

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок

УДК 621.644:620.179.17

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Вахитов Дамир Линнурович		.05.2018

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Харламов С.Н.	д.ф.-м.н, проф.		.05.2018

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Макашева Ю.А.			.05.2018

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			.05.2018

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коротченко Т.В.	к.ф.н., доцент		.05.2018

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		.05.2018

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20
<i>в области проектной деятельности</i>		

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i>	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в международной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли</i>
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"</i>
P11	Повышение надежности, долговечности, эффективности газотранспортного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 И.О.Зав. кафедрой
 Бурков П.В.

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной аттестационной работы

По форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Вахитову Дамиру Линнуровичу

Тема работы:

«Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.03.2018 г., №1624/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Основные технические характеристики объекта:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - диаметр входного нефтепродуктопровода $D_{\text{вх}}=159$ мм; - проектное давление газа на выходе насоса – 1,6 МПа; - максимально достигнутое давление на выходе насоса – 1,6 МПа; - проектная производительность $Q_{\text{пр}}$ насоса – 180 м³/ч;
---	---

<p>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 работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • изучить нормативно – техническую документацию по строительству и проектированию НБ; • проанализировать источники динамических нагрузок при течении среды в трубе; • смоделировать процесс течения топлива в программном комплексе ANSYS; • предложить оптимальный режим работы насоса.
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Макашева. Ю.А., Ассистент
«Социальная ответственность»	Немцова. О.А., Ассистент

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
1. Теоретическая часть	
2. Расчётная часть	
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	
4. Социальная ответственность	
5. Заключение	
6. Problems of acoustic vibration at the design stage	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной аттестационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Харламов С.Н.	Д.ф-м.н.		.05.2018

Задание принял к исполнению слушатель:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Вахитов Д.Л.		.05.2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа: природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Уровень образования: магистратура
 Отделение: Нефтегазовое дело
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года
 Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	.05.2018
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
26.09.2018	Введение	5
17.10.2018	Литературный обзор, объект и методы исследования объекта	15
28.11.2018	Анализ источников динамических нагрузок в трубе	20
16.02.2018	Моделирование параметров потока дизельного топлива в трубопроводной обвязке насосной станции	15
20.03.2018	Анализ результатов моделирования виброакустических нагрузок в трубе	10
17.04.2018	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5
17.04.2018	Раздел «Социальная ответственность при эксплуатации нефтебаз»	5
24.04.2018	Заключение	8
8.05.2018	Реферат	2
8.05.2018	Написание пояснительной записки	3
8.05.2018	Подготовка доклада	6
8.05.2018	Оформление презентации	6
	Итого	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Харламов С.Н.	д.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
и.о. ОНД	Бурков П.В.	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная аттестационная работа: 86 с., 26 рис., 16 табл., 44 источника

Ключевые слова: вибрация, насосные станции, динамические колебания, трубопровод, моделирование.

Объектом исследования является (ются): Насосный агрегат 180-50, технологический трубопровод

Цель работы: провести комплексное физико-математическое моделирование и численное исследование процессов, сопровождающих функционирование трубопровода при виброакустическом воздействии, осложненном наличием внутренних теплогидродинамических эффектов, обусловленных пульсациями рабочей жидкости при ее неизотермическом пространственном течении, а также сопряженного теплопереноса с внешней средой.

В процессе исследования проводились: выявление закономерности гидродинамического нагружения элементов обвязки насосного агрегата.

В результате исследования: были подробно рассмотрены условия, при которых возможен выход из строя участков технологического трубопровода насосной станции.

Основные конструктивные: Насосный агрегат 180-50, отвод крутоизогнутый ($R=1,5DN$).

Степень внедрения: влияние динамических нагрузок на насосных станциях.

Область применения: насосные станции нефтебаз

Экономическая эффективность: Трудозатраты на выполнение исследования составили 75470,92 руб. В то время как затраты, которые несет компания для устранения инцидента (разрыв трубопровода), гораздо выше, так суток простоя стоит для организации около 181 000 000 млн. руб. В будущем планируется продолжить обучение в НИ ТПУ, поступив в аспирантуру и продолжить изучение динамических нагрузок на технологические трубопроводы.

Оглавление

Введение.....	9
1. Теоретическая часть.....	11
1.1. Постановка задачи.....	11
1.2. Исследование процессов виброакустического взаимодействия в агрегатах и трубопроводной обвязке компрессорной установки ВХ 350-7-3.....	19
1.3. Виброакустическая модель прямолинейного неоднородного трубопровода.....	30
2. Расчетная часть.....	35
2.1. Входящие условия.....	35
2.2. Конечно-элементная сетка	36
2.3. Результаты расчета.....	37
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
3.1. Организация и планирование работ	39
3.2. SWOT – анализ	40
3.3. Расчет сметы затрат на выполнение исследования.....	41
3.4. Расчет основной заработной платы и транспортных расходов.....	43
3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	45
4. Социальная ответственность.....	49
4.1. Производственная безопасность.....	49
4.1.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	57
4.1.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	57
4.2. Экологическая безопасность.....	66
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	67
4.3.1. Анализ наиболее вероятной ЧС и причин ее возникновения.....	67
4.3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	67
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
4.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	69
4.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	71
Заключение	74
Список используемой литературы	75
Приложение А	79

Введение

В условиях постоянного ухудшения сырьевой базы большое значение на развитие топливно-энергетического комплекса оказывает развитие шельфовых месторождений, следовательно, и подводного трубопроводного транспорта. Флюид, поступающий по трубопроводам, при определенных термодинамических условиях способен оказывать силовые воздействия на стенки. Для успешного применения технологий строительства и успешного проведения технологических операций необходимо прогнозировать изменение величины воздействия во времени при различных условиях.

При происходящих в трубопроводе процессах пульсаций рабочей жидкости для прогнозирования нагрузок важно иметь представление о механизмах течения и тепломассопереноса при разных видах течения. Поэтому исследования, направленные на изучение физических процессов, способствующих образованию напряжений в трубопроводах, являются актуальными.

В настоящей работе поставлена цель: провести комплексное физико-математическое моделирование и численное исследование процессов, сопровождающих функционирование трубопровода при виброакустическом воздействии, осложненном наличием внутренних теплогидродинамических эффектов, обусловленных пульсациями рабочей жидкости при ее неизотермическом пространственном течении, а также сопряженного теплопереноса с внешней средой.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- проанализировать российские и зарубежные источники литературы, касающихся механизмов пульсации в потоке флюида в трубопроводе;

					<i>Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Вахитов Д.Л.			Введение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Харламов					9	2
<i>Консульт.</i>		Харламов				НИ ТПУ гр. 2БМ6Б		
<i>Рук-ль ООП</i>		Бурков П.В.						

- провести моделирование процессов в рамках оригинальной модели и метода решения задачи;
- предложить для оптимальные режимы работы насосного агрегата, которые будут рекомендованы в практику.

Основные выводы, которые планируется сделать в рамках магистерской диссертации:

1) будет получена виброакустическая модель прямолинейного неоднородного трубопровода с учетом тепломассопереноса в трубопроводах, с помощью которой можно будет точнее прогнозировать напряжения трубопровода;

2) будут получены оптимальные режимы течения среды, которые будут рекомендованы в практику.

					Введение	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Теоретическая часть

1.1 Постановка задачи

При постановке задачи анализа прочности трубопроводов принято полагать, что показатели физико-механических показателей материала конструкций трубопроводных систем, находящихся в эксплуатации, и геометрическая конфигурация, а также значения суммарных силовых нагрузок, влияющих на данные конструкции, известны. Всякое воздействие, приводящее к возникновению в трубопроводе статического напряженно-деформированного состояния, здесь подразумеваются в качестве обобщенных силовых факторов. Например, температурный перепад, давление транспортируемой среды, вынужденное смещение от проектного положения и т.п.

Основополагающими источниками данных для сбора исходной информации служат результаты проведенных паспортизации, технической диагностики, инженерных изысканий, проектная, строительная и эксплуатационная документация, а также специально проведенные дополнительные исследования.

Исходя из имеющейся информации, необходимо проводить анализ сложного напряженно-деформированного состояния, как всей трубопроводной системы, так и отдельных ее элементов; определить соответствие расчетных запасов прочности этих элементов требуемым нормам и оценить действительную прочность максимально загруженных участков.

При действии статической нагрузки задачи определения напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций в общих постановках являются крайними задачами механики деформированного

					<i>Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Вахитов Д.Л.			Введение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Харламов					11	
<i>Консульт.</i>		Харламов						
<i>Рук-ль ООП</i>		Бурков П.В.						
						НИ ТПУ гр. 2БМ6Б		

твёрдого тела. Данные задачи, в предположении бесконечно малой деформации, сводятся к решениям при заданных граничных условиях систем, состоящих из геометрического соотношения (уравнения Коши, устанавливающего связи между перемещением и деформацией, и уравнение совместности деформации Сен-Венана), дифференциального уравнения равновесия (уравнений Навье), физического уравнения, определяющего связи между деформацией и напряжением. От выбора координатных систем в трехмерных пространствах зависят математические формы записей этого уравнения. Не нарушая общности рассуждения, для упрощения выкладки, выбираем прямоугольные декартовы системы координат (x_1, x_2, x_3) . В данных случаях рассматриваемые системы уравнений имеют следующий вид [4]:

– уравнение равновесия Навье

$$\psi = 1 - \frac{E_y}{E_x} \cdot v_{yz}^2 - \frac{E_z}{E_y} \cdot v_{yz}^2 - \frac{E_z}{E_x} \cdot v_{xz}^2 - 2 \cdot \frac{E_z}{E_x} \cdot v_{xy} \cdot v_{yz} \cdot v_{xz}. \quad (1)$$

– уравнение Коши

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \cdot (u_{i,j} + u_{j,i}); \quad (2)$$

– уравнение совместной деформации Сен-Венана

$$\varepsilon_{ki,jl} + \varepsilon_{lj,ik} - \varepsilon_{li,jk} - \varepsilon_{kj,il} = 0, \quad (3)$$

где ε_{ij} – компонент тензоров деформации; σ_{ij} – компонент тензоров напряжения; F_i – компонент векторов объемных сил; u_i – компонент векторов перемещения; j – оператор дифференцирования $\partial/\partial x_j$; $i, j, k, l = 1, 2, 3$. В выражении (1) и далее суммирование проводится по повторяющемуся индексу.

Необходимо добавить физическое уравнение для замыкания систем (1 – 3), которое основывается на экспериментальном исследовании макроскопических физико-механических свойств материала. Одной из наименее сложной математической модели является модель, построенная в предположении линейно-упругого поведения материалов при загрузении.

					Теоретическая часть	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Напряжения и деформации в линейно-упругих моделях взаимно и однозначно линейно связаны друг с другом, а соответствующие выражения этой связи (называемый законом Гука) в общем виде записываются так:

$$\sigma_{ij} = E_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad (4a)$$

где E_{ijkl} – тензор упругости [5].

Трубные стали, как показывают экспериментальные данные [1], обладают свойством изотропии своих физико-механических свойств в довольно точном приближении. Дополнительно, как и большинство конструкционных материалов, данные стали при малых деформациях следуют закону Гука. Благодаря этому, при анализе напряженно-деформированного состояния магистральной трубопроводной системы по причине физического обоснования мизерности ожидаемых деформаций, или в прочих строго обоснованных случаях, можно использовать линейно-упругую модель материала труб. При этом значительно уменьшается трудоемкость расчетов и время их проведения, не снижая точности расчетов и результатов. Стандартные технические характеристики: коэффициент Пуассона ν (либо модуль сдвига G); модуль Юнга E удобно использовать в качестве независимых параметров упругих свойств материала. Эти характеристики связаны между собой соотношением:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}. \quad (5)$$

Вместо выражения (4a), для расчета тепловых деформаций, возникающих по причине изменения температуры стенок трубопровода в процессе эксплуатации, требуется использовать уравнение Дюамеля – Неймана, рассчитанное из опытного факта аддитивности температурных и упругих деформаций:

$$\sigma_{ij} = E_{ijkl} (\varepsilon_{kl} - \alpha \cdot \Delta T), \quad (4б)$$

где ΔT – изменение температуры; α_{kj} – тензор коэффициентов температурного расширения.

Для изотропного материала тензор коэффициентов температурного

					Теоретическая часть	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

расширения является шаровым, то есть $\alpha_{kl} \neq 0$, только при $k = l$, и $\alpha_{kk} = \alpha$. Если изменения температур стенки трубы не превышают 150°C , то параметры α можно считать не зависящими от температур T коэффициентами линейных температурных расширений материалов. При превышениях температурных перепадов стенки трубопроводов значение 150°C для получения корректного результата при моделировании необходимо учитывать зависимости всех характеристик физико-механического свойства и показателей прочностей материалов трубы от температур.

Используя выбранный материальный параметр, соотношения (4б) для изотропных материалов можно записать в виде [3]:

$$\sigma_{ij} = \frac{E}{1+\nu} \left[\varepsilon_{ij} + \left(\frac{3 \cdot \nu}{1-2 \cdot \nu} - \frac{1+\nu}{1-2 \cdot \nu} \cdot \alpha \cdot \Delta T \right) \cdot \delta_{ij} \right],$$

где $\varepsilon_0 = (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33})/3$ – средние деформации ($3 \cdot \varepsilon_0$ – объемные деформации); δ_{ij} – символ Кронкера ($\delta_{ij} = 1$ при $i = j$; $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$).

Как отмечалось выше, изотропии физико-механического свойства материалов трубопровода являются хотя и достаточно хорошими, но все равно приближениями. В действительности, вследствие технологий производств, каждые прокатанные стальные листы (штрипсы), а, следовательно, и сами трубы, изготовленные из них. Поэтому при наличии достоверной исходной данной для получения высокоточного результата численных моделирований следует учитывать ортотропии физико-механического свойства материалов трубы [6].

В общих случаях тензоры упругостей ортотропных материалов содержит 8 независимых компонент. Поэтому для записей явного вида выражений (4б) необходимо иметь 12 независимых материальных параметров. В качестве таких параметров наиболее удобно выбирать стандартные технические характеристики: $E_x, E_y, E_z; \nu_{xy}, \nu_{yz}, \nu_{xz}; G_{xy}, G_{yz}, G_{xz}; \alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$. В ортотропных материалах $\nu_{ij} \neq \nu_{ji}$ при $i \neq j$. Однако из условий симметричности тензоров E_{ijkl} следует, что коэффициенты Пуассона $\nu_{xy}, \nu_{yz}, \nu_{xz}$ не являются независимыми параметрами и связаны с другими

					Теоретическая часть	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

характеристиками следующим образом:

$$\frac{\nu_{xy}}{E_x} = \frac{\nu_{yx}}{E_y}; \frac{\nu_{yz}}{E_y} = \frac{\nu_{zy}}{E_z}; \frac{\nu_{xz}}{E_x} = \frac{\nu_{zx}}{E_z}. \quad (6)$$

Выразив с учетом (6) компоненты тензора упругости E_{ijkl} в (4б) через указанные выше независимые характеристики и выписав компоненты тензора напряжений через компоненты тензора деформаций, для упругих ортотропных материалов при условии термо-механических нагружений получаем:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= \frac{E_x}{\psi} \cdot \left(1 - \frac{E_z}{E_y} \cdot \nu_{yz}^2\right) \cdot (\varepsilon_x - \alpha_x \cdot \Delta T) + \frac{E_y}{\psi} \cdot (\nu_{xy} + \frac{E_z}{E_y} \cdot \nu_{yz} \cdot \nu_{xz}) \cdot (\varepsilon_y - \alpha_y \cdot \Delta T) + \\ &+ \frac{E_z}{\psi} \cdot (\nu_{xz} + \nu_{xy} \cdot \nu_{yz}) \cdot (\varepsilon_z - \alpha_z \cdot \Delta T); \\ \bar{\sigma}_y &= \frac{E_y}{\psi} \cdot \left(1 - \frac{E_z}{E_x} \cdot \nu_{xz}^2\right) \cdot (\varepsilon_y - \alpha_y \cdot \Delta T) + \frac{E_y}{\psi} \cdot (\nu_{xz} + \frac{E_z}{E_y} \cdot \nu_{yz} \cdot \nu_{xz}) \cdot (\varepsilon_x - \alpha_x \cdot \Delta T) + \\ &+ \frac{E_y}{\psi} \cdot (\nu_{yz} + \frac{E_y}{E_x} \cdot \nu_{xy} \cdot \nu_{xz}) \cdot (\varepsilon_z - \alpha_z \cdot \Delta T); \\ \bar{\sigma}_z &= \frac{E_z}{\psi} \cdot \left(1 - \frac{E_y}{E_x} \cdot \nu_{xy}^2\right) \cdot (\varepsilon_z - \alpha_z \cdot \Delta T) + \frac{E_z}{\psi} \cdot (\nu_{yz} + \frac{E_y}{E_x} \cdot \nu_{xy} \cdot \nu_{xz}) \cdot (\varepsilon_y - \alpha_y \cdot \Delta T) + \\ &+ \frac{E_z}{\psi} \cdot (\nu_{xz} + \nu_{xy} \cdot \nu_{yz}) \cdot (\varepsilon_x - \alpha_x \cdot \Delta T); \end{aligned} \quad (4в)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \cdot \varepsilon_{xy}; \sigma_{yz} = G_{yz} \cdot \varepsilon_{yz}; \sigma_{xz} = G_{xz} \cdot \varepsilon_{xz};$$

$$\text{где } \psi = 1 - \frac{E_y}{E_x} \cdot \nu_{yz}^2 - \frac{E_z}{E_y} \cdot \nu_{yz}^2 - \frac{E_z}{E_x} \cdot \nu_{xz}^2 - 2 \cdot \frac{E_z}{E_x} \cdot \nu_{xy} \cdot \nu_{yz} \cdot \nu_{xz}.$$

В штрипсе, применяемом в изготовлении труб, коэффициенты линейного расширения во всех направлениях одинаковы ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = \alpha$), а различия другого физико-механического свойства, как правило, ярко выражено лишь для одних направлений измерений листов. В связи с этим обстоятельством число подлежащих экспериментальным определениям материального параметра может быть уменьшено. Предположим, к примеру, что различие физико-механического свойства наблюдается только между направлениями (любыми) «в плоскостях листов» и направлениями «по толщинам листов». Тогда в декартовых системах координат, оси O_x, O_z которые лежат в плоскости листов, а ось O_y направлена по толщинам листов, можно положить: $E_x = E_z; \nu_{xy} = \nu_{yz}; G_{xy} = G_{yz}$. Поэтому число входящего в тензоры упругостей независимого материального параметра снижается до

					Теоретическая часть	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пяти, например: E_x ; E_y ; ν_{xy} ; ν_{xz} ; G_{xy} . Заметим, что в данных случаях модули сдвигов G_{xz} уже не являются независимыми характеристиками материалов, а вычисляются по выражениям (5), где $E = E_x$; $\nu = \nu_{xz}$. Таким образом, в рассмотренных примерах для записей явного вида выражений (4б) требуется всего 6 независимых материальных материалов.

Линейно-упругие поведения материалов трубопровода наблюдаются лишь при малой (обратимой) деформации. Дальнейшие увеличения нагрузок приводят к тому, что в металлах трубы появляется необратимая пластическая деформация, развитие которой и приводит к разрушениям трубопроводных конструкций.

Для адекватных оценок прочностей магистрального трубопровода, при анализах предельного состояния, необходимо надлежащим образом учитывать нелинейное пластическое свойство трубной стали. Кроме того, даже в случае, когда деформация трубопроводных конструкций мала и не выходит за предел упругих областей, реальные расчетные картины напряженно-деформированного состояния подземного участка трубопровода можно получить, лишь учитывая нелинейное сопротивление окружающих его грунтов.

Все это явление можно с приемлемой точностью моделировать, используя математическую модель, описывающую поведение упруго-пластической среды. В общих случаях уравнения поверхностей нагружений для упруго-пластического материала имеет вид:

$$f(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^p, T, \chi_i) = 0, \quad (4\Gamma)$$

где ε_{ij}^p – компонент тензоров пластической деформации; T – температуры; χ_i – параметр материалов, определяющий законы их упрочнений. Конкретная модель упруго-пластической среды, применяемое для анализов прочностей трубопровода, будет рассмотрено ниже.

Кроме физических нелинейностей свойства материала при анализах предельного состояния трубопровода необходимо также учитывать геометрические нелинейности конечной деформации. Для этого линейное

					Теоретическая часть	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

соотношение Коши (2), полученное в предположении бесконечно малой деформации, заменяется нелинейным уравнением Грина, учитывающим в выражении для компоненты тензоров деформации слагаемое второго порядка:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \cdot (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,i} \cdot u_{k,j}).$$

Соответственно, в декартовых системах координаты изменяется вид выражений (1), (3).

Уравнения (1 – 4) составляют замкнутые системы, полностью определяющие статические напряженно-деформированные состояния трехмерных конструкций. Данные системы могут быть решены, если задано граничное условие на поверхностях:

$$u_i = u_j^*, \quad x \in S_1; \quad (7)$$

$$\sigma_{ij} \cdot n_j = t_i, \quad x \in S_2, \quad (8)$$

где t_i – компонент векторов поверхностной силы; n_i – компонент векторов к нормальям к граничным поверхностям; $S_1 \cup S_2 = S$ – граничные поверхности; x – точки в трехмерных пространствах.

Решения систем (1 – 4) можно вести разным путем, в зависимости от того, что, прежде всего, необходимо определить. В наших случаях наиболее удобными способами являются прямые методы перемещения.

В методах перемещения за основное неизвестное принимается перемещение точки конструкций, которая представляется как функция пространственной координаты в выбранных координатных системах трех- или двухмерных (в зависимости от постановок задач) евклидовых пространств. Тогда, используя геометрическое соотношение (2) и физическое уравнение (4), можно выразить напряжение через перемещение и подставить полученное выражение в уравнение равновесий (1). Заметим, что при применении методов перемещения уравнение совместности деформации (3) выполняется автоматически и при решениях задачи не используется. Результирующая система дифференциального уравнения в частной

					Теоретическая часть	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

производной является системой эллиптических типов. Например, в случаях применений моделей линейно-упругих изотропных материалов и в предположениях бесконечной малости деформации, методы перемещения приводят к известному уравнению Ламе [2]:

$$3 \cdot (\mu + \lambda) \cdot \varepsilon_{0,i} + \mu \cdot \Delta u_i + F_i = 0 \quad i = \overline{1,3}, \quad (9)$$

где λ , μ – параметры Ламе, которые выражаются через техническую характеристику упругого свойства материалов ($\lambda = 2 \cdot \nu \cdot G / (1 - 2 \cdot \nu)$, $\mu = G$); Δ – операторы Лапласа. Соответственно, интегрирования систем (9) с учетом граничного условия (7) и (8) позволят определить все характеристики линейно-упругих напряженно-деформированных состояний трехмерных конструкций.

					Теоретическая часть	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Исследование процессов виброакустического взаимодействия в агрегатах и трубопроводной обвязке компрессорной установки ВХ 350-7-3

Большинство объектов современной техники подвержено действию виброакустических нагрузок. Возникновение и действие вибраций приводит к большим напряжениям в элементах машин и конструкций, снижает их функциональную надежность, вредно для людей. Сложность исследования вибрационной активности крупных объектов промышленности заключается в наличии нескольких источников возбуждения нагрузок, некоторые из которых невозможно установить визуально или как базу анализа рабочего цикла изучаемого объекта.

Группой исследователей из самарского государственного аэрокосмического университета, в которую входили Белозерцев А.В., Крючков А.Н., Прокофьев А.Б. и Сундуков Е.В., было проведено исследование виброакустического состояния компрессорной установки, представленной на рис.1. Регулируемый винтовой компрессор 2 приводится во вращение электродвигателем 3 с постоянной частотой вращения. Принудительная смазка компрессора осуществляется под давлением 1.5 МПа от шестеренного насоса 13, приводимого электродвигателем. Исследуемая среда под давлением до 1.5 МПа из маслоотделителя поступает в нагнетательный коллектор 8. В нагнетательном трубопроводе расположен обратный клапан 5 для предотвращения проникновения среды из системы в случае выключения, демонтажа и ремонта компрессорной установки. Исследование вибрационного состояния проводилось в точках, обозначенных на рисунке 1.

В ходе спектрального анализа временных реализаций вибропараметров в указанных на рис.1 точках было отмечено наличие составляющей 18,8 Гц. Данная составляющая присутствует во всех исследованных точках. Причем в большинстве случаев (например, на опорах электродвигателя 3, компрессора 2, на нагнетающем трубопроводе 8) она вносит подавляющий вклад в пульсационную картину вибросмещения. Меньшие значения амплитуды

					Теоретическая часть	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

частоты 18,8 Гц были зафиксированы на корпусе масляного насоса 13 системы смазки (в обоих горизонтальных направлениях и в вертикальном направлении), на опоре компрессора (в вертикальном направлении).

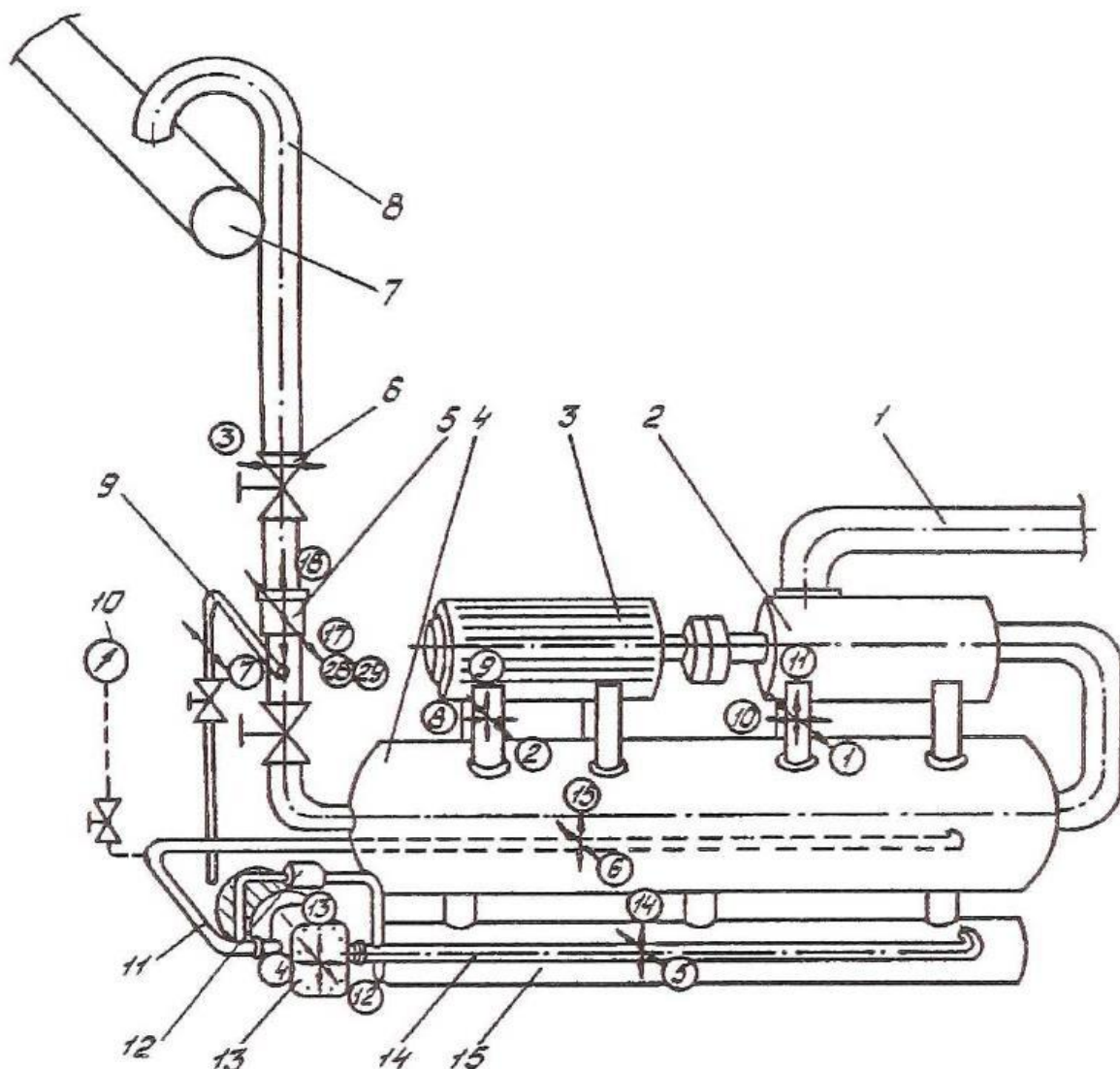


Рисунок 1 – Схема размещения и ориентации датчиков вибрации на агрегатах и трубопроводной обвязке компрессора ВХ 350 -7 -3:

1 - всасывающая магистраль; 2 - компрессор ВХ 350 - 7 - 3; 3 -электропривод; 4 - масляный сепаратор; 5 - обратный клапан; 6 - вентиль; 7 - общий коллектор; 8 - нагнетательный трубопровод; 9 - трубка пробоотборника; 10 - манометр давления масла; 11 - масляный нагнетательный трубопровод; 12 – редукционный клапан; 13 - маслонасос; 14 - масляный всасывающий трубопровод; 15 - маслосборник; 3 - номера кадров.

Для выделения источника колебаний частоты 18,8 Гц был проведен анализ кинематики возможных источников возбуждения. Очевидно, что подобными источниками являются электродвигатель привода компрессора,

сам компрессор и шестеренный насос масляной системы.

Частота вращения вала электродвигателя и компрессора составляет 3000 об/мин. Таким образом, роторная частота указанной системы равна 50 Гц. Возможно также возникновение колебаний высших частот. Так как число лопастей ротора компрессора равно 4, то “лопастная” частота компрессора составляет 200 Гц. Следующий возможный источник колебаний - масляный насос. Частота вращения его ротора - 1500 об/мин. Таким образом, роторная частота — 25 Гц. Число зубьев шестерни - 12. Зубцовая частота составляет 300 Гц. Проведенный анализ кинематики электродвигателя с компрессором и шестеренного насоса масляной системы показывает, что они не могут быть источниками возбуждения частоты 18,8 Гц, т.к. эта частота не кратна ни одной из частот спектра их колебаний.

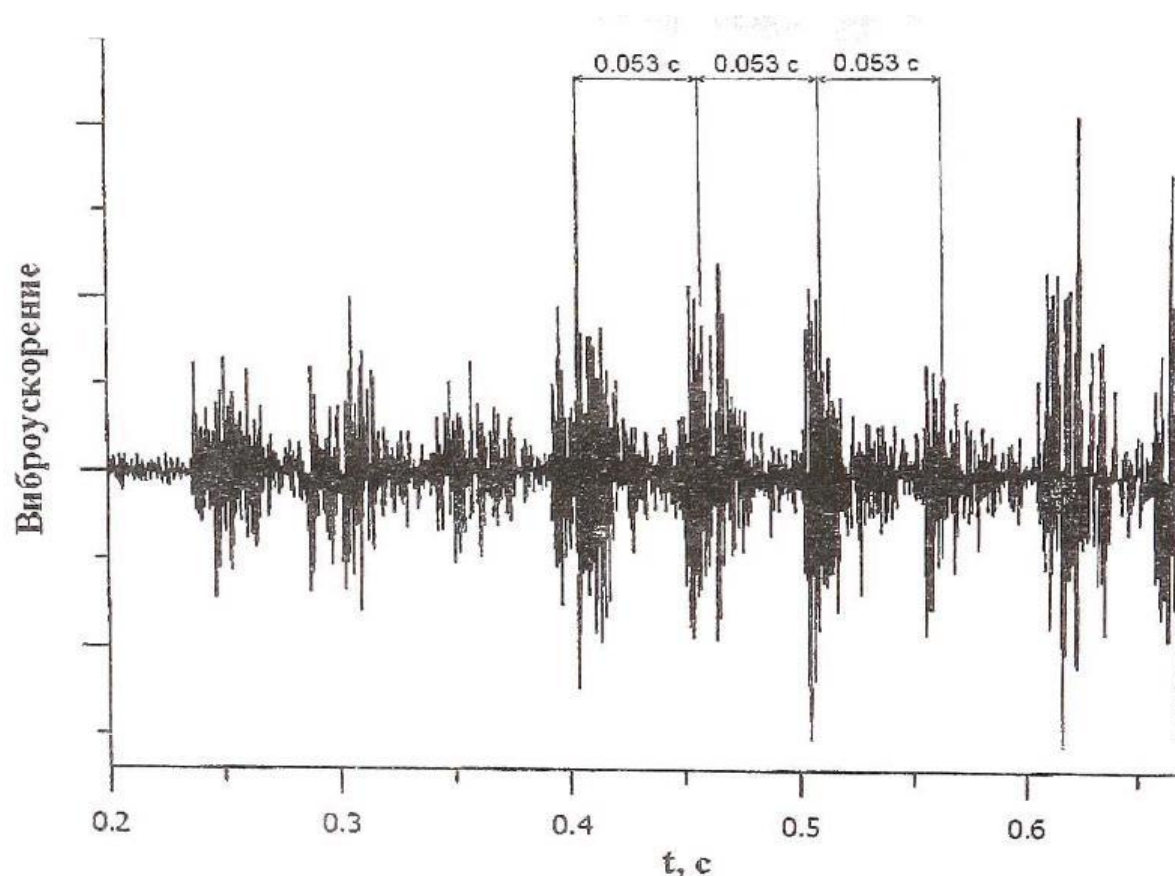


Рисунок 2 – Осциллограмма виброускорения в районе корпуса обратного клапана[1].

В ходе дальнейшего исследования характера работы компрессорной установки было обращено внимание на наличие стуков в районе корпуса обратного клапана нагнетательного трубопровода. С целью более тщательного

исследования данного явления была проведена запись временной реализации виброускорения с высокой частотой дискретизации (4000 Гц). На рисунке 2 представлена часть временной реализации виброускорения в указанной точке. Анализ осциллограмм позволяет отметить периодически повторяющиеся удары с частотой 18,8 Гц. Наиболее вероятная природа их возникновения - автоколебания клапана и его удары о седло, которое представляет собой фторопластовое кольцо. Таким образом, в качестве одного из источников возбуждения вибрации выступает обратный клапан нагнетательного трубопровода.

Было проведено исследование собственных частот механической системы нагнетательных трубопроводов на неработающем компрессоре методом простукивания. Расшифровка полученных осциллограмм позволяет сделать вывод, что одна из низших собственных частот вертикального трубопровода высокого давления равна 18,8 Гц.

Для определения возможности резонансных явлений в столбе рабочей среды в нагнетательных трубопроводах произведен оценочный расчет собственных частот колебаний. При расчете предполагалось: нагрузка на обоих концах трубопровода представляет собой акустически открытый конец; жесткость стенок трубопровода намного больше упругости рабочей среды, т.е. скорость звука в системе приближенно равна скорости звука в газе. Известно, что скорость звука в среде при $t=0$ °C $c=414,8$ м/с. При иных температурах, скорость звука определяется по формуле $c=c_{t=0} \cdot \sqrt{\frac{t+273}{273}}$. Таким образом, при $t=40$ °C $c=444,1$ м/с. Первая резонансная частота трубопровода, a акустически открытого с обоих концов, вычисляется по формуле $f = \frac{a}{2l}$ и при $l=3,8$ м (для рассматриваемой системы) составляет 58,4 Гц. Здесь следует отметить, что результаты данного расчета можно использовать лишь как оценочные, поскольку неизвестна истинная акустическая нагрузка рассматриваемого трубопровода.

Таким образом, в результате проделанного анализа, сделаны следующие выводы:

					Теоретическая часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

1. Основными источниками возбуждения вибраций элементов компрессорной установки являются обратный клапан нагнетательного трубопровода, электродвигатель привода и сам компрессор, шестеренный насос системы смазки и, возможно, редуционный клапан.

2. Коллектор нагнетательных трубопроводов представляет собой пневмомеханическую систему, работающую в сложных условиях виброакустическом взаимодействии ее подсистем. Основные положения, характеризующие эти взаимодействия, следующие:

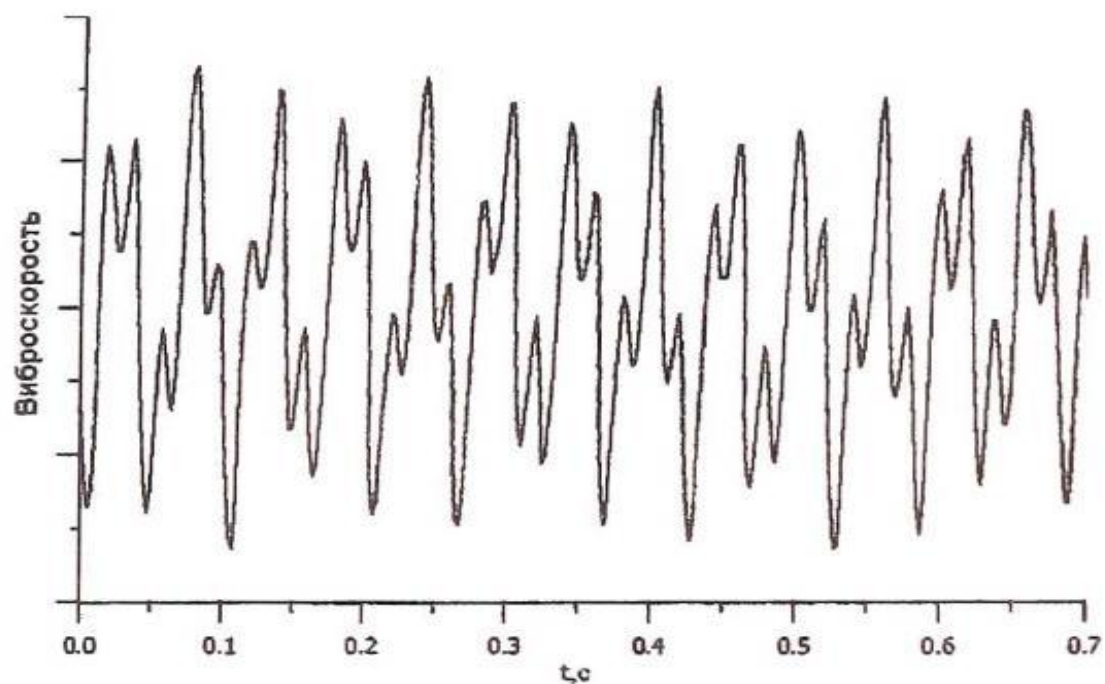
- автоколебания клапана возбуждают вибрацию всех элементов компрессорной установки на частоте 18,8 Гц;
- автоколебания клапана генерируют вынужденные пульсации рабочей среды в системе нагнетательных трубопроводов (амплитуда этих пульсаций достаточно незначительна);
- частота собственных механических колебаний нагнетательного трубопровода совпадает с частотой колебаний обратного клапана;
- низшая частота собственных колебаний столба газа в нагнетательном трубопроводе (58,4 Гц) практически кратна частоте пульсаций, генерируемых клапаном (18,8 Гц). Кратность – 3,11 ;
- низшая частота собственных колебаний столба рабочей среды в нагнетательном трубопроводе (58,4 Гц) практически совпадает с роторной частотой компрессора (50 Гц), также генерирующего определенные пульсации давления.

3. Возможно резонансное увеличение вибраций нагнетательных трубопроводов, как вследствие кинематического, так и силового возбуждения

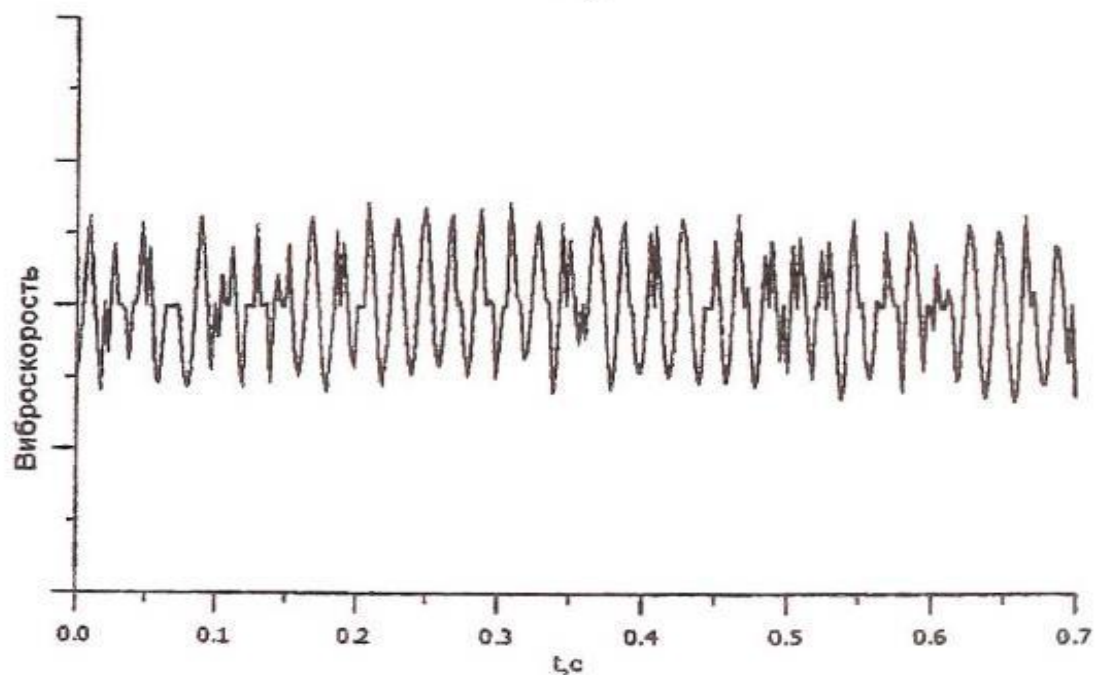
4. Возможно резонансное увеличение вибраций трубопроводов масляной системы.

Данные выводы хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований. Так, на рисунке 3а представлена осциллограмма виброскорости на

					Теоретическая часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23



а)



б)

Рисунок 3 – Осциллограммы виброскорости в районе корпуса обратного клапана:

а) при наличии слышимых стуков; б) при отсутствии слышимых стуков[1].

нагнетательном трубопроводе. Из рисунке 3а видно, что на каждый пик виброскорости, составляющей 18,8 Гц, (возможно обусловленной колебаниями обратного клапана), приходится по 2 меньших пика частоты 50 Гц (что вызвано собственными колебаниями акустической подсистемы нагнетательного

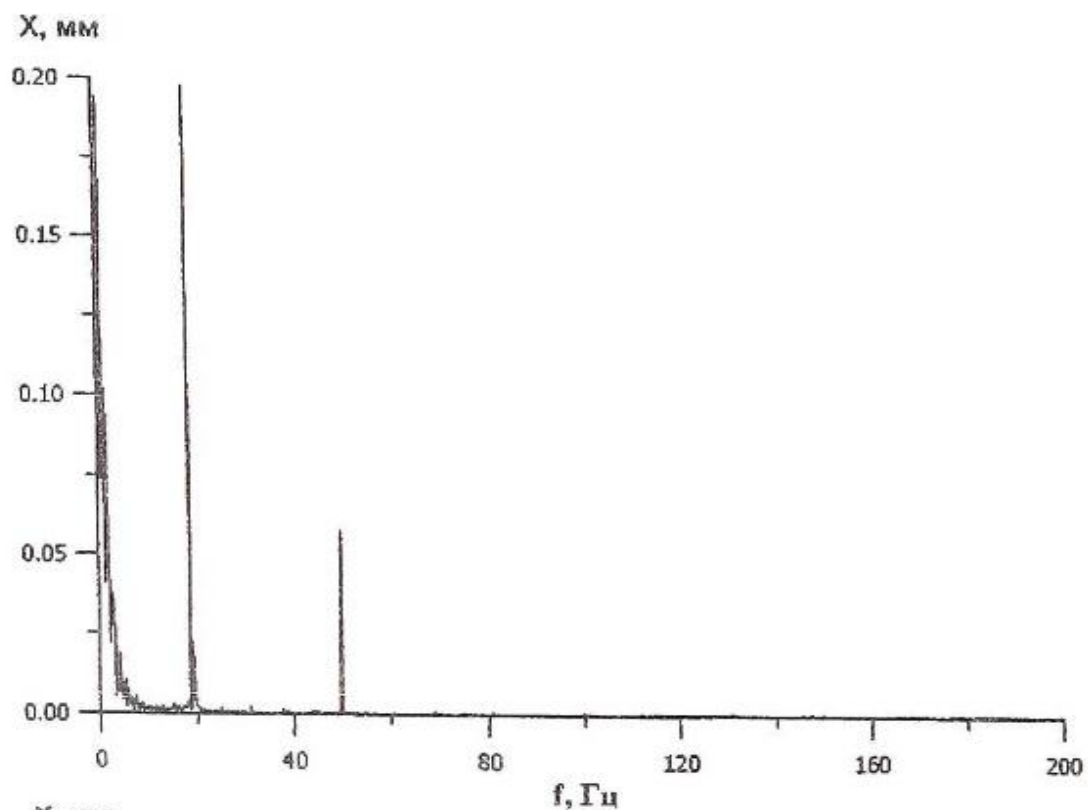
трубопровода). Соответствующая указанной осциллограмме спектрограмма вибросмещения представлена на рисунке 4а. Анализ рисунка 4а позволяет отметить, что амплитуда вибросмещения составляющей 18,8 Гц равна 0,2 мм, что не соответствует [1].

При выполнении операторами компрессорной станции технологической операции «разморозка» было отмечено прекращение слышимых «стуков» в районе корпуса обратного клапана. В ходе выполнения этой операции за счет регулирования положения выходного золотника агрегата при постоянной частоте вращения ротора компрессора давление на его выходе было снижено с 0,7 до 0,4 МПа. Было высказано предположение, что изменение режима работы компрессора способствует переходу клапана в область, где его автоколебания исчезают либо совсем, либо их амплитуда существенно снижается. Это подтверждается проведенными замерами. Осциллограмма виброскорости при отсутствии слышимых стуков обратного клапана представлена на рисунке 3б (в масштабе рисунка 3а по оси виброскорости). Соответствующая ей спектрограмма вибросмещения представлена на рисунке 4б. Сравнение спектрограмм рисунках 4а и 4б позволяет отметить, что, хотя удары клапана о седло слышимы не были, в спектре вибросмещения присутствует составляющая 19 Гц. Однако ее амплитуда в 27,8 раз меньше и находится много ниже норм на вибрацию (по [1]). Это позволяет сделать вывод о заметном снижении амплитуды колебаний клапана.

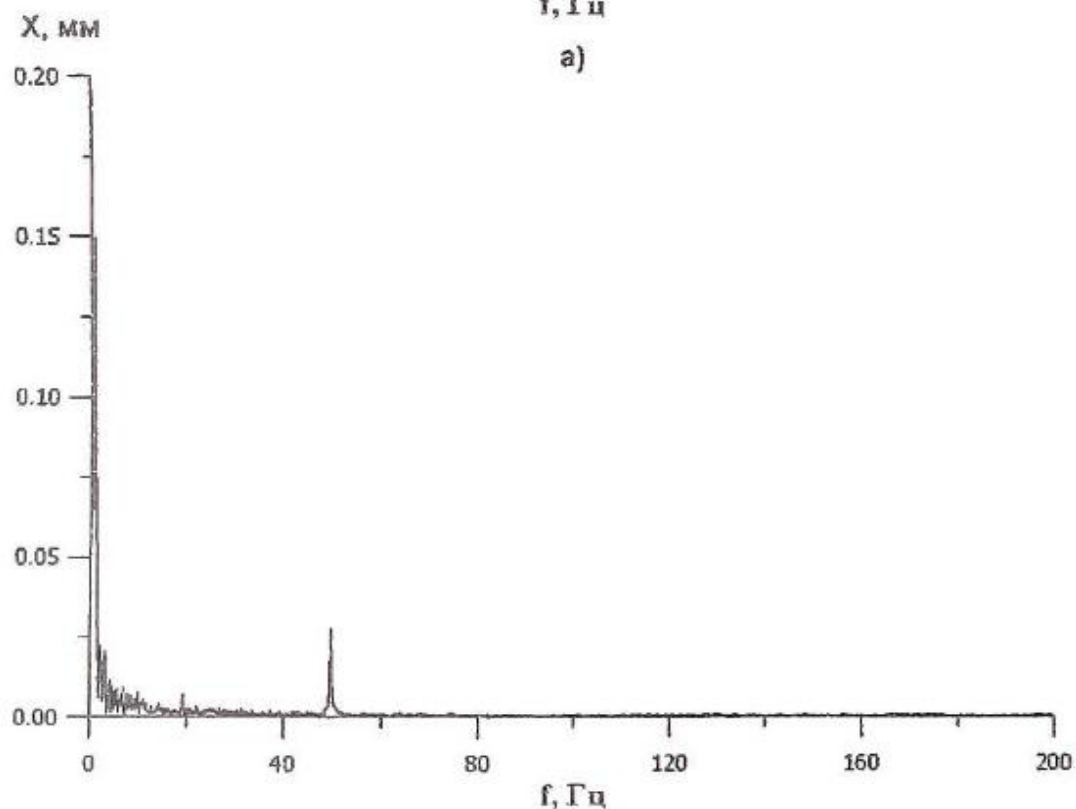
Следует отметить также и снижение амплитуда составляющей 50 Гц в 2 раза, что ещё раз подтверждает вывод о процессах виброакустического взаимодействия в рассматриваемой системе.

В ходе исследований и последующего анализа осциллограмм было зафиксировано также существенное превышение норм по вибрации (в 2,23 раза) на трубке пробоотборника.

					Теоретическая часть	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



f, Гц
а)



б)

Рисунок 4 – Спектрограммы вибросмещения в районе корпуса обратного клапана:

а) при наличии слышимых стуков; б) при отсутствии слышимых стуков[1].

Амплитуда вибросмещения на частоте 18.8 Гц составила в этой точке 0.447 мм. Вид временной реализации виброскорости (рисунок 5) и спектрограммы

					Теоретическая часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

вибросмещения однозначно говорит, что указанная трубка работает на резонансе.

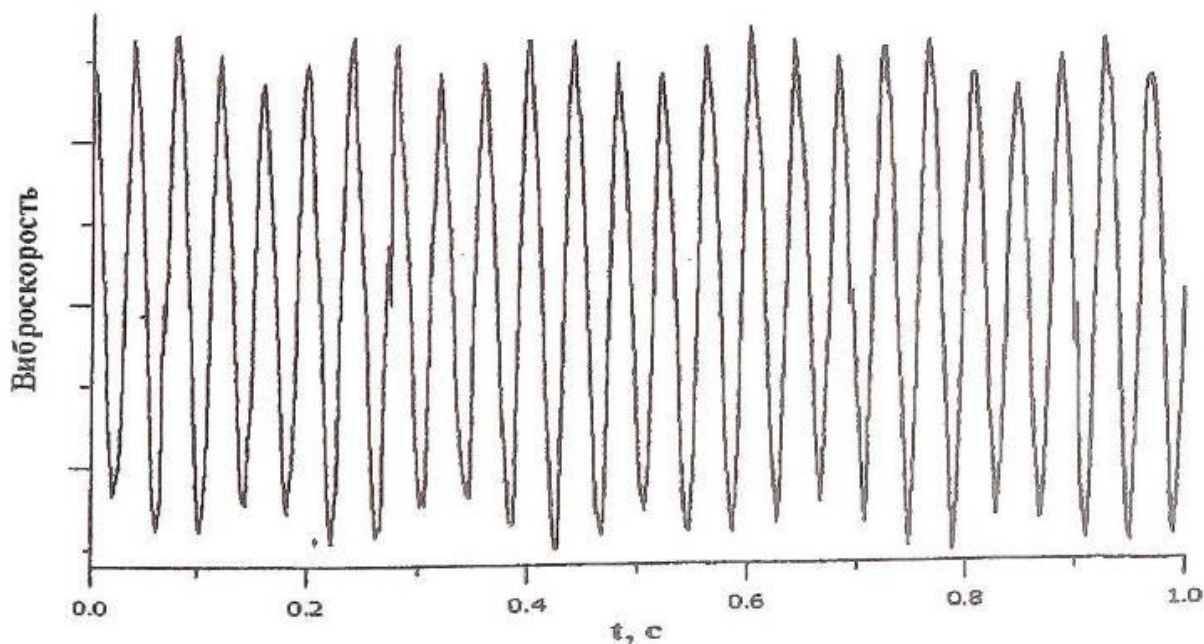


Рисунок 5 – Осциллограмма виброскорости трубки пробоотборника[1].

Аналогичные результаты были получены при оценке вибрационной активности трубопровода высокого давления на выходе шестеренного насоса. Здесь также были зафиксированы превышения норм вибрации (в 2.30 раз). Анализ осциллограмм и спектрограмм вибропараметров этого трубопровода подтверждает выдвинутую гипотезу о резонансном характере возбуждения. Однако на возможном механизме этого возбуждения следует остановиться подробнее. Частота основной гармоники вибрации на выходном трубопроводе масляного насоса равна 25 Гц. Т.е. данная вибрация никак не связана с автоколебаниями клапана. Скорее всего, она обусловлена возбуждением самим шестеренным насосом. Зубцовая частота данного насоса, как отмечалось выше, – 300 Гц, роторная – 25 Гц. Помимо этого возможно возбуждение пульсаций давления колебаниями редукционного клапана. Таким образом, возможен механизм как силового, так и кинематического возбуждения. Однако более конкретно об этом можно судить лишь после проведения дополнительных экспериментальных исследований пульсационного состояния системы смазки и вибросостояния редукционного клапана. Отметим лишь, что были

зафиксированы прерывистые колебания стрелки манометра на выходе шестеренного насоса, что говорит о наличии значительных пульсаций давления, которые могут быть причиной разрушения насоса, разгерметизации соединений трубопроводов, выхода из строя манометров. Во время работы манометр задресселирован вентилем и не регистрирует истинные пульсации.

На результатах замеров было отмечено наличие интенсивной, относительно широкополосной составляющей в районе частоты 1 Гц.

Оценка длительностей ударов обратного клапана позволяет сделать вывод о том, что в его спектре может присутствовать составляющая на этой частоте. На этой или близких частотах возможен резонанс системы нагнетательных трубопроводов всех трех компрессоров, объединенных общим коллектором.

Рассмотрим возможные методы снижения выявленных виброакустических нагрузок. Известны три пути борьбы. Это частотная отстройка систем, применение специальных корректирующих устройств и борьба с источником возбуждения. Рассмотрим эти методы последовательно для всех трех точек, где выявлено превышение норм по вибрации трубопроводов.

1. Нагнетательный трубопровод.

Частотная отстройка подобной системы от возможных резонансов представляется весьма проблематичной. Это связано с необходимостью существенной перекомпоновки системы трубопроводов. Кроме того, учитывая сложность конфигурации системы, имеется возможность попасть из зоны одного резонанса в зону другого (что связано с большим количеством низких собственных частот системы в различных направлениях). Демпфирование колебаний трубопроводов в рассматриваемом случае также требует значительной перекомпоновки, введения дополнительных опор, увеличения массивности системы. Кроме того, данное мероприятие не решает проблемы периодического износа фторопластового кольца седла обратного клапана. Более перспективна разработка конструктивных мероприятий, направленных на совершенствование конструкции клапана или его демпфирование с целью исключения его колебаний. Это также позволит снизить общий уровень

					Теоретическая часть	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

виброактивности системы.

2. Трубка пробоотборника.

Наиболее простое и эффективное мероприятие, по результатам экспериментальных исследований, в данном случае частотная отстройка. Устранение колебаний клапана существенно снизит резонансное вибросмещение трубки.

3. Система смазки.

Поскольку не было проведено исследование пульсационного состояния системы смазки и вибрационного фона редукционного клапана, говорить о мероприятиях по снижению вибраций достаточно затруднительно. Однако напрашивается следующее решение- применение корректирующего устройства гасителя колебаний давления

- на выходе шестеренного насоса. Учитывая постоянство частоты вращения ротора насоса целесообразно использование гасителя, построенного на базе ответвленного резонатора с шунтированным горлом. Данный гаситель позволит снизить как уровень вибраций, так и уровень пульсаций давления в системе, повысить параметрическую и функциональную надежность самого насоса, ресурс манометров.

Таким образом, в результате эксперимента проведено исследование вибрационной активности компрессорной установки, определены источники виброакустических нагрузок, показаны пути виброакустического взаимодействия подсистем, определены точки с максимальными вибрациями, предложены рекомендации по снижению нагрузок.

					Теоретическая часть	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.3 Виброакустическая модель прямолинейного неоднородного трубопровода

Известно, что пульсации давления рабочих сред генерируют интенсивные поперечные колебания в трубопроводах [1-3]. Данные обстоятельства приводят к существенным снижениям их прочности и надежности. Библиографический анализ показывает [1-8], что в настоящее время имеются многочисленные экспериментальные данные результатов исследований взаимодействий динамических процессов в рабочих жидкостях с элементами гидромеханических систем. Например, в [3-5] получены экспериментальные результаты силовых возбуждений трубопровода пульсациями рабочих сред. Несмотря на серьезную практическую зависимость решений задач расчетов амплитуды установившихся колебаний трубопроводов под действием пульсирующих потоков рабочих жидкостей, такие проблемы все еще ждут своего решения. В [6] предложены решения указанных задач для частных случаев основных параметрических резонансов. В [7] обсуждаются перспективы использования оригинальных виброакустических моделей в прогнозе процессов в прямолинейных однородных трубопроводах. В них решения уравнений, описывающих колебания трубопроводов, выполнено в рамках аналитических подходов. Отмечается, что сложность и громоздкость математических преобразований приводит к необходимости принятия допущений, оказывающих существенные влияния на точность решения задач. В это же время в [8] подчеркиваются очевидные преимущества методов численного решения рассматриваемых задач в рамках подходов с учетом детального интегрирования определяющих уравнений математической модели и их краевых условий.

В данной работе представлена физико-математическая модель поперечных колебаний прямолинейных неоднородных участков

					Теоретическая часть	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

трубопроводов в условиях пульсации полей давления и скоростей протекающих жидкостей.

По сравнению с известными работами здесь учитываются следующие физические особенности процесса:

-возможные аксиальные неоднородности геометрических и физических параметров трубопроводов;

-наличие заданного числа и значений упруго-жесткостных характеристик опор трубопроводов;

-распределенность параметров пульсирующих жидкостей.

Кроме того, важными считаются положения:

1. Изменениями плотностей жидкостей пренебрегаем ($\rho_{ж} = \text{const}$).

2. Поперечные колебания систем не вызывают в жидкостях никаких дополнительных волновых явлений.

3. Известны демпфирующие свойства опор и материалов трубопроводных систем, процесс их трения с воздухом не учитывается.

4. Параметры жесткости сечений трубопроводов на изгиб вдоль продольных осей являются функциями, не имеющими разрывов второго рода.

5. Кинематические возбуждения трубопроводов отсутствуют.

Заметим, что в данных постановках задач динамические свойства и характеристики источников пульсаций рабочих жидкостей и присоединенных гидравлических цепей определяют формулировкой начальных и граничных условий.

При изгибных колебаниях трубопроводов с осевой цилиндрической симметрией в плоскостях их осей эффекты, типичные для тонкостенного стержня, не проявляются, так как центры изгибов всегда совпадают с центрами тяжести сечений. Поэтому неоднородные прямолинейные трубопроводы можно рассматривать как обычные балки с переменными по длине параметрами. С учетом предположения (4) уравнения прогибов осей (у) имеют вид:

					Теоретическая часть	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2}, (1)$$

Здесь $E(x)$ – модуль упругости; $I(x)$ – момент инерции сечения относительно нейтральной оси; y – прогиб трубопровода.

Изгибающие моменты M в данном случае выражаются так:

$$M = M_0 - Ny. (2)$$

В обозначениях принято: M_0 – изгибающие моменты, которые были бы при отсутствии продольных сжимающих сил N . Эти силы изменяются вдоль оси трубопроводов за счет гидравлических трений и, если трубопроводы не горизонтальны, за счет составляющих веса оболочки по осям. Из (2) следует, что

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = P - N \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial N}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial x} - y \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}, (3)$$

Нормальные к осям систем нагрузки на единицу длины $P = \frac{\partial^2 M_0}{\partial x^2}$, слагаются из нормальных к осям трубопроводов составляющих веса оболочки и заполняющих ее жидкостей $(m_m(x) + m_{ж}(x))g$, силы инерции оболочки $\left[-m_m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right]$, силы инерции заполняющих трубопровод жидкостей $\left[-m_{ж}(x) \frac{d^2 y}{dt^2} \right]$, нагрузок, вызванных внутренними давлениями.

Если система прогнулась, то при бесконечно малых расстояниях между сечениями поперечные силы, вызываемые внутренними давлениями p , будут равны $S_{ж}(x)p d\varphi$, где $d\varphi$ – углы между сечениями. Значение этих сил на единицу длины есть $S_{ж}(x)p d\varphi / dx = -S_{ж}(x)p \partial^2 y / \partial x^2$. Здесь $d\varphi / dx = \partial^2 y / \partial x^2$ есть кривизна осей.

Необходимо подчеркнуть, что траектории векторов средних по сечениям скоростей течения жидкостей не совпадают с изогнутыми осями систем, поэтому силы инерции жидкостей выражаются не как силы инерции оболочки. Применяя правила дифференцирования сложных функций, можно записать:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial y}{\partial t} + u \frac{\partial y}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \frac{\partial y}{\partial x} + 2u \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + u^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}.$$

где $u(x,t)$ - средние по сечению скорости течения.

Выражения для продольных сжимающих сил и их частных производных по координате x запишем в следующем виде:

$$N = N_0 + \frac{L_{окр}(x)\rho_{ж}g}{C^2} u^2(x,t)x + m_m(x)gx \sin \alpha,$$

$$\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} = \frac{2L_{окр}(x)\rho_{ж}g}{C^2} \left[\left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 + u(x,t) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right]$$

$$\frac{\partial N}{\partial x} = \frac{2L_{окр}(x)\rho_{ж}g}{C^2} u(x,t) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + m_m(x)g \sin \alpha$$

$$p = p_0 - \frac{1}{\rho_{ж}g} \left(\frac{2u_0^2(x)}{C^2 r(x)} - \sin \alpha \right) x + P(x,t)$$

где N_0 - значения N при $x = 0$; p_0 - стационарные составляющие давлений при $x = 0$; $P(x,t)$ - пульсационные составляющие давления; $\rho_{ж}$ - плотность рабочих жидкостей; g - ускорение свободного падения; α - угол наклона осей систем к горизонту ($\alpha > 0$ для нисходящих и $\alpha < 0$ для восходящих трубопроводов); $L_{окр}$ - длина контакта жидкостей с окружающей ее оболочкой в плоскостях поперечного сечения; u - скорости течения жидкостей; C - коэффициент Шези.

Используя классические формулы Маннинга, можно представить коэффициент Шези в виде [9]:

$$C = \frac{d^{1/6}}{n\sqrt{2}}$$

n - коэффициенты шероховатости ($n=0,02\dots 0,04$);

d - внутренние диаметры трубопроводов. При дифференцировании учитывалось предположение (4), которое распространяется и на функции $L_{окр}=f_1(x)$, $m_m=f_2(x)$.

С учетом (3) приходим к следующим уравнениям поперечных колебаний:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + a_1(x,t) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + a_2(x,t) \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} + a_3(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a_4(x,t) \frac{\partial y}{\partial x} + a_5(x,t) y = a_3(x)g, (4)$$

в которых обозначено:

					Теоретическая часть	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$a_1(x,t) = \frac{1}{E(x)I(x)} [m_{жс}(x)u^2(x,t) + S_{жс}(x) \left(p_0 - \frac{1}{\rho_{жс}g} \left(\frac{2u_0^2(x)}{C^2 r(x)} - \sin \alpha \right) x + P(x,t) \right) + N_0 + \frac{L_{окр}(x)\rho_{жс}g}{C^2} u^2(x,t)x + m_m(x)gx \sin \alpha];$$

$$a_2(x,t) = \frac{2m_{жс}(x)}{E(x)I(x)} u(x,t); \quad a_3(x) = \frac{m_m(x) + m_{жс}(x)}{E(x)I(x)};$$

$$a_4(x,t) = \frac{1}{E(x)I(x)} [m_{жс}(x) \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + u(x,t) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) + 2 \left(\frac{2L_{окр}(x)\rho_{жс}g}{C^2} u(x,t) \times \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + m_{жс}(x)g \sin \alpha \right)];$$

$$a_5(x,t) = \frac{2L_{окр}(x)\rho_{жс}g}{C^2 EI} \left[\left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 + u(x,t) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right].$$

Уравнение (4) описывает поперечные колебания неоднородных прямолинейных участков трубопроводов, с учетом движущихся с пульсирующими давлениями жидкостей. Эти уравнения имеют структуру, схожую по структуре к уравнению, представленного Н.С. Кондрашевым [6]. Некоторые отличия связаны с тем, что при выводе (4), в отличие от уравнений Н.С. Кондрашева, учитывались:

- изменения скоростей жидкостей по длине трубопроводов и во времени;
- трения в жидкостях;
- углы наклона осей трубопроводов к горизонту;
- распределения пульсаций давлений по длине трубопроводов;
- изменения геометрических и физических параметров трубопроводов по длине.

Включение в анализ перечисленных факторов позволяет описывать уравнением (4) не только установившиеся периодические процессы в гидромеханической системе, но и моделировать поведение трубопроводов во время переходных процессов в гидролиниях.

2 Расчетная часть

2.1 Входящие условия

Исследуемым объектом является участок технологического трубопровода (рисунок 2.1) на реконструируемой нефтбазе в Кемеровской области. Внешний диаметр трубы составляет 159 мм, толщина – 6 мм. Участок относится к насосной станции дизельного топлива и состоит из отвода крутоизогнутого П90 ($R = 1,5DN$) и двух патрубков длиной 500 мм.

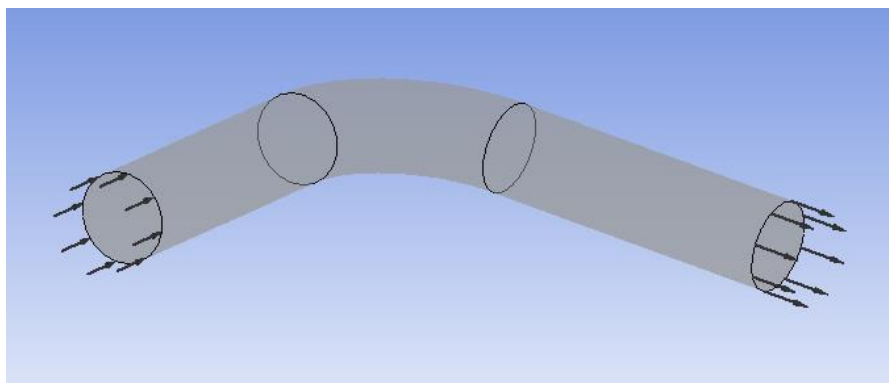


Рисунок 2.1 – Физическая модель исследуемого участка трубопровода

Исследуемой средой является летнее дизельное топливо. Исследования проводились при следующих параметрах (таблица 2.1):

Таблица 2.1 Входящие условия

Физическая величина, ед. изм.	Диапазон значений
Подача насоса, м ³ /с	7e-3 – 50e-3
Температура продукта, С	0 – 40
Кинематическая вязкость, м ² /с	1e-6 – 13e-6
Частота вращения двигателя, Гц	1 – 24
Плотность продукта, кг/м ³	845 – 875
Скорость течения жидкости, м/с	0,02 – 2,95
Число Рейнольдса	3e3 – 400e3

					Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Вахитов Д.Л.			Расчетная часть	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов					35	
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ6Б		
Рук-ль ООП		Бурков П.В.						

2.2 Конечно-элементная сетка

На рисунке 2.2 представлена конечно-элементная сетка, которая насчитывает 23858 узлов с минимальными линейными размерами узла 1,5 мм. Данная сетка позволяет считать полученные данные достоверными, так как погрешность в динамических величинах равняется 0,1% (рисунок 2.3).

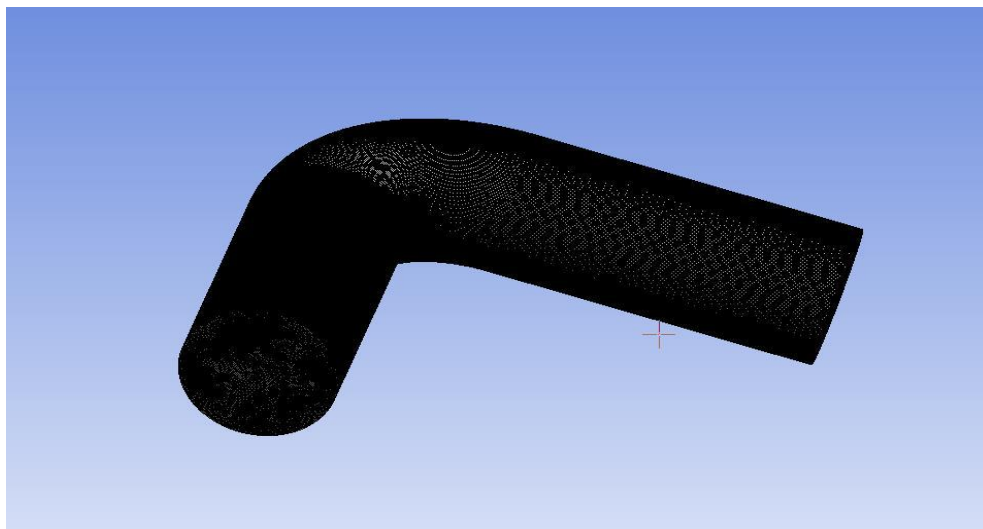


Рисунок 2.2 – Конечно-элементная сетка

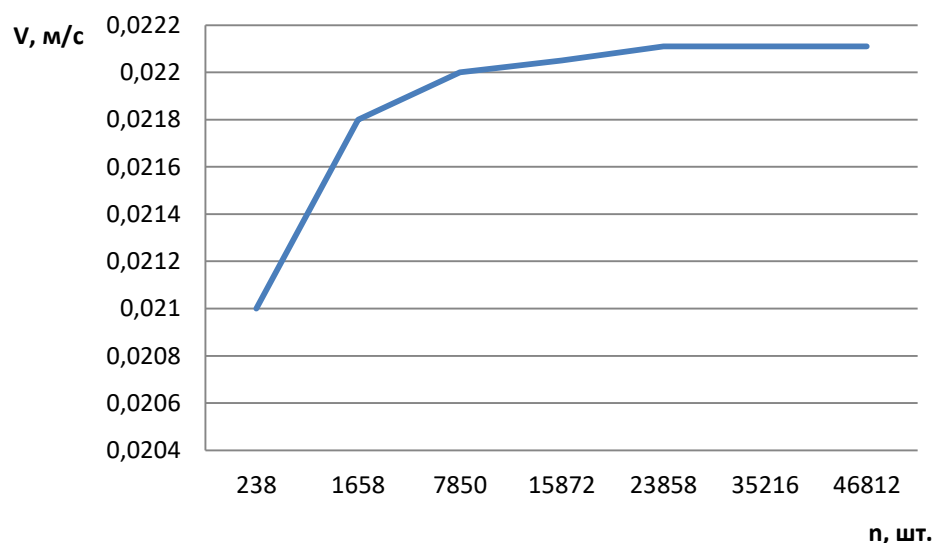


Рисунок 2.3 – График зависимости показателей скорости от числа конечных элементов

2.3 Результаты расчета

В результате расчета виброакустических характеристик потока дизельного топлива в программном комплексе ANSYS был определен оптимальный режим подачи насоса. При расходе, не превышающем $0,044 \text{ м}^3/\text{с}$, и частоте двигателя не более 20 Гц в температурном диапазоне $10 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$ не обеспечивается оптимальная работа технологических трубопроводов.

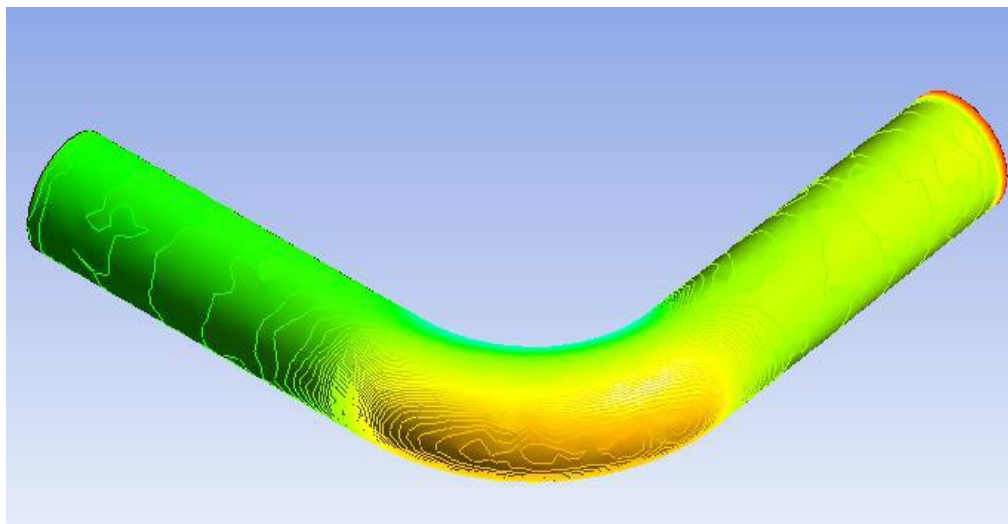


Рисунок 2.4 – Распределение поля давления вязкой среды

					Расчетная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Вахитову Дамиру Линнуровичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль <u>«Надежность газонефтепроводов и хранилищ»</u>

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно – правовых документах; опрос, наблюдение.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>SWAT анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование стоимости на выполнение исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка финансовых потерь компании при возможных аварийных инцидентах</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения социально-гуманитарных наук	Макашева Юлия Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Вахитов Дамир Линнурович		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Организация и планирование работ

Для проведения НИР на тему «Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок», составляется план работ, выражающийся в календарном и сетевом графиках. Календарный график выполнения работы по-казан в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Календарный график работ

Код работы	Наименование работ	Длительность	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Исследование объекта	10	01.02.18	10.02.18	Вахитов Д.Л.
2	Составление технического задания	7 2	11.02.18	17.02.18	Вахитов Д.Л. Харламов С.Н.
3	Литературный обзор	10	18.02.18	27.02.18	Вахитов Д.Л.
4	Исследование	30 5	28.02.18	29.03.18	Вахитов Д.Л. Харламов С.Н.
5	Результаты исследования	10 4	30.03.18	08.04.18	Вахитов Д.Л. Харламов С.Н.
6	Оформление пояснительной записки	50 3	09.04.18	28.05.18	Вахитов Д.Л. Харламов С.Н.
Итого		131			

Чтобы продемонстрировать календарный план проекта приведена диаграмма Ганта, которая отражает протяженность во времени даты начала и окончания выполняемых работ. Для наглядности календарный месяц разделён на декады.

					<i>Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Вахитов Д.Л.			<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					39	8
Консульт.		Макашева Ю.С.				НИ ТПУ гр. 2БМ6А		
И.о. Зав.каф.		Бурков П.В.						

Таблица 3.2 – Календарный план - график проведения НИР по теме

Наименование работ	Исполнители	Т _к , раб. дн.	Продолжительность исполнения работ													
			фев.18			мар.18			апр.18			май.18				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Исследование объекта	Магистр	10	■													
Составление технического задания	Магистр	7		■												
	Руководитель	2		■												
Литературный обзор	Магистр	10			■											
Исследование	Магистр	30				■	■	■	■	■						
	Руководитель	5				■				■						
Результаты исследования	Магистр	10								■	■					
	Руководитель	4								■						
Оформление пояснительной записки	Магистр	50									■	■	■	■	■	■
	Руководитель	3													■	

3.2 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – это комплексный подход к анализу научному – исследованию. Применение такого анализа применяется для исследования внешней и внутренней среды исследования

Таблица 3.3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научного исследования: С1. Возможность ограничения использования оборудования на НБ; С2. Увеличение надежности работы НБ; С3. Уменьшение аварийных ситуаций на НБ.</p>	<p>Слабые стороны научного исследования: Сл1. Нет 100% подтверждено на практике; Сл2. Большие затраты на экспериментальную часть; Сл3. Изменение параметров работы на большинстве НБ в России.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы 3.3

<p>Возможности: В1. Использование возможностей инфраструктуры ТПУ; В2. Внести рекомендации при проектировании НБ</p>	<p>1. Продолжение исследований с целью уменьшения влияния динамических нагрузок при редуцировании; 2. Разработка инженерных решений для повышения надежности работы НБ</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц через ТПУ; 2. Разработка собственного научного исследования; 3. Приобретение программных комплексов необходимых для подобных исследований</p>
<p>Угрозы: У1. Введение дополнительных требований к оборудованию НБ; У2. Изменение нормативной документации при проектировании НБ</p>	<p>1. Отслеживание технологического прогресса оборудования НБ; 2.</p>	<p>1. Необходимость в узкого специалистах направления; 2. Тесное сотрудничество с производством</p>

3.3 Расчет сметы затрат на выполнение исследования

Для планирования бюджета научного исследования обеспечивают полное и достоверное отражение всех статей расходов, необходимое для выполнения. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим расценкам или договорным ценам. Необходимые материальные затраты представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Материалы и комплектующие изделия

Наименование	Единица измерения	Расход	Цена за единицу с учетом НДС, руб.	Сумма, руб.
Картридж для принтера	шт.	1	1200	1200
Бумага	шт.	400	2	800
Питание	шт.	130	60	7800
Флеш накопитель	шт.	1	600	600
Всего за материалы				10400
Транспортно-заготовительные расходы, (3-5%)				520
Итого по статье, С _м				10920

Таблица 3.5 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научной работы»

Наименование	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Принтер	1	39500	3500
Ноутбук	1	3514,24	3514,24
Пакет программного обеспечения AutoCAD	1	16201,20	2700,20 (амортизация 6 мес.)
Пакет программного обеспечения ANSYS	1	87293,45	7274,45 (амортизация 12 мес.)
Итого			23572,21

Все оборудование в таблице 3.5 имеется в лаборатории, поэтому оборудование, используемое в исследовании, должно учитываться в амортизационных отчислениях. При расчете используется линейный метод амортизационных отчислений.

Далее необходимо рассчитать количество электроэнергии для всего оборудования.

Таблица 3.6 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Потребляемая мощность, кВт/ч	Количество часов работы в сутки	Количество потребляемой энергии, кВт
Ноутбук	1	0,15	8	1,2
Принтер	1	2,5	0,2	0,5
Итого				1,7

Стоимость 1 кВт в Томской области равна 3,25 руб. Для получения общего количества затрат на электроэнергию при исследовании, рассчитаем стоимость с февраля по май.

Таблица 3.7 – Расчет общей стоимости на электроэнергию

Месяц	Количество дней	Количество рабочих дней	Количество потребляемой энергии за месяц, кВт	Стоимость электроэнергии за месяц, руб.
Февраль	28	20	34	110,5
Март	31	22	37,4	121,55
Апрель	30	22	37,4	121,55
Май	15	8	13,6	44,2
Итого			96,74	397,8

3.4 Расчет основной заработной платы и транспортных расходов

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{м}} \cdot T_{\text{р}}$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный оклад работника, руб.; $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб.; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, мес.

Таблица 3.8 – Баланс рабочего времени на выполнение исследования

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр	Консультант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дне: - выходных - праздничные	118	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	24	24	24
Годовой фонд рабочего времени	223	223	223

Таблица 3.9 – Расчет затрат при проживании на выполнение исследовательской работы

Месяц	Количество дней	Количество рабочих дней	Количество средств, руб.
Февраль	28	19	500
Март	31	20	500
Апрель	30	21	500
Май	31	19	500
Итого			6000

Таблица 3.10 – Расчет количества средств на проезд до места объекта исследования

Наименование	Количество человек	Количество средств на поездку, руб.
До объекта исследования	1	1500
От объекта исследования	1	1500
Итого		3000

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot k_p$$

где Z_b – базовый оклад, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Основная заработная плата руководителя исследования начисляется на основании отраслевой оплаты труда. Сама система оплаты труда предполагает состав заработной платы:

1. Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады зависят от занимаемой должности. Базовый оклад Z_b определяется исходя из штатного размера оклада относительно расписания;
2. Стимулирующие выплаты – устанавливает руководитель подразделения за выполнение дополнительных обязанностей, эффективный труд и т.д.
3. Иные выплаты; районный коэффициент.

Найдем начисленную зарплату для магистранта, руководителя и консультанта:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$ЗП_{\text{маг}}=20315,89*1,3/90*70=20541,62 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{рук}}=31156,79*1,3/90*5=2250,21 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{кон}}=24374,25*1,3/90*4=1408,29 \text{ руб.};$$

Таблица 3.11 – Расчет основной заработной платы при исследовании

Исполнители	Основная заплата, руб.
Магистр	20541,62
Руководитель	2250,21
Консультант	1408,29
Итого	24200,12

3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Данная статья расхода отображает обязательные отчисления в органы государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), $k_{\text{внеб}}=30\%$

Данные по расчету социальных выплат представленные в таблице 3.11.

Планируемые затраты на исследование следует сгруппировать по статьям, результаты представлены в таблице 3.12. Данные затраты являются основой для формирования затрат исследовательской деятельности.

Таблица 3.12 – Социальные отчисления

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			
Суммарная основная заработная плата	24200,12			
Социальные отчисления				
	ПФР (22%)	ФСС (2,9%)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)
Сумма	5324,00	701,80	1234,20	121,00

Таблица 3.13 – Расчет бюджета затрат при исследовании

Наименование статьи	Сумма, руб.
Расходы на оборудование и программное обеспечение для выполнения исследования	34492
Расходы на электроэнергию	397,8
Расходы на транспортировку до места нахождения объекта исследования	3000
Расходы на проживание	6000
Расходы на основную заработную плату	24200,12
Расходы на отчисления во внебюджетные фонды	7381
Итого	75470,92

Заключение

Стоимость дизельного топлива на 2018 год составляет 41,9 тыс. руб./м³, средний расход продукта 180 м³/ч. Таким образом, при аварийной ситуации на НБ, сутки простоя принесет компании убыток в размере 181 млн. руб. Данное исследование может исключить подобные простои и потери для компании.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
2БМ6Б	Вахитову Дамиру Линнуровичу

Школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефти и газа
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона)</p>	<p>Исследование вибрационного воздействия на участок трубопровода на нефтебазе. Исследования и процесс проводится на насосной станции.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при исследовании и эксплуатации рассматриваемого объекта решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физико-химическая природа вредности, ее связь с разрабатываемой темой; • действие фактора на организм человека; • приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно - технический документ); • предлагаемые средства защиты; • (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства); <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при исследовании и эксплуатации объекта в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • механические опасности (источники, средства защиты); • термические опасности (источники, средства защиты); • электробезопасность (статическое электричество, молниезащитам – источники, средства защиты); • пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Вредные факторы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума; 2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; 3. Отклонение показателей микроклимата в помещении; 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 6. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу. <p>Опасные факторы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; 2. Электрическая дуга и искры при сварке; 3. Повышенная или пониженная температуры поверхностей оборудования, материалов; 4. Взрывоопасность и пожароопасность; 5. Электрический ток.

<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) 	<p>При исследования вибрационного воздействия оказываются следующие воздействия:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Воздействия на почву; • Возможны выбросы нефтепродукта.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Перечень возможных ЧС при эксплуатации рассматриваемого объекта; • Выбор наиболее типичной ЧС; • Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий. 	<p>Чрезвычайные ситуации могут возникнуть при проведении электромонтажных и слесарных работ в местах с повышенной загазованностью:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пожар или взрыв.
<p>4. 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. 	<p>Приказ от 19 июня 2003 года N 232 об утверждении правил технической эксплуатации нефтебаз. В т.ч. типовая инструкция по охране труда при эксплуатации насосных станций и транспорте нефтепродуктов</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.03.18
--	----------

Задание выдал консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна	Ассистент		22.03.2018

Задание принял к исполнению

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Вахитов Дамир Линнурович		22.03.2018

4. Социальная ответственность

В разделе рассматриваются такие вопросы как:

- Производственная безопасность;
- Экологическая безопасность;
- Безопасность в чрезвычайных ситуациях;
- Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.1. Производственная безопасность

При возникновении вибрации в процессе работы насосного оборудования, следствием данного процесса может быть как выход из строя оборудования находящееся на линейной части, так и ускорение планового обслуживания (ТО) которое сопровождается такими работами как: электромонтажные, слесарные и сварочные.

При ремонтных работах на нефтебазах основные моменты, которые определяют категорию повышенной опасности, показаны в таблице 4.1

Таблица 4.1 - Работы, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работы в помещении			
<p>Ремонтные работы: Электромонтажные работы; Сварочно-монтажные работы.</p> <p>Полевые работы: Проведение исследования состояния насосного - оборудования.</p>	<p>1. Повышенный уровень шума;</p> <p>2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</p> <p>3. Отклонение показателей микроклимата в помещении;</p> <p>4. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>5. Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>6. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу</p>	<p>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</p> <p>2. Электрический ток;</p> <p>3. Электрическая дуга и металлические искры при сварке;</p> <p>4. Пожаробезопасность.</p>	<p>Сан-ПиН 2.2.4.548-96 [1]; ГОСТ 12.1.005-88 [2]; ГОСТ 12.1.003-83 [3]; СП 51.13330.2011 [4]; ГОСТ 12.2.003-91 [5]; ГОСТ 12.1.038-82 [6]; ГОСТ 12.1.07-76 [7]</p>

				<i>Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок</i>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Вахитов Д.Л.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					49	25
Консульт.		Немцова О.А.				НИ ТПУ гр. 2БМ6Б		
И.о. Зав.каф.		Бурков П.В.						

4.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, воздействие которых приводит в определенных условиях к заболеванию или к снижению работоспособного состояния работающего.

Отклонение показателей микроклимата в помещении.

Микроклимат – это создаваемые (искусственно) климатические условия в помещениях, для исключения неблагоприятных внешних воздействий на рабочий персонал. К ним относят температуру, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационного излучения солнца, величину атмосферного давления.

При выполнении работ, связанных с монтажом насосного оборудования на открытом воздухе и в технологических помещениях, ремонтному персоналу приходится работать под воздействием солнечных лучей, а также влажности и изменяющейся скоростью движения воздуха, в условиях низких и высоких температур от минус 30 °С до плюс 40 °С.

Для выполнения норм параметров микроклимата и очистке воздуха на рабочих местах применяются вентиляционные системы. Для получения необходимого микроклимата применяется общая вентиляция всего помещения, сопровождающаяся измерениями влажности воздуха и при необходимости применять системы кондиционирования для охлаждения воздуха в теплый период.

В холодный период года применяется система отопления помещений. Как правило используются водяные системы центрального отопления. При недостаточно высокой температуре окружающей среды должны применяться масляные обогреватели. Применение радиаторов должны быть безопасны своим расположением, и прикрываться металлическими решетками, тем самым повышая электробезопасность. Но при использовании решеток нельзя допускать превышение температуры поверхности выше 95°С.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i> 50
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 4.2 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений согласно СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более
Холодный	Пб (233 - 290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Пб (233 - 290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,5

Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны.

При работе на НБ, вероятность появления газа в воздухе очень высока. Нарушение герметичности технологических трубопроводов может спровоцировать утечку.

Метан является самым физиологически безопасным газом в гомологическом ряду парафиновых углеводородов. Физиологическое действие метан не оказывает и не ядовит (из-за малой растворимости метана в воде и плазме крови и присущей парафинам химической инертности). Погибнуть человеку в воздухе, с высокой концентрацией метана можно только от малого количества кислорода необходимого для дыхания при очень высоких концентрациях метана. Так, при содержании в воздухе 25—30 % метана появляются первые признаки асфиксии (учащение пульса, увеличение объема дыхания, нарушение координации тонких мышечных движений и т. д.). Более высокие концентрации метана в воздухе вызывают у человека кислородное голодание, головную боль, одышку, — симптомы, характерные для горной болезни.

Так как метан легче воздуха, он не скапливается в проветриваемых подземных сооружениях. Поэтому весьма редки случаи гибели людей от вдыхания смеси метана с воздухом от асфиксии.

Первая помощь при тяжелой асфиксии: удаление пострадавшего из вредной атмосферы. При отсутствии дыхания немедленно (до прихода врача) искусственное дыхание изо рта в рот. При отсутствии пульса — непрямой массаж сердца.

Замеры ПДК загазованности помещения, проводится работниками лаборатории НБ непосредственно на рабочем месте и в местах установки насосного оборудования с периодичностью не реже 1 час, а также по первому требованию рабочего персонала.

В случае достижения в помещении концентрации паров газа $0,3 \text{ г/м}^3$ (ПДК) работы немедленно прекращаются, оборудование отключено, людей выводят из зоны производства работ. Работы возобновляются после устранения причин загазованности.

Перед началом работ переносным газоанализатором АНТ–2М проверяется уровень загазованности воздушной среды. При этом содержание газов не должно превышать предельно-допустимой концентрации (ПДК) по санитарным нормам согласно таблице 5.3. Работа разрешается только после устранения опасных условий. В процессе работы следует периодически контролировать загазованность, а при необходимости - обеспечить принудительную вентиляцию.

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

Таблица 4.3 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Вещества	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³
Бензин – растворитель (в пересчете на углерод)	300
Керосин (в пересчете на углерод)	300
Сероводород в смеси с углеводородами C1 – C5	3
Углеводороды C1 – C10	300
Стирол	5
Перексид метилэтилкетона	5
Аэросил	1
Дибутилфталат	0,5
Метилэтилкетон	0,2
Диметиланилин	0,003
Перексид изопропилбензола	0,02
Ненасыщенная полиэфирная смола	6
Хлористый бензол	0,005
Амиловый спирт	0,002

Повышенный уровень шума.

Источниками шума являются звуки, производимые работающими механизмами и агрегатами, такие как болгарка (90 дБА), газовая резка металла (80 дБА), а также шумы от работающего технологического оборудования.

Действие шума на человека определяется влиянием на слуховой аппарат и многие другие органы и системы организма, в том числе и на нервную систему.

Громкость до 80 дБА обычно не влияет на органы слуха.

Длительное действие шума более 90 дБА в соответствии с нормативными документами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83, приводит к снижению слуховой чувствительности.

Согласно нормативной документации СанПиН 2.2.4.3359-16 [8] эквивалентным уровнем звука на рабочих местах, является 80 дБА.

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия по защите от действия шума (защита

временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

Основные методы борьбы с шумом:

- снижение шума в источнике (применение звукоизолирующих средств);
- снижение шума на пути распространения звука;
- средства индивидуальной защиты (СИЗ): наушники;
- использование средств автоматики для управления технологическими процессами;
- соблюдение режима труда и отдыха.

Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека, по сравнению с другими вредными производственными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы).

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 4.5 и таблице 4.6, в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 [9].

Таблица 4.5 – Временные допустимые ЭМП, создаваемых ПЭВМ

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

Таблица 4.6 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		

Для оценки соблюдения уровней необходим производственный контроль (измерения). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение рабочего места – один из основных факторов создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение можно разделить на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

На посту управления, где расположено рабочее место оператора, используется совмещенное освещение.

Для определения требуемого уровня освещенности в помещении необходимо:

- определить требуемый для операторов уровень освещенности внешними источниками света;
- если требуемый уровень освещенности не приемлем для других операторов, работающих в данном помещении, надо найти способ сохранения требуемого контраста изображения другими средствами.

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения, следующие:

- между рабочими поверхностями не должно превышать 1:3 – 1:5;

- между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 1:10.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк (СