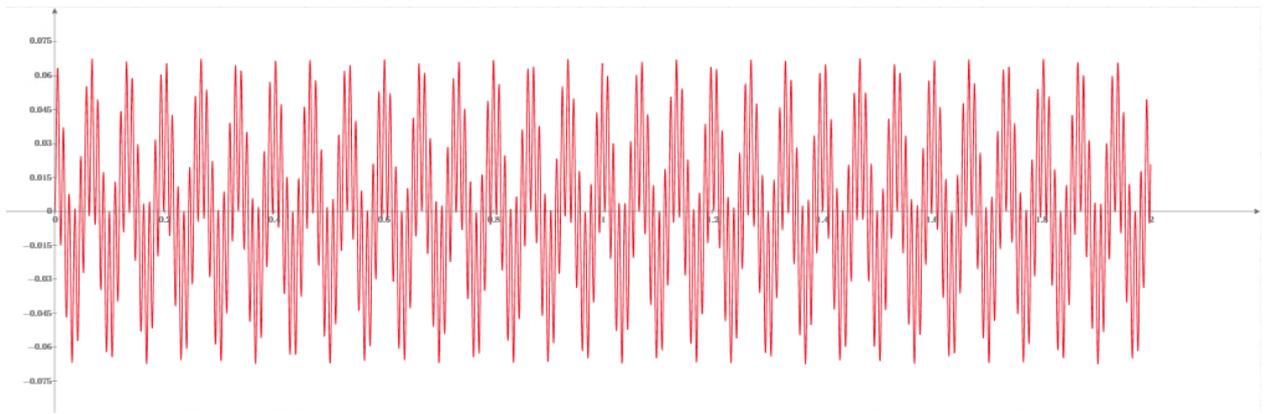


Рис. 41. Изменение амплитуды колебаний составляющей φ в зависимости от времени в точке А.

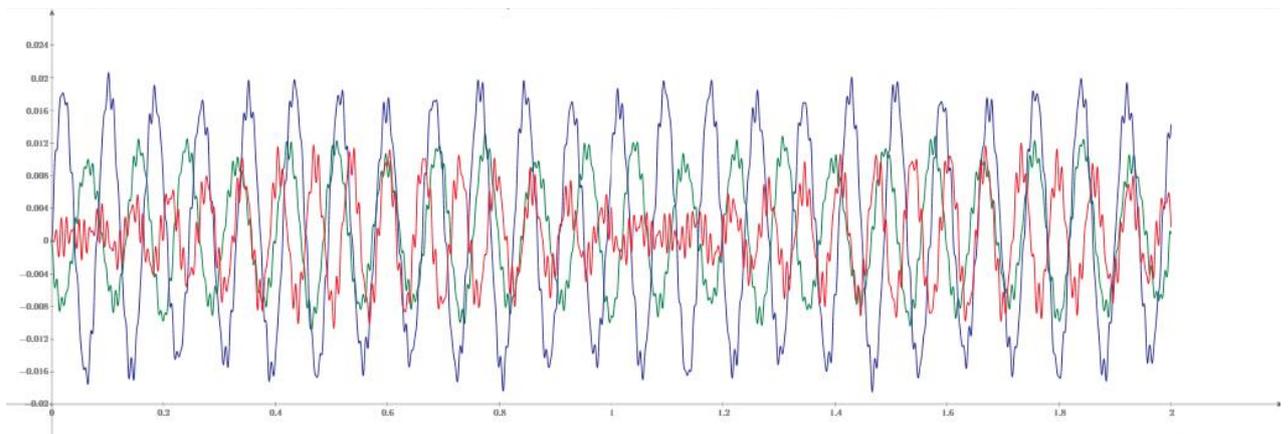


Рис. 42. Наложение составляющих колебаний в зависимости от времени в точке А.

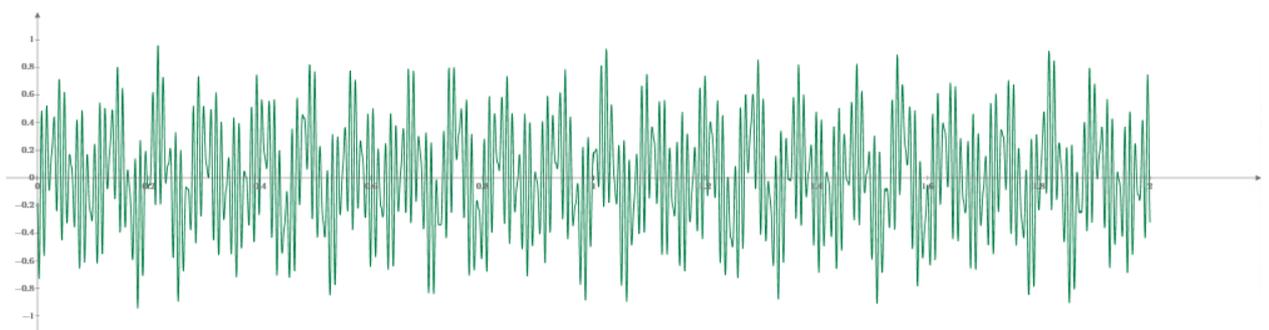


Рис. 43. Изменение скорости колебаний составляющей X в зависимости от времени в точке А.

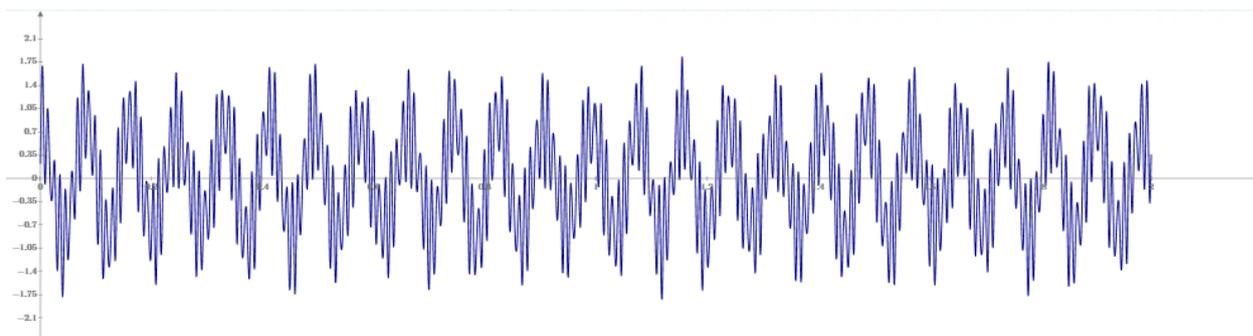


Рис. 44. Изменение скорости колебаний составляющей Y в зависимости от времени в точке A .

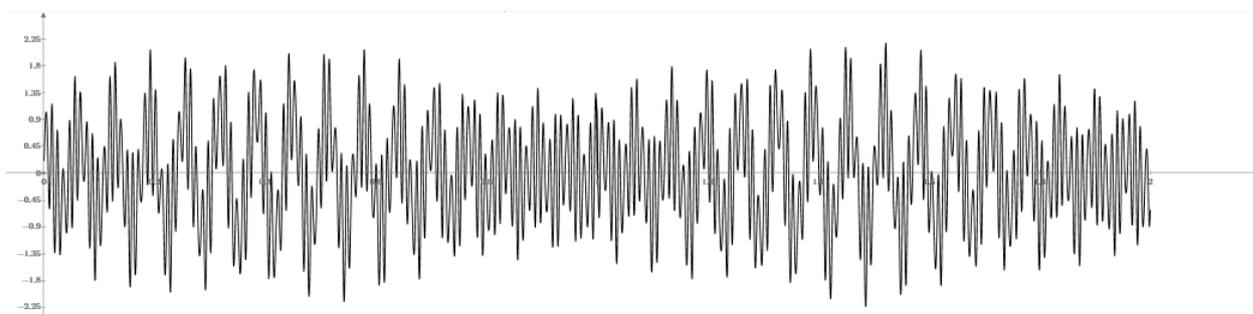


Рис. 45. Изменение скорости колебаний составляющей Z в зависимости от времени в точке A .

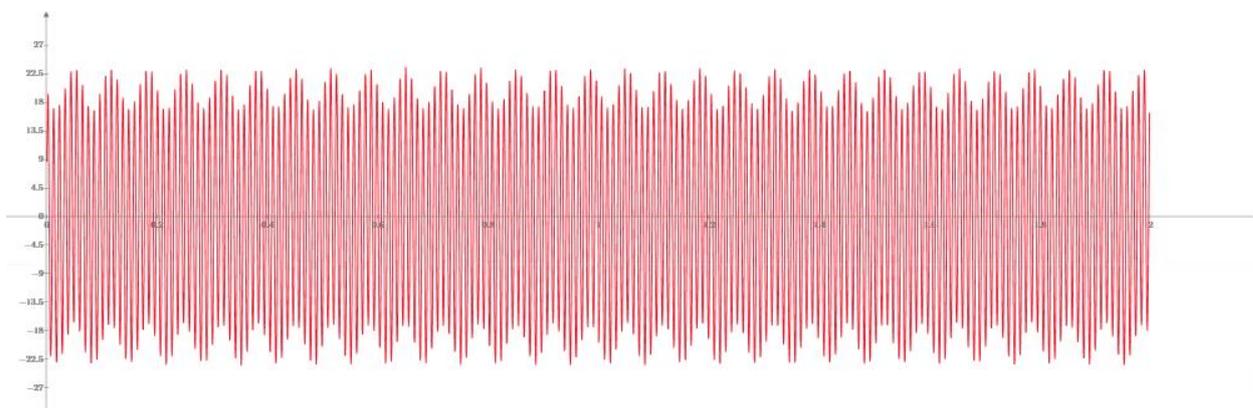


Рис. 46. Изменение скорости колебаний составляющей ϕ в зависимости от времени в точке A .

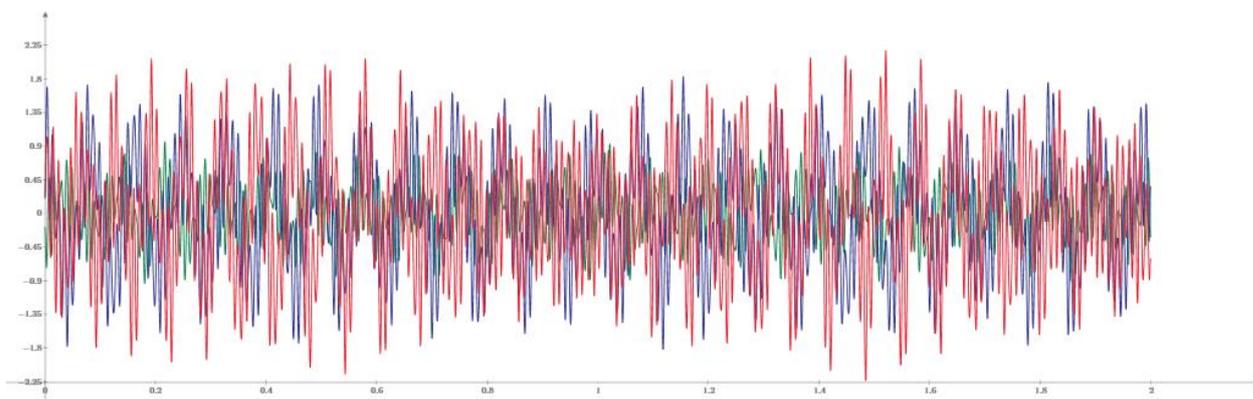


Рис. 47. Изменение скорости колебаний в зависимости от времени в точке А.

При использовании муфты, которая позволяет изменять скорость вращения двигателя, как отдельного элемента системы, мы наблюдаем изменение вида кривой составляющей X, изменение вида кривой вызвано изменением распределения нагрузок, что повлекло за собой увеличение количества сложений амплитуды данной составляющей. Составляющие Y, Z, φ , также изменили вид перемещения, однако не так значительно. Изменение составляющей X влечет за собой на графике наложения большее количество пульсаций, которое приводит к возрастанию нагрузок в данной точке.

Математическая модель позволяет отследить влияние вибраций на энергоэффективность процесса работы агрегата, а в частности на влияние внешних нагрузок. Для наглядности отобразим значения граничных зон и значения работы обобщенных сил, действующих на агрегат в этих точках, согласно таблице 3.

Таблица 3. Примерные границы зон для машин различных классов (ГОСТ ИСО 10816-1-97) [13].

$v_{r.m.s}$, мм/с	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	
0,28	A	A	A	A	
0,45					
0,71					
1,12	B	B	B	A	
1,8					
2,8	C	C	B	B	
4,5					
7,1	D	D	C	C	
11,2					
18			D	D	D
28					
45				D	

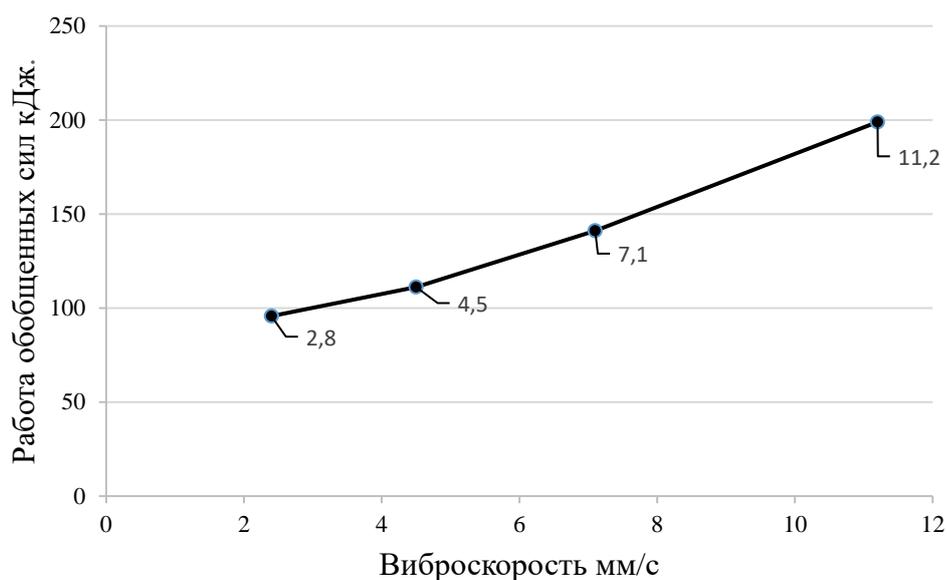
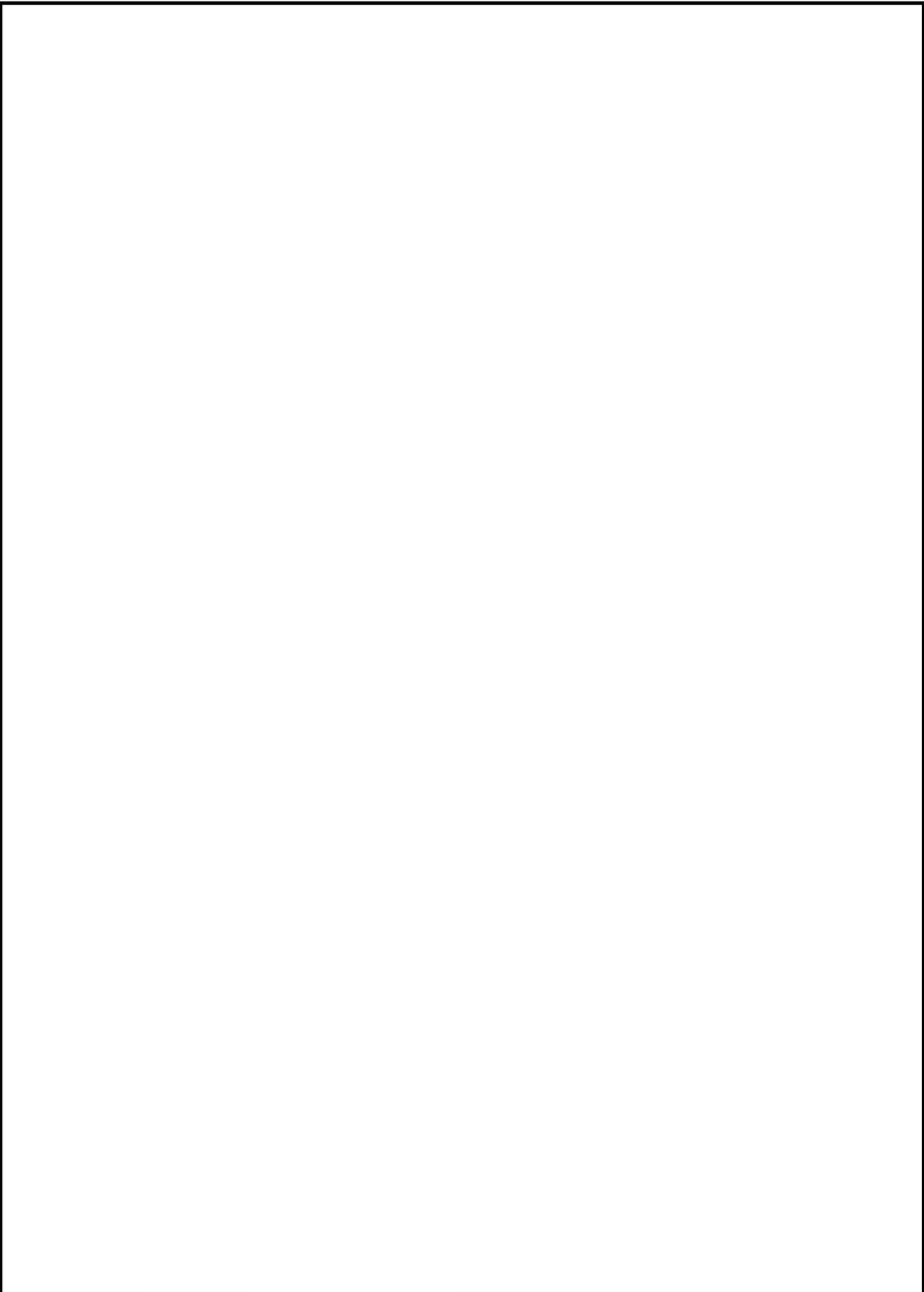


Рисунок 48. Зависимость работы внешних сил от виброскорости.

Как видно из рисунка обобщенные внешние силы оказывают значительное воздействие на энергоэффективность системы, величина виброскорости растет с увеличением виброскорости определенных узлов агрегата, что говорит о необходимости отслеживания данных величин для оценки энергоэффективности работы агрегата.



					<i>Математическая модель</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

Выводы

Вывод: исходя из данных, полученных с помощью предложенной математической модели можно, на основе результатов изменения виброперемещения, виброскорости и виброускорения, при учете работы внешних сил, определять эксплуатационные характеристики, сокращая экономические, энергетические и временные затраты, а также влияние работы обобщенных сил на КПД и энергоэффективность работы агрегата. В результате проделанной работы установлено, что эксплуатация ГПА может сопровождаться наличием неисправностей таких как: дебаланс; расцентровка; работа узлов подшипников или магнитного подвеса при различных условиях эксплуатации.

Разработана математическая модель, на основании которой проанализированы нагрузки, возникающие при эксплуатации ГПА.

Проведена оценка влияния данных нагрузок на эффективность работы самого агрегата и влияние данных нагрузок на работу сопровождающего оборудования.

					<i>Математическая модель</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В процессе эксплуатации, компрессорное оборудование и технологические обвязки подвергаются значительным вибрационным нагрузкам, что приводит к падению КПД компрессора и снижению потребляемой мощности, к значительным энергетическим и экономическим потерям. Правильное и точное проведение вибродиагностики позволяет постоянно контролировать техническое состояние компрессорного оборудования и качество его монтажа, своевременно выявлять дефекты, предотвращать внезапный выход из строя насосов.

В ходе научно-исследовательской работы требуется провести анализ существующих методов и средств измерения вибрации, изучить стандарты, определяющие требования к вибродиагностике компрессорных агрегатов и на основе полученных данных выявить наиболее подходящую измерительную систему для практического применения.

Целью данного раздела ВКР является определение наиболее экономически эффективного средства измерения вибрации.

5.1. Анализ конкурентных технических решений

Объектом анализа является виброанализатор для проведения диагностики технологической обвязки насосного агрегата.

Для сравнения взяты три виброанализатора: MICROLOG GX, КВАРЦ-2, АГАТ-М. В таблице 4 приведены характеристики данных приборов.

Таблица 4 – Технические характеристики виброанализаторов MICROLOG GX, КВАРЦ-2, АГАТ-М.

					<i>Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Толстов О.В.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					72	123
Консульт.		Романюк В.Б.				ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

Прибор	Число каналов	Диапазон частот, Гц	Число линий в спектре	Питание, масса, размер	Прочее
MICROLOG GX	4	0,5 ÷ 20000	3200	Акк 0,715 кг 186*134*93	Балансировка
КВАРЦ-2	2	2 ÷ 40000	12800	Акк 1,2 кг 150*170*43	Балансировка
АГАТ-М	2	2 ÷ 10000	800	Акк 0,9 кг 220*110*38	Балансировка

Анализ конкурентных технических решений помогает внести коррективы в проект, чтобы успешнее противостоять соперникам. При проведении данного анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны конкурентов. Для этого составлена оценочная карта (таблица 5).

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4. Энергоэкономичность	0,04	5	4	5	0,2	0,16	0,2
5. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Надежность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
7. Простота эксплуатации	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
3. Цена	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5	5	4	0,65	0,65	0,52

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	5	4	0,3	0,3	0,24
6. Наличие сертификации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
ИТОГО	1	68	65	63	4,88	4,72	4,46

Где: Бф – MICROLOG GX; Бк1 – КВАРЦ-2; Бк2 – АГАТ-М.

При оценке качества используется два типа критериев: технические и экономические. Веса показателей в сумме составляют 1. Баллы по каждому показателю оцениваются по пятибалльной шкале.

Конкурентоспособность конкурента К:

$$K = \sum B_i B_i \quad (22)$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Полученные результаты расчета сведены в таблицу 17. В строке «Итого» указана сумма всех конкурентоспособностей по каждому из приборов.

Опираясь на полученные результаты расчётов, можно сделать вывод что, прибор MICROLOG GX наиболее востребован и применим в условиях производства на предприятиях. Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как высокая цена, сложность при эксплуатации, необходимость в более частой проверке приборов и меньший срок эксплуатации.

5.2. Планирование работ по проведению вибродиагностики технологической обвязки насосного агрегата

В данной работе проектная организация состоит из двух человек: руководитель проекта и инженер. Планирование работ позволяет распределить обязанности между исполнителями проекта, рассчитать заработную плату сотрудников, а также гарантирует реализацию проекта в срок. Последовательность и содержание работ, а также распределение исполнителей приведены в таблице 6.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Таблица 6 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	составление и утверждение технического задания на проведение исследования напряжённо-деформированного состояния технологической обвязки насосного агрегата	Руководитель
Выбор документов для исследования	2	Изучение нормативно-технической документации, сбор основной информации	Инженер
	3	составление плана исследования	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Определение и расчёт нагрузок, воздействующих на технологический трубопровод	Инженер
	5	создание и расчёт математической модели трубопровода	Инженер
	6	Проведение вибродиагностики	Инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Разработка рекомендаций по снижению нагрузки на трубопровод	Инженер
	8	Оценка результатов исследования	Руководитель, Инженер
Оформление отчета по проекту	9	составление пояснительной записки	Инженер

Исследование напряжённо-деформированного состояния технологической обвязки насосного агрегата проводится в пять этапов. Основные работы выполняются инженером.

5.3. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты являются основной частью стоимости исследования.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер.

среднее (ожидаемое) значение трудоемкости:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (23)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость работы, чел.-дн.;

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость работы, чел.-дн..

После определения ожидаемой трудоемкости работ необходимо рассчитать продолжительность каждой из работ в рабочих днях T_p . Величина T_p учитывает параллельность выполнения этих работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (24)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;
 $Ч_i$ – число исполнителей, выполняющих одновременно одну работу, чел..

Результаты расчета приведены в таблице 19.

5.4. Разработка графика проведения проекта

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

Длительность каждого этапа работ из всех рабочих дней могут быть переведены в календарные дни с помощью следующей формулы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (25)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (26)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Пример расчета для 1 этапа работ (составление и утверждение технического задания на проведение исследования):

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 6}{5} = 3 \text{ чел} - \text{дня} \quad (27)$$

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i} = \frac{3}{1} = 3 \text{ дня} \quad (28)$$

Для шестидневной рабочей недели (для руководителя) коэффициент календарности равен:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 51 - 15} = 1,22 \quad (29)$$

$$T_k = T_p \cdot k_{кал} = 3 \cdot 1,22 = 3,66 \approx 4 \text{ дня} \quad (30)$$

Для пятидневной рабочей недели (для инженера) коэффициент календарности равен:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 102 - 15} = 1,47 \quad (31)$$

$$T_k = T_p \cdot k_{кал} = 5,2 \cdot 1,47 = 7,64 \approx 8 \text{ дней} \quad (32)$$

Полученные результаты расчета занесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
составление и утверждение технического задания на проведение исследования	1		6		3		3		4	
Изучение нормативно-технической документации		4		7		5,2		5,2		8
составление плана исследования	2		4		2,8		2,8		3	
Определение и расчёт нагрузок, воздействующих на трубопровод		5		10		7		7		10
создание и расчёт математической модели трубопровода		12		18		14		14		21
Проведение вибродиагностики		2		4		2,8		2,8		4

Разработка рекомендаций по снижению нагрузки на трубопровод		8		12		9,6		9,6		14
Оценка результатов исследования	3		5		3,8		1,9		3	
составление пояснительной записки		6		10		7,6		7,6		11

На основе таблицы 7 строим календарный план-график (для максимального по длительности исполнения работ).

Таблица 8 – Календарный план-график проведения работ по проведению исследования

№	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ														
				Фев.		Март			Апрель			Май						
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	составление и утверждение технического задания на проведение исследования	Р	4															
2	Изучение нормативно-технической документации	И	8															
3	составление плана исследования	Р	3															
4	Определение и расчёт нагрузок, воздействующих на трубопровод	И	10															
5	создание и расчёт математической модели трубопровода	И	21															
6	Проведение вибродиагностики	И	4															
7	Разработка рекомендаций по снижению нагрузки на трубопровод	И	14															
8	Оценка результатов исследования	Р, И	3															
9	составление пояснительной записки	И	11															

Обозначения:

	Руководитель
	Инженер

На основе данных графика (таблица 20) можно сделать вывод, что продолжительность работ по исследованию напряжённо-деформированного состояния обвязки и ЭГПА займет 8 декад. Начало разработки проекта придется на вторую декаду февраля и закончится первой декадой мая. Значение реальной продолжительности работ может оказаться как меньше посчитанного значения, так и больше, так как трудоемкость носит вероятностный характер.

Длительность выполнения проекта в календарных днях равна:

- 10 дней (длительность выполнения проекта руководителем);
- 71 день (длительность выполнения проекта инженером).

5.5. Бюджет затрат на исследование

При планировании бюджета проекта необходимо учесть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Для формирования бюджета проекта используется следующая группа затрат:

- материальные затраты проекта;
- затраты на специальное оборудование
- основная заработная плата исполнителей проекта;
- дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.5.1. Расчет материальных затрат исследования

К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье и материалы, покупные материалы, канцелярские принадлежности, и т.п.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы З _м , руб.
Набор инструментов	шт	1	4880	4880
Перчатки	пара	3	91	273
спецодежда	комплект	3	5600	16800
Каска	Шт	3	250	750

					<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		79

Бумага для принтера формата А4 (500 листов)	пачка	2	270	540
Ручка шариковая	Шт	6	25	150
Карандаш	Шт	5	20	100
Краска для принтера	Шт	1	600	600
Итого, руб.				24093

В сумме материальные затраты составили 24093 рубля. Цены взяты средние по городу Томску.

5.5.2. Расчет затрат на специальное оборудование для проведения исследования

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, устройств и механизмов), необходимого для проведения диагностики.

Все расчеты по приобретению спецоборудования, используемого для каждого исполнения, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на приобретение спецоборудования

№	Наименование оборудования			Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	МІСRО LOG GX	КВАРЦ-2	АГАТ-М	1	1	1	390,2	542,8	327,6	390,2	542,8	327,6
2	Ноутбук Acer Swift 3 SF314-56-349F NX.H4CER.007			1	1	1	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9
Итого:										438,1	590,7	375,5

Учтем затраты на доставку в размере 15% от его цены, тогда затраты на приобретение спецоборудования для трех исполнений станут равны:

$$Z_{\text{об1+дост}} = Z_{\text{об1}} \cdot 1,15 = 438,1 \cdot 1,15 = 503,815 \text{ тыс. руб} \quad (33)$$

$$Z_{\text{об2+дост}} = Z_{\text{об2}} \cdot 1,15 = 590,7 \cdot 1,15 = 679,305 \text{ тыс. руб} \quad (34)$$

$$Z_{\text{об3+дост}} = Z_{\text{об3}} \cdot 1,15 = 375,5 \cdot 1,15 = 431,825 \text{ тыс. руб} \quad (35)$$

5.5.3. Основная заработная плата исполнителей исследования

статья включает в себя основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$.

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (36)$$

Дополнительная заработная плата составляет 12-20 % от $Z_{\text{осн}}$.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (37)$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, раб.дн. (табл. 19);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (38)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени, раб.дн..

При отпуске в 28 раб.дней $M = 11$ месяцев, 5-дневная неделя;

При отпуске в 56 раб.дней $M = 10$ месяцев, 6-дневная неделя;

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (39)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, принимаем 0,2;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

5.5.4. Дополнительная заработная плата исполнителей исследования

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.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Дополнительная заработная плата:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (40)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается 0,18).

Оклады взяты в соответствии с занимаемыми должностями ТПУ.

Расчет заработной платы руководителя (шестидневная рабочая неделя):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 27300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53235 \text{ руб} \quad (41)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{53235 \cdot 10}{365 - 66 - 56} = 2191 \text{ руб} \quad (42)$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2191 \cdot 7,7 = 16871 \text{ руб} \quad (43)$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,18 \cdot 16871 = 3037 \text{ руб} \quad (44)$$

Расчет заработной платы инженера (пятидневная рабочая неделя):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб} \quad (45)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{31590 \cdot 11}{365 - 117 - 28} = 1580 \text{ руб} \quad (46)$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 1580 \cdot 46,2 = 72996 \text{ руб} \quad (47)$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,18 \cdot 72996 = 13139 \text{ руб} \quad (48)$$

Результаты расчета по заработной плате всех исполнителей проекта приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет заработной платы

Исполнитель проекта	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$k_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	Итог, руб.
Руководитель	27300	0,3	0,2	1,3	53235	2191	7,7	16871	0,18	3037	19908
Инженер	16200				31590	1580	46,2	72996		13139	86135

В результате данных расчетов посчитана основная заработная плата у исполнителей проекта. Из таблицы 8 видно, что ставка руководителя наибольшая, но итоговая основная заработная плата получилась наибольшей у инженера, так как основная заработная плата зависит от длительности работы проекта.

5.5.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды включают в себя установленные законодательством Российской Федерации нормы органов государственного социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ) и медицинское страхование (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (49)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ (ред. От 19.12.2016) установлен размер страховых взносов равный 30 %.

В таблице 11 представлены результаты по расчету отчислений во внебюджетные фонды всех исполнителей.

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель проекта	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	16871	3037
Инженер	72996	13139
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Руководитель	5972	
Инженер	25841	

5.5.6. Накладные расходы

Накладные расходы включают прочие затраты организации, которые не учтены в предыдущих статьях расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, интернета и т.д.

Накладные расходы:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей 1} \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (50)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 \quad (51)$$

$$Z_{\text{накл}1} = (24093 + 503815 + 89867 + 16176 + 31813) \cdot 0,16 = 106522 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{накл}2} = (24093 + 679305 + 89867 + 16176 + 31813) \cdot 0,16 = 134600 \text{ руб}$$

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

$$Z_{\text{наклз}} = (24093 + 431825 + 89867 + 16176 + 31813) \cdot 0,16 = 95004 \text{ руб}$$

5.5.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная величина затрат на исследование является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на проект приведено в таблице 13.

Таблица 13 – Бюджет затрат на исследование

Наименование статьи	сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты	24093	24093	24093	Пункт 5.1
2. Затраты на специальное оборудование	503815	679305	431825	Пункт 5.2
3. Затраты по основной заработной плате	89867	89867	89867	Пункт 5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате	16176	16176	16176	Пункт 5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	31813	31813	31813	Пункт 5.5
6. Накладные расходы	106522	134600	95004	16% от суммы ст.1-5
Бюджет затрат на исследование	772286	975854	688778	сумма ст.1-6

Бюджет затрат проекта по исполнению №1 равен 772286 рублей, по исполнению №2 – 975854 рублей, по исполнению №3 – 688778 рублей. Наибольший процент бюджета во всех случаях составляет дорогостоящее специальное оборудование (от 62 до 69%).

5.6. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (52)$$

где $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость научноисследовательского проекта.

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{772286}{975854} = 0,791 \quad (53)$$

Для 2-го варианта имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{975854}{975854} = 1 \quad (54)$$

Для 3-го варианта имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{688778}{975854} = 0,706 \quad (55)$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (56)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки.

Таблица 14 – сравнительная оценка характеристик разрабатываемого проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность	0,2	5	5	5
2. Надежность	0,2	5	5	4
3. Долговечность	0,2	5	5	3
4. Удобство в эксплуатации	0,15	5	3	4
5. Ремонтпригодность	0,15	4	4	5
6. Энергоэкономичность	0,1	4	5	4
Итого	1,00			

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p-\text{исп}1} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,75 \quad (57)$$

$$I_{p-\text{исп}2} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,55 \quad (58)$$

$$I_{p-\text{исп}3} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,15 \quad (59)$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (60)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,75}{0,791} = 6 \quad (61)$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,55}{1} = 4,55 \quad (62)$$

$$I_{исп.3} = \frac{4,15}{0,706} = 5,88 \quad (63)$$

сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{срi}$):

$$\mathcal{E}_{срi} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.min}} \quad (64)$$

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{6}{4,55} = 1,32 \quad (65)$$

$$\mathcal{E}_{ср2} = \frac{4,55}{4,55} = 1 \quad (66)$$

$$\mathcal{E}_{ср3} = \frac{5,88}{4,55} = 1,29 \quad (67)$$

Таблица 15 – сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,791	1,0	0,706
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	4,55	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	6	4,55	5,88
4	сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,32	1,0	1,29

Вывод

В результате выполнения данного раздела проведен анализ конкурентных технических решений, с помощью которого выбран наиболее подходящий виброанализатор для проведения диагностики технологической обвязки газоперекачивающего агрегата, а именно Microlog Analyzer GX.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

Построен календарный план–график проведения работ по проведению исследования каждого из исполнителей. Общее количество дней на выполнение исследования составляет 78 дня.

Бюджет затрат проекта с использованием виброанализатора Microlog Analyzer GX равен 772286 рублей, с использованием КВАРЦ-2 – 975854 рублей, с использованием АГАТ-М – 688778 рублей. Наибольший процент бюджета во всех случаях составляет дорогостоящее специальное оборудование (62 – 69 %).

сравнение эффективности проведения исследования по каждому исполнению показало экономическую целесообразность реализации работ с помощью виброанализатора Microlog Analyzer GX, имеющего самый высокий показатель ресурсоэффективности $I_p=4,75$.

На основании полученных результатов данного раздела делаем вывод о том, что исследование напряженно-деформированного состояния технологического трубопровода является экономически обоснованным и оправданным.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

6. Социальная ответственность

Парабельская промплощадка является структурным подразделением Томского ЛПУМГ ООО "Томсктрансгаз", осуществляющего эксплуатацию и обслуживание компрессорной станции, участков магистрального газопровода " [REDACTED] [REDACTED]).

КС [REDACTED]

Проект КС разработан [REDACTED], в составе проекта газопровода «Нижневартовский ГПЗ-[REDACTED]

Компрессорная станция состоит из одного цеха и подключена к двухниточному магистральному газопроводу «Нижневартовский ГПЗ – Парабель - Кузбасс».

На КС установлены ЭГПА STD 4000-2 с центробежными нагнетателями Н-280-12-7 в количестве 4 шт. Общая установленная мощность 16 МВт.

В процессе анализа условий и технологий эксплуатации компрессорной станции «Парабель» ключевую роль играют газоперекачивающие агрегаты (ГПА) и их технологическая обвязка, где существует вероятность проявления вредных и опасных факторов, негативного воздействия на окружающую природную среду, а также возникновения Чс.

Целью выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы является выявление и анализ перечисленных опасностей в рабочей зоне. Место проведения работ – компрессорный зал. Условия – закрытое помещение.

					<i>Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Толстов О.В.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					88	123
Консульт.		Сечин А.И.				ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
Рук-ль ООП		Шадрин А.В.						

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1. специальные правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с нормативными документами, к работе на газоперекачивающей станции допускаются только лица, достигшие 18-летнего возраста, которые прошли медицинский осмотр и не имеют противопоказаний, обученные безопасным методам ведения работы, прошедшие инструктаж на рабочем месте и получившие допуск к самостоятельной работе.

В федеральном законе РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» указано, что с вредными условиями труда сталкиваются рабочие на предприятиях горной и угольной промышленности, на металлургическом и абразивном производстве, в нефтяной и химической промышленности.

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливается на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Законодательно предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации [1]:

- уменьшение количества рабочих часов (36 часов в неделю и меньше),
- оплачиваемый отпуск, являющийся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней),
- рост оплаты труда (не меньше 4% от оклада),
- льготы для пенсионного обеспечения,
- бесплатное лечение и оздоровление,
- выдача расходных материалов – спецодежды, обеззараживающих средств для работы.

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

При диагностировании технического состояния технологического трубопровода помещения следует устраивать с учетом санитарных требований, соблюдение которых обязательно при осуществлении производственных

					Социальная ответственность	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

процессов объекта. Производственные территории, участки работ и рабочие места должны быть обеспечены необходимыми средствами коллективной и индивидуальной защиты работающих, первичными средствами пожаротушения, а также средствами связи, сигнализации и другими техническими средствами обеспечения безопасных условий труда. При размещении на производственной территории санитарно-бытовые и производственные помещений, места отдыха, проходы для людей, рабочие места должны располагаться за пределами опасных зон. На границах зон, постоянно действующих опасных производственных факторов должны быть установлены защитные ограждения.

Находясь на территории производственной площадки, в производственных и бытовых помещениях, на участках работ и рабочих местах, работники, а также представители других организаций обязаны выполнять правила внутреннего трудового распорядка, принятые в данной организации. Территориально обособленные помещения, площадки, участки работ, рабочие места должны быть обеспечены телефонной связью или радиосвязью [22].

6.2. Производственная безопасность

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при регистрации и учете дефектов технологического трубопровода компрессорной станции в таблице 16.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						90
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 16 – Опасные и вредные факторы при диагностировании технического состояния технологической обвязки газоперекачивающего агрегата

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Ремонтно-восстановительные работы при реконструкции технологической обвязки газоперекачивающего агрегата	Физические		
		Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)	ГОСТ 12.2.003-91
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.030-81
		Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением	ГОСТ 12.1.038-82
		Пожаровзрывоопасность на рабочем месте	ГОСТ 12.1.010-76 ПБ 03-576-2003 32 ФЗ №123 от 22.07.2013 г
		Повышенные уровни шума	ГОСТ 12.1.003-2014
	Повышенные уровни вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004	
	Недостаточная освещенность рабочей зоны	ГОСТ 12.1.046-2014	
	Химические		
	Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны		ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.007-76

6.2.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

1. Повышенные уровни шума.

Действие шума от электродвигателей компрессоров на человека приводит к снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении различных видов работ, замедляет реакцию человека на поступающие от технических устройств сигналы, угнетает центральную нервную систему (ЦНС), вызывает изменения скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, язвы желудка, гипертонических заболеваний.

Рассматриваемое рабочее место является постоянным и находится на территории предприятия. В соответствии с ГОСТ 12.1.003–2014 [2] для рабочего места такого типа устанавливается эквивалентный уровень звука ≤ 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зонах с октавными уровнями звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе.

Основные методы борьбы с шумом согласно ГОСТ 12.1.029-80 [31] и ГОСТ 12.4.051-87 [3]: снижение шума в источнике; средства индивидуальной защиты; соблюдение режима труда и отдыха; использование дистанционного управления при эксплуатации шумящего оборудования и машин.

2. Повышенные уровни вибрации на КС

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц.

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены: применением вибробезопасного оборудования и инструмента; применением средств виброзащиты; организационно-техническими мероприятиями (поддержание в

					Социальная ответственность	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

условиях эксплуатации технического состояния машин и механизмов на уровне, предусмотренном НТД на них; введение режимов труда, регулирующих продолжительность воздействия вибрации на работающих; вывод работников из мест с превышением ДУ по вибрации) [5].

3. Недостаточная освещённость рабочей зоны

Для проведения работ необходимо исследовать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк независимо от применяемых источников света ГОСТ 12.1.046-2014 [6]. При подъеме или перемещении грузов должна быть освещенность места работ не менее 50 лк при работе вручную и не менее 100 лк при работе с помощью машин и механизмов.

Расчет искусственного освещения

Освещение оказывает большое влияние на зрительную работоспособность, физическое и моральное состояние людей, производительность и качество труда.

Следовательно, для сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно СНиП 23-05-095[7].

Освещение удовлетворяет следующим требованиям: равномерность освещения, не вызывать слепящего действия, не образовывать резких теней, быть экономичным.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. По спектральному составу видимого света различают лампы дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ). Наиболее широко применяются лампы типа ЛБ. При повышенных требованиях к передаче цветов освещением применяются лампы типа ЛХБ, ЛД. Лампа типа ЛТБ применяется для

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						93
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

правильной цветопередачи человеческого лица. Характеристики люминесцентных ламп приведены в табл. 17.

Таблица 17 – Основные характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм			
		ЛД	ЛХБ	ЛБ	ЛТБ
15	127	700	820	835	850
20	127	880	1020	1060	1060
30	220	1650	1940	2020	2020
40	220	2300	2700	2800	2850
65	220	3750	4400	4600	4600
80	220	4250	5000	5200	5200
125	220	-	8000	-	8150

Дано помещение с размерами: длина $A = 12$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 4$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 1$ м. Требуется создать освещенность $E = 400$ лк. Коэффициент отражения стен $R_c = 30$ %, потолка $R_n = 50$ %. Коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли при люминесцентных лампах: $k = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$. Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$

Приняв $h_c = 0,6$ м, определяем расчетную высоту.

$$h = H - h_c - h_{рп} = 4 - 0,6 - 1 = 2,4 \text{ м} \quad (8.1)$$

Расстояние между светильниками:

$$L = 1,4 \cdot 2,4 = 3,36 \text{ м}; \quad (8.2)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 3,36/3 = 1,12 \text{ м}; \quad (8.3)$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(6 - \frac{2}{3} \cdot 3,36)}{3,36} + 1 \approx 3 \quad (8.4)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} + 1 = \frac{(12 - \frac{2}{3} \cdot 3,36)}{0,93 + 0,5} + 1 \approx 8 \quad (8.5)$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 30 Вт (с длиной 0,93 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 29 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 1).

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 48$.

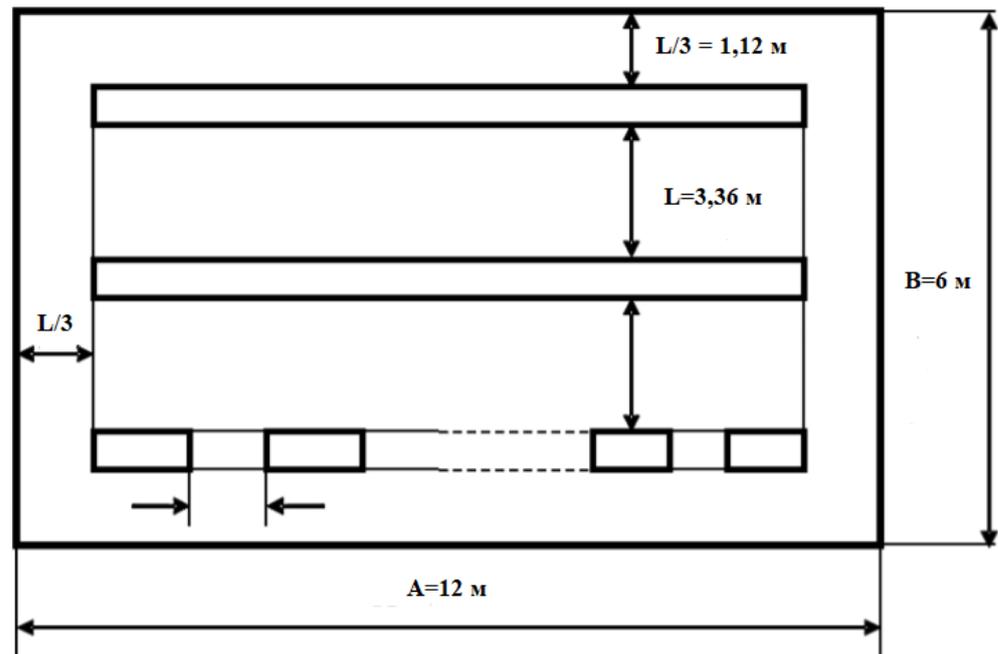


Рисунок 49 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Находим индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{72}{2,4 \cdot (12+6)} \approx 1,75 \quad (8.5)$$

По табл.3 определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,48$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot \gamma}{N_l \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{48 \cdot 0,48} \approx 2063 \quad (8.6)$$

По табл. 3 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 30 Вт с потоком 2020 лм. Делаем проверку выполнения условия:

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (8.7)$$

Получаем $-10\% \leq 2,1\% \leq +20\%$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 48 \cdot 30 = 1440 \text{ Вт} \quad (8.8)$$

Таблица 18 - Коэффициенты использования светового потока светильников с лампами накаливания η , %

Тип светильника	У			ШМ			ЛЦ			ГС			П У	
	ρ_n , %	ρ_c , %	i	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50
	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50
	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30
	Коэффициенты использования, %													
0,5	21	24	28	8	9	12	14	16	20	19	21	25	15	18
0,6	27	30	34	10	12	16	19	21	25	24	27	31	19	22
0,7	32	35	38	12	14	18	23	24	29	29	31	34	22	25
0,8	35	38	41	14	16	20	25	26	31	32	33	37	24	28
0,9	38	40	44	16	17	21	27	29	33	34	36	39	26	30
1,0	40	42	45	17	19	22	29	31	34	36	38	40	28	32
1,1	42	44	46	17	19	23	30	32	36	37	39	41	30	34
1,25	44	46	48	19	21	24	31	34	38	39	41	43	32	36
1,5	46	48	51	21	23	27	34	37	41	41	43	46	36	39
1,75	48	50	53	22	25	29	36	39	43	43	44	48	39	42
2,0	50	52	55	24	27	30	38	41	45	44	46	49	41	44
2,25	55	57	60	25	28	31	44	47	51	47	47	50	43	45
2,5	54	55	59	27	29	33	41	45	48	48	49	52	44	46
3,0	55	57	60	28	31	35	44	47	51	49	51	53	46	49
3,5	56	58	61	30	33	37	45	49	52	50	52	54	48	51
4,0	57	59	62	31	35	38	46	50	54	51	53	55	50	52

4. Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны

Компрессорный зал общего укрытия КС является наиболее опасным объектом, поскольку здесь сконцентрировано наибольшее количество токсичных газов, к которым относятся пары нефти, сероводорода, метана, легких углеводородов.

Воздушные смеси и газы, скапливающиеся в насосном зале, по степени воздействия на организм человека относятся к третьему и четвертому классу.

					Социальная ответственность				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					96

Таблица 19 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ, скапливающихся при работе ГПА [8]

Вещество	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности
Диоксид азота NO ₂	2	III
Оксид азота NO	0,4	
Оксиды азота	5	
Масла минеральные нефтяные	5	
Сероводород	10	
Оксид углерода	20	IV
Метан	7000	
Бензин	100	

Все из перечисленных газов и смесей газов относятся к ядам и оказывают отравляющее воздействие на организм человека.

Мероприятия по снижению загазованности и защиты организма человека:

- исключение источников газообразования;
- уменьшение концентрации токсичных газов путем проветривания компрессорного зала;
- применение средств индивидуальной и коллективной защиты;
- исключение или снижение необходимости присутствия человека путем автоматизации процессов и дистанционным их управлением.

6.2.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

1. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Газоперекачивающие агрегаты, расположенные в компрессорном зале, имеют вращающиеся части, которые могут привести к механическому воздействию на организм человека. Все движущиеся и вращающиеся части ГПА, в который входят двигатель и турбина, а также передача от двигателя к турбине должны быть ограждены специальными съемными кожухами, чтобы исключить попадание в движущиеся и вращающиеся части. Ремонт и осмотр огражденных частей механизмов и снятие ограждений допускается только после полной остановки механизма [28].

2. Поражение электрическим током

Поскольку ГПА является весьма энергоемким объектом, то возникает опасность поражения электрическим током, а также опасность возникновения пожара и/или взрыва. Произойти это может в результате: случайного прикосновения к токоведущим элементам; ошибочных действий персонала; нарушения изоляции проводов; аварии.

Поражающими факторами электрического тока являются: электроожог, электроудар и электросудорога. Электросудороги характерны для напряжения до 1000 В, электроудары – свыше 1000 В, электроожоги – до и свыше 1000 В. Порог осязаемости тока равен 0,5-1,5 мА. При воздействии на человека тока силой в 10-15 мА начинаются болезненные судороги. Ток силой в 20-25 мА оказывает затруднения дыхания. Ток силой в 100 мА является смертельным для человека при воздействии более 2 с [29].

Меры защиты: применение защитного зануления, защитного заземления, защитного отключения; обеспечение изоляции, ограждения и недоступности электрических цепей; использование предупредительных плакатов и знаков безопасности; применение средств индивидуальной защиты: диэлектрических

					Социальная ответственность	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

перчаток и бот, диэлектрических резиновых ковриков, инструментов с изолированными ручками [32].

3. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При несоблюдении правил безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудование, работающее под высоким давлением, обладает повышенной опасностью.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Основным требованием к конструкции оборудования работающего под высоким давлением является надежность обеспечения безопасности при эксплуатации и возможности осмотра и ремонта. специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов. сварные швы делаются только стыковыми.

Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды (начальник компрессорной станции, начальник участка, старший мастер участка и т. д.).

4. Пожаровзрывобезопасность на рабочем месте

Горючие газы и пары легко воспламеняющихся жидкостей способны образовывать в смеси с кислородом воздуха взрывчатые смеси. с целью обеспечения взрывопожаробезопасности для всех веществ установлена предельно-допустимая взрывобезопасная концентрация (ПДВК), составляющая 5% величины НКПР.

Основные причины пожаров и взрывов на КС: паровоздушная взрывоопасная смесь, образовавшаяся в резервуарах и емкостях;

					Социальная ответственность	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

легковоспламеняющиеся жидкости, используемые на малярных участках и в цехах предприятий; горючая пыль и волокна в помещениях; нагревающиеся проводники в электроустановках.

Методы снижения пожаровзрывоопасности:

1. Исключение источников газообразования (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений насосов и запорной арматуры).
2. Исключение причин возникновения пожаров и взрывов.
3. Уменьшение концентрации взрывоопасных газов путем проветривания насосного зала.
4. Контроль загазованности газоанализаторами.
5. Применение электрооборудования во взрывобезопасном исполнении.

6.3. Экологическая безопасность

Загрязняющие вещества, такие как газ, масла, растворители, шлам очистки ГПА от газа поступают в гидросферу в составе сточных вод от многих объектов КС, где причиной этого могут быть ремонтные работы, несоблюдение правил эксплуатации оборудования, износ уплотнений турбин, аварии.

Одним из природоохранных мероприятий для минимизации вредного воздействия является очистка сточных вод. Применяются следующие методы очистки: механическая (центрифугирование), химическая (адсорбция, ионообменный метод), физико-химическая (электрофлотация, электродиализ, электрофорез, электрокоагуляция), термическая, биологическая.

					Социальная ответственность	Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 20 – Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при управлении перекачкой продуктов по магистральному газопроводу [31]

Природные ресурсы и компоненты окружающей среды	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
Атмосфера	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу продуктов сгорания газотурбинных агрегатов— оксидов углерода, оксидов азота, углеводов.	1. Проверка оборудования на прочность и герметичность; 2. соблюдение правил эксплуатации; 3. своевременная замена уплотнений агрегатов и запорной арматуры; 4. Оснащение системой контроля загазованности
Вода и водные ресурсы	Попадание в гидросферу загрязняющих веществ, сточных вод на предприятиях газовой промышленности являются нерастворимые и органические примеси, обычно находящиеся в стоках во взвешенном состоянии	1. своевременный осмотр оборудования и устранение несоответствий паспортным требованиям; 2. своевременная уборка отходов в специально отведенные места с дальнейшей транспортировкой до мест переработки; 3. Очистка, а затем отвод сточных воды с объектов КС только соответствующих нормативным требованиям
Земля и земельные ресурсы	Загрязнение почвы углеводородными смесями может быть связано с осуществлением таких технологических операций, как очистка и осушка газа, очистка полости газопровода, удаление продуктов очистки газа из пылеуловителей и фильтров сепараторов. При утечках во время заполнения резервуаров хранения газа.	1. Проведение своевременного осмотра оборудования и устранение несоответствий паспортным требованиям 2. складирование отходов в специальные металлические контейнеры с последующим вывозом на полигоны промышленных отходов

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС):

- стихийного характера (лесные пожары, наводнения, ураганные ветры);
- социального характера (террористический акт);
- техногенного характера (производственная авария).

Наиболее типичной и опасной является ЧС техногенного характера, в результате которой может произойти неконтролируемые выбросы газа из-за повреждения самого газоперекачивающего агрегата или его уплотнений.

При возникновении опасности выбросов газа велика вероятность возникновения пожара при: неправильной работе с электрооборудованием; повреждении изоляции энергоснабжения; не соблюдении правил пожарной безопасности при эксплуатации и ремонтных работах [13].

Для снижения риска возникновения ЧС организуется техническая диагностика оборудования, а также его техническое обслуживание и ремонт; осуществляется приобретение современных приборов контроля и сигнализации; проводятся периодические и внеочередные инструктажи с обслуживающим персоналом.

При возникновении аварии, угрожающей взрывом или пожаром, руководитель цеха или другое ответственное лицо, обязаны объявить о вводе в цехе аварийного режима и задействовании планов быстрого реагирования. Имеющимися силами и средствами необходимо принять меры по ликвидации ЧС: прекратить работу производственного оборудования; оказать первую помощь пострадавшим; удалить из помещения за пределы опасной зоны всех рабочих, не занятых ликвидацией пожара; вызвать пожарную часть, медицинскую службу и привести в готовность средства пожаротушения; удалить легко воспламеняемые жидкости и газы из резервуаров и аппаратов, расположенных в зоне аварийного режима, понизить давление в аппаратах; при необходимости вызвать дополнительные силы и средства; обеспечить защиту людей, принимающих участие в тушении пожара, от возможных выбросов газа,

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

обрушений конструкций, поражений электрическим током, отравлений, ожогов; при необходимости принять меры по устройству обвалований против утечек газа [33].

Выводы:

Таким образом, в данном разделе были рассмотрены правовые вопросы обеспечения безопасности для лиц, работающих на компрессорных станциях, организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны; проанализированы опасные и вредные производственные факторы, обоснованы мероприятия по их устранению; изучены вопросы, касающиеся влиянию работ на экологическую безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Все требования безопасности в соответствии с нормативно-технической документации соблюдены.

Приведены мероприятия по снижению загазованности и защиты организма человека, методы снижения пожаровзрывоопасности, природоохранные мероприятия при управлении перекачкой газа по магистральному газопроводу. Действия и меры защиты при возникновении чрезвычайных ситуаций.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		103

Заключение

Созданная в работу математическая модель позволяет отследить влияние вибраций на энергоэффективность процесса работы агрегата, а в частности на влияние внешних нагрузок. Исходя их расчетных данных, полученных с помощью предложенной математической модели можно, на основе результатов изменения виброперемещения, виброскорости и виброускорения подбирать необходимые режимы работы и конструкционные особенности оборудования необходимые для выгодного, а также безопасного, в отношении дефектов и выходов, режима эксплуатации. предложенный метод можно применять к агрегату в любой интересующей точке, а также с учетом "гибкости" математической модели, добавлять необходимые параметры движения системы, учитывать неоднородность распределения массы ротора и вала, которые могут возникать в связи с появлением дефектов, а также добавлять воздействие иных действующих внешних сил на систему. В результате проделанной работы установлено, что эксплуатация ГПА может сопровождаться наличием неисправностей таких как: дебаланс; расцентровка; работа узлов подшипников или магнитного подвеса при различных условиях эксплуатации. Разработана математическая модель, на основании которой проанализированы нагрузки, возникающие при эксплуатации ГПА. Проведена оценка влияния данных нагрузок на эффективность работы самого агрегата и влияние данных нагрузок на работу сопровождающего оборудования.

					<i>Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Толстов О.В.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					104	123
Консульт.						ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

Список литературы

- 1) СТО Газпром 2-2.3-324-2009. Диагностическое виброобследование технологических трубопроводов компрессорных цехов с центробежными нагнетателями. Нормы оценки и методы проведения работ.
- 2) ВРД 39-1.8-055-2002. Типовые технические требования на проектирование КС, ДКС и КС ПХГ.
- 3) КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ с газотурбинными газоперекачивающими агрегатами, Выпуск 1. – 2014г.
- 4) Корж В.В. Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций [Текст]: учеб. пособие/ В.В. Корж, А.В. Сальников – Ухта: УГТУ, 2010. – 184.
- 5) Крюков О.В., Титов В.Г. Анализ пусковых режимов электро-приводных газоперекачивающих агрегатов//Изв. вузов: Электромеханика. 2012. №3. С. 29–35.
- 6) Крюков О.В., Краснов Д.В. Перспективы применения преобразователей частоты для регулирования производительности электроприводных ГПА//Газовая промышленность. 2014. №6 (707). С. 86–89.
- 7) Бордюгов, С.И. Проблемы нормализации состояния валопроводов ГПА для дожимных компрессорных станций / С.И. Бордюгов, А.В. Чеплыгин, О.В. Ильина, А.И. Резвых // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2008. - №2. - С. 23-25.
- 8) ГОСТ 32106-2013 Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов.
- 9) Вибродиагностика: Моногр. / Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С. и

					<i>Исследование динамических нагрузок, генерируемых центробежными машинами и агрегатами</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Толстов О.В.			Список литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Рудаченко А.В.					105	123
Консульт.						ТПУ ИШПР гр. 2БМ91		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

- 10) др.; Под ред. Г.Ш. Розенберга. - СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
- 11) Крюков О.В. Синтез и анализ электроприводных агрегатов компрессорных станций при стохастических возмущениях//Электротехника. 2013. №3. С. 22–27.
- 12) СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов.
- 13) РД-19.100.00-КТН-036-13 Методики технического диагностирования механо-технологического оборудования. Часть 2. Методики выполнения.
- 14) ГОСТ ИСО 10816-1-97. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ НА НЕВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЯХ
- 15) Методика виброобследования ГПА-10-01. – 2000г.
- 16) Валеев, А.Р. Вибрационная и сейсмическая защита системами с малой жесткостью/ А.Р. Валеев, Г.Е. Коробков // 7th International Youth Oil&Gas Forum. Сб. тез. – Алматы, 2010. - С. 117-120.
- 17) ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ по результатам оценки напряженно-деформированного состояния надземной части трубопроводной обвязки компрессорной станции ██████████.
- 18) Персова М.Г. О новом подходе к проектированию электрических машин на основе численного моделирования / М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, З.С. Темлякова и др. // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 15–21.
- 19) Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.
- 20) Холоднов В. А., Математическое моделирование и методы реализации математических моделей / В. А. Холоднов, Е. Н. Иванова, Л. С. Кирьянова, В. М. Князьков, И. Н. Белоглазов // СПб.: Издательский дом. Руда и металлы, 2002. 170 с.
- 21) Дьяконов В. П. Mathcad 13/14. Энциклопедия. Серия: Наиболее полное руководство пользователя. М.: СОЛОН-Пресс, 2007. – стр.

					Список литературы	Лист
						106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 22) Холоднов В. А., Лебедева М. Ю., Системный анализ и принятие решений. Решение задач оптимизации химико-технологических систем в среде Mathcad и Excel: учебное пособие / В. А. Холоднов, М. Ю. Лебедева - СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2005. – 220 с.
- 23) ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения.
- 24) Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 25) ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
- 26) ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). средства и методы защиты от шума. Классификация.
- 27) ГОСТ 12.4.051-87. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний.
- 28) ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования.
- 29) ГОСТ 12.1.046-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Строительство. Нормы освещения строительных площадок.
- 30) СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*».
- 31) ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 32) РД 39-0148139-0001-2000. Руководство по организации эксплуатации и технологии технического обслуживания и ремонта компрессорных станций на базе технической диагностики.
- 33) НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Взамен НПБ 105-95,
- 34) НПБ 107-97; введ. 07.08.2003. – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 47с.

					Список литературы	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 35) ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 36) Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и
газа. Кесельман Г. с, Махмудбеков Э. А. – М: Недра, 1981. – 256 с.

					<i>Список литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		108

Приложение А

(справочное)

Financial management, resource efficiency and resource conservation

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ91	Толстов Олег Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рудаченко Александр Валентинович	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.препод.	Сумцова Ольга Витальевна	к.ф.н.		

1. Financial management, resource efficiency and resource conservation

In the process of gas pumping, gas pumping units (GCU) and their technological connections are subjected to significant vibration loads leading to a drop in the compressor efficiency and a decrease in power consumption, to significant energy and economic losses. Correct and accurate carrying out of vibration diagnostics allows you to monitor the equipment running and its installation quality constantly, to identify defects at the appropriate times as well as to prevent a sudden outage of the three GPUs.

In the course of the research work, it is necessary to conduct an analysis of the main methods and standards that determine the requirements for the vibration diagnostics of the GPU and, on the basis of the data, identify the most suitable measuring and practical application.

The purpose of this section of the present graduate qualification work is to determine the most economically efficient vibration measurement framework.

1. Analysis of competitive technical solutions

The object of the analysis is a vibration analyzer for diagnostics of the GPU technological piping.

Three vibration analyzers were taken for the equation: ADP-3101, KVARTs-2, AGAT-M. Table 16 shows the characteristics of these devices.

Table 16 - Technical characteristics of the vibration analyzers ADP-3101, KVARTs-2, AGAT-M.

Device	Number of channels	Frequency range, Hz	Number of lines in the spectrum	Nutrition, macca, size	Other
АДП-3101	4	0,5 ÷ 20000	3200	Акк 1,6 кг 200*190*43	Balancing

Continuation of the Table 16

КВАПИЦ-2	2	2 ÷ 40000	12800	Акк 1,2 кг 150*170*43	Balancing
АГАТ-М	2	2 ÷ 10000	800	Акк 0,9 кг 220*110*38	Balancing

The analysis of competitive technical solutions helps to make adjustments to the project in order to stand up against the rivals more effective. In carrying out this analysis, it is necessary to assess the strengths and weaknesses of the competitors. In this regard an evaluation card is provided (table 17).

Table 17 - Evaluation card for the comparison of competitive technical solutions (developments)

Criteria for evaluation	Be criterion	Points			Competitive-fit		
		Bf	Bq1	Bq2	Kf	Kk1	Kk2
1	2	3	4	5	6	7	8
Technical criteria for evaluating resource efficiency							
9. Improving user productivity	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
10. Ease of use	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
11. Interference immunity	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
12. Energy saving	0,04	5	4	5	0,2	0,16	0,2
13. Security	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
14. Reliable	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
15. Easy to use	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
16. It is possible to connect to the computer network	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Economic criteria for evaluating the effectiveness							
7. Competitiveness of the product	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
8. Level of market penetration	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
9. Price	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
10. Estimated operating time	0,13	5	5	4	0,65	0,65	0,52
11. After Sales Service	0,06	5	5	4	0,3	0,3	0,24
12. Availability of certification	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
TOTAL	1	68	65	63	4,88	4,72	4,46

Where: Bf – АДП-3101; Bq1 – КВАПИЦ-2; Bq2 – АГАТ-М.

When assessing the quality two types of criteria are used: technical and economic. The weights of the indicators in the sum are 1. The points for each indicator are assessed on a five-point scale.

Competitiveness is similar to rival K:

$$K = \sum B_i \varepsilon_i \quad (22)$$

Where B_i – weight of the indicator (in fractions of a unit);

ε_i – score of the i-th indicator.

The obtained results of the calculation are given in Table 17. The "Total" line contains the sum of all competitors for each of the devices.

Based on the obtained results of calculations, we can conclude that the device ADP-3101 is the most in demand and applicable in terms of production at enterprises. The vulnerability of competitors could be explained by such reasons as high price, complexity in operation, the necessity to carry out more frequent calibration of devices and a shorter service life.

2. Scheduling of works on vibration diagnostics of the GPU technological piping

In this work, the design organization consists of two people: the project manager and the engineer. Work scheduling allows you to distribute responsibilities between the executors of the project, calculate the salaries of employees, and also guarantees the implementation of the project in time. The sequence and the content of the work, as well as the distribution of the executors are given in the Table 18.

Table 18 - List of stages of the work as well as the distribution of the performers.

Main stages	№ work	Contents of work	Post of the performer
Development of technical specifications	1	Drafting and approval of technical specifications for carrying out research of the stress-strain state of the GPU piping	supervisor

Continuation of the table 18

Selection of documents for research	2	Study of regulatory and technical documentation, selection of basic information	Engineer
	3	Writing an Investigation Plan	supervisor
Theoretical and experimental research	4	Determination and calculation of loads acting on the process pipeline	Engineer
	5	Creation and calculation of the mathematical model of the pipeline	Engineer
	6	Vibration diagnostics	Engineer
Summarizing and evaluating the results	7	Development of recommendations for reducing the load on the pipeline	Engineer
	8	Evaluation of research results	supervisor, Engineer
Project report preparation	9	Adding explanatory notes	Engineer

Investigation of the stress-strain behavior of the process piping of the GPU is carried out in five stages. The main work is performed by an engineer.

3. Determination of labor intensity of the work

Labor costs are the main part of the research cost.

The laboriousness of the project is estimated in man-days and presents a probabilistic nature.

Average (expected) value of labor intensity:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (23)$$

Where $t_{ожi}$ – expected labor intensity of the i work, man-days.;

$t_{\min i}$ – minimum possible labor intensity of work, man-days.;

$t_{\max i}$ – maximum possible labor-intensive work, man-days.

After determining the expected labor intensity of the work, it is necessary to calculate the duration of each of the work in working days T_p . The quantity T_p takes into account the parallel execution of these works by several performers.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{q_i} \quad (24)$$

Where $t_{ожi}$ – expected labor intensity of one work, man-days.;

q_i – a number of performers providing one work at the same time, people..

The calculation results are shown in the Table 19.

4. Development of a project schedule

The Gantt chart is a horizontal strip chart, in which the work on the project being developed is represented by long periods of time, characterizing the dates of the beginning and the end of performing these works.

The duration of each stage of work from all working days can be converted into calendar days using the following formula:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (25)$$

Where T_{ki} – a duration of i work in calendar days;

T_{pi} – a duration of the i -th job in working days;

$k_{\text{кал}}$ – a calendar factor

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (26)$$

Where $T_{\text{кал}}$ – a number of calendar days per year;

$T_{\text{вых}}$ – a number of days off per year;

$T_{\text{пр}}$ – a number of holidays per year.

An example of a calculation for the stage 1 of the work (preparation and approval of technical specifications for conducting research):

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 6}{5} = 3 \text{ men – days} \quad (27)$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\psi_i} = \frac{3}{1} = 3 \text{ days} \quad (28)$$

For a six-day work week (for a manager), the calendar factor is:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 51 - 15} = 1,22 \quad (29)$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 3 \cdot 1,22 = 3,66 \approx 4 \text{ days} \quad (30)$$

For a five-day working week (for an engineer), the calendar equality coefficient is:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 102 - 15} = 1,47 \quad (31)$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 5,2 \cdot 1,47 = 7,64 \approx 8 \text{ days} \quad (32)$$

The calculated results are listed in the Table 19.

Table 19 - Time indicators of the research

	Labor-intensive work	Duration of	
--	----------------------	-------------	--

3	Writing an Investigation Plan	P	3																
4	Determination and calculation of loads affecting the pipeline	И	10																
5	Creation and calculation of the mathematical model of the pipeline	И	21																
6	Vibration diagnostics	И	4																
7	Development of recommendations for reducing the load on the pipeline	И	14																
8	Evaluation of research results	P, И	3																
9	Adding explanatory notes	И	11																

Notations:

	Supervisor
	Engineer

On the basis of the data of the graph (Table 20), it can be concluded that the duration of the work on the investigation of the stress-strain running of the pipeline will take 8 decades. The beginning of the project development will come in the second decade of February and will end in the first decade of May. The value of the actual duration of the work can be either less than the counted value, or more, since the laboriousness is probable in nature.

The duration of the project in calendar days is:

- 10 days (the duration of the project by the head);
- 71 days (the duration of the project by the engineer).

5. Cost budget of the research

When planning the budget of the project, it is necessary to take into account all types of expenses that are connected with its implementation. To form the project budget, the following group of costs is used:

- material costs of the project;
- costs for special equipment
- basic salary and project implementers;
- additional salary and project implementers;

- contributions to off-budget funds (insurance contributions);
- overhead costs.

5.1. Calculation of material costs of the research

Material costs include: raw materials and materials having been bought on the side, purchased materials, stationery, cartridges, etc.

Table 21 - Material costs

Name	Unit of measurement	Quantity	Price per unit, rub.	Costs of materials 3М, rub.
Toolkit	thing	1	4880	4880
Gloves	couple	3	91	273
Work clothes	set	3	5600	16800
Helmet	thing	3	250	750
A4 size printer paper (500 litas)	pack	2	270	540
Ballpoint pen	thing	6	25	150
Pencil	thing	5	20	100
Printer ink	thing	1	600	600
Total, rub.				24093

In the sum, the material costs were 24,093 rubles. Prices average for the city of Tomsk are taken.

5.2. Calculation of costs for special equipment for the research

This category includes all costs associated with the purchase of special equipment (instruments, control and measuring apparatus, devices and mechanisms) necessary for diagnostics.

All calculations for the purchase of special equipment used for each version, are shown in the Table 22.

Table 22 - Costs for the purchase of special equipment

№	Equipment identification			Number of pieces of equipment			Unit price, thous. rub			The total cost of equipment, thous. rub.		
	execu.1	execu.2	execu.3	execu.1	execu.2	execu.3	execu.1	execu.2	execu.3	execu.1	execu.2	execu.3
1	ADP-3101	KVARTS-2	AGAT-M	1	1	1	390,2	542,8	327,6	390,2	542,8	327,6
2	Laptop Acer Swift 3 SF314-56-349F NX.H4CER.007			1	1	1	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9	47,9
Total:										438,1	590,7	375,5

We take into account the cost of delivery in the amount of 15% of its price, then the cost of purchasing special equipment for three versions will be equal:

$$З_{об1+дост} = З_{об1} \cdot 1,15 = 438,1 \cdot 1,15 = 503,815 \text{ thous. rub.} \quad (33)$$

$$З_{об2+дост} = З_{об2} \cdot 1,15 = 590,7 \cdot 1,15 = 679,305 \text{ thous. rub.} \quad (34)$$

$$З_{об3+дост} = З_{об3} \cdot 1,15 = 375,5 \cdot 1,15 = 431,825 \text{ thous. rub.} \quad (35)$$

5.3. Basic salary for investigators

This category includes the basic salary of $З_{оч}$ and additional salary $З_{доп}$.

$$З_{зп} = З_{оч} + З_{доп} \quad (36)$$

Additional salary is 12-20% of $З_{оч}$.

The basic salary is calculated according to the formula:

$$З_{оч} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (37)$$

where T_p – duration of the work, working days. (Table 19);

$З_{дн}$ – average daily salary of an employee, rub.

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (38)$$

Where $З_m$ – employee's monthly salary, rub.;

M – a number of months of the work without vacation during the year:

F_d – effective annual working time fund, working days..

effective annual working time fund, working days;

The leave of 56 working days M equals 10 months, 6 days week;

Employee's monthly salary:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пп} + k_d) \cdot k_p \quad (39)$$

where $З_{тс}$ – salaries according to the tariff rate, rub.;

$k_{пп}$ – premium coefficient is equal to 0,3 (those. 30% of $З_{тс}$);

k_d – coefficient of surcharges and surcharges being accepted as 0,2;

k_p – district coefficient is equal to 1,3 (for Tomsk).

5.4. Additional salary for research performers

The costs of additional salaries for performers of the research include the amount of additional payments provided by the Labor Code of the Russian

Federation for deviations from normal working conditions, as well as payments related to the provision of guarantees and compensations.

Additional salary:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (40)$$

Where $k_{доп}$ – a coefficient of additional salaries (taken as 0,18).

Salaries are taken in accordance with the positions occupied by TPU.

Calculation of a supervisor's salary (six-day working week):

$$З_{м} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пп} + k_{д}) \cdot k_{р} = 27300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53235 \text{ rub} \quad (41)$$

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_{д}} = \frac{53235 \cdot 10}{365 - 66 - 56} = 2191 \text{ rub} \quad (42)$$

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{р} = 2191 \cdot 7,7 = 16871 \text{ rub} \quad (43)$$

$$З_{доп} = 0,18 \cdot 16871 = 3037 \text{ rub} \quad (44)$$

Calculation of an engineer's salary (five-day working week):

$$З_{м} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пп} + k_{д}) \cdot k_{р} = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ rub} \quad (45)$$

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_{д}} = \frac{31590 \cdot 11}{365 - 117 - 28} = 1580 \text{ rub} \quad (46)$$

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{р} = 1580 \cdot 46,2 = 72996 \text{ rub} \quad (47)$$

$$З_{доп} = 0,18 \cdot 72996 = 13139 \text{ rub} \quad (48)$$

The results of the calculation of the salaries of all the performers of the project are shown in the Table 23.

Table 23 - Calculation of salaries

Performer of the project	$З_{тс}$, rub.	$k_{пп}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$, rub.	$З_{дн}$, rub.	$T_{р}$, lab. days	$З_{осн}$, rub.	$k_{доп}$, rub.	$З_{доп}$, rub.	Total, rub.
Supervisor	27300	0,3	0,2	1,3	53235	2191	7,7	16871	0,18	3037	19908
Engineer	16200				31590	1580	46,2	72996		13139	86135

As a result of these calculations, the basic salary was counted up for the performers of the project. Table 8 (Table 23???) shows that the supervisor's basic

salary is the highest, at the same time the engineer's final basic salary appeared to be the highest, since the basic salary depends on the duration of the project.

5.5. Contributions to extrabudgetary funds

Contributions to extrabudgetary funds include the norms of state social insurance (Fcc) bodies, the pension fund (PF) and medical insurance (FFOM) from labor costs established by the legislation of the Russian Federation.

The amount of contributions to extrabudgetary funds:

$$З_{\text{внб}} = k_{\text{внб}} \cdot (З_{\text{очн}} + З_{\text{доп}}), \quad (49)$$

where $k_{\text{внб}}$ — ratio of payments to extrabudgetary funds.

For 2019, in accordance with the Federal Law of 24.07.2009 №212- Ф3 (edit. from 19.12.2016) the amount of insurance premiums has been set equal to 30 %.

Table 24 presents the results for the calculation of contributions to extrabudgetary funds of all performers.

Table 24 - Contributions to extrabudgetary funds.

The performer of the project	Basic salary, rub.	Additional salary, rub.
Supervisor	16871	3037
Engineer	72996	13139
Ratio of contributions to extrabudgetary funds	0,3	
Итого		
Supervisor	5972	
Engineer	25841	

6. Overhead costs

Overhead costs include other expenses of the organization that are not accounted for in the previous Categories of Expenses: payment for communication services, electricity, the Internet, etc.

Overhead costs:

$$З_{\text{накл}} = (\text{sum of categories 1} \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (50)$$

where $k_{\text{нр}}$ – overhead factor, 16%.

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{м}} + З_{\text{об}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 \quad (51)$$

$$З_{\text{накл1}} = (24093 + 503815 + 89867 + 16176 + 31813) \cdot 0,16 = 106522 \text{ rub}$$

$$З_{\text{накл2}} = (24093 + 679305 + 89867 + 16176 + 31813) \cdot 0,16 = 134600 \text{ rub}$$

$$З_{\text{накл3}} = (24093 + 431825 + 89867 + 16176 + 31813) \cdot 0,16 = 95004 \text{ rub}$$

6.1. Formation of the budget for the costs of a scientific and research project

The calculated amount of research costs is the basis for the formation of the project cost budget. The definition of the project cost budget is shown in the Table 25.

Table 25 - Research Cost Budget

Category title	sum, rub.			Note
	performer 1	performer 2	performer 3	
7. Material costs	24093	24093	24093	point 5.1
8. Costs for special equipment	503815	679305	431825	point 5.2
9. Costs of basic salaries	89867	89867	89867	point 5.3
10. Costs of additional salaries	16176	16176	16176	point 5.4
11. Contributions to extrabudgetary funds	31813	31813	31813	point 5.5
12. Overhead costs	106522	134600	95004	16% from sum ct.1-5
Research cost budget	772286	975854	688778	sum point.1-6

The cost budget of the project for performer # 1 is 772286 rubles, for performer # 2 - 975854 rubles, for performer # 3 - 688778 rubles. The largest percentage of the budget in all cases is driven by expensive special equipment (from 62 to 69%).

6.2. Determination of the resource efficiency of the project

Determination of efficiency is carried out on the basis of calculating the integral indicator of the effectiveness of scientific research. Its finding is connected with the determination of two weighted averages: financial efficiency and resource efficiency.

The integral financial development indicator is defined as:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (52)$$

where $I_{\text{финр}}$ – the integral financial development indicator;

Φ_{pi} – the cost of the i option and the performance;

Φ_{max} - the maximum cost of a research project.

For option 1 and execution, we have:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{772286}{975854} = 0,791 \quad (53)$$

For option 2 and execution, we have:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{975854}{975854} = 1 \quad (54)$$

For the option 3 of the performance, we have:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{\text{рз}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{688778}{975854} = 0,706 \quad (55)$$

The integral indicator of the resource efficiency of the options and the implementation of the object of research can be determined as follows:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (56)$$

where I_{pi} – the integral indicator of rescue efficiency;

a_i – a weight development factor;

b_i – a development score.

Table 26 - Comparative assessment of the characteristics of the developed project

Criteria	Significance coefficient	performer 1	performer 2	performer 3
7. Security	0,2	5	5	5
8. Reliability	0,2	5	5	4
9. Durability	0,2	5	5	3
10. Ease of use	0,15	5	3	4
11. Maintainability	0,15	4	4	5
12. Energy saving	0,1	4	5	4
Total	1,00			

We calculate the indicator of resource efficiency:

$$I_{\text{р-исп1}} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,75 \quad (57)$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,55 \quad (58)$$

$$I_{\text{р-исп3}} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,15 \quad (59)$$

The integral indicator of the effectiveness of the options and the implementation of the development ($I_{\text{исп}i}$) are determined on the basis of the integral indicator of reeffectiveness and the integral financial indicator according to the formula:

$$I_{\text{исп}i} = \frac{I_{\text{р-исп}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}} \quad (60)$$

$$I_{\text{исп}1} = \frac{4,75}{0,791} = 6 \quad (61)$$

$$I_{\text{исп}2} = \frac{4,55}{1} = 4,55 \quad (62)$$

$$I_{\text{исп}3} = \frac{4,15}{0,706} = 5,88 \quad (63)$$

Comparison of the integral indicator of the efficiency of the options and the implementation of the development will make it possible to determine the

comparative efficiency of the project and choose the most expedient option out of the proposed.

Comparative project efficiency (\mathfrak{E}_{cpi}):

$$\mathfrak{E}_{cpi} = \frac{I_{ncpi}}{I_{ncpi_{min}}} \quad (64)$$

$$\mathfrak{E}_{cp1} = \frac{6}{4,55} = 1,32 \quad (65)$$

$$\mathfrak{E}_{cp2} = \frac{4,55}{4,55} = 1 \quad (66)$$

$$\mathfrak{E}_{cp3} = \frac{5,88}{4,55} = 1,29 \quad (67)$$

Table 27 - Comparative efficiency of the development

№ п/п	Indicators	performer1	performer2	performer3
1	Integral financial development indicator	0,791	1,0	0,706
2	Integral indicator of resource efficiency of the development	4,75	4,55	4,15
3	Integral indicator of efficiency	6	4,55	5,88
4	Comparative efficiency of options and implementation	1,32	1,0	1,29

As a result of performing this section, an analysis of competitive technical solutions was carried out, with the help of which the most suitable vibration analyzer was selected for diagnostics of the technological piping of the attached unit, namely ADP-3101.

A calendar plan-schedule of the work on carrying out the research of each of the performers has been constructed. The total number of days to complete the research is 78 days.

The budget of the project using the vibration analyzer ADP-3101 is 772286 rubles whereas using KVARTS-2 makes 975854 rubles and AGAT-M – 688778 rubles respectively. The largest percentage of the budget in all cases is kept by expensive special equipment (62 – 69 %).

The comparison of the effectiveness of the research for each implementation showed the economic feasibility of the implementation of the work with the help of a vibration analyzer ADP-3101, having the highest indicator of resource efficiency $I_p=4,75$.

In accordance with the results obtained in this section, we conclude that the study of the stress-strain state of the technological pipeline is economically feasible and justified.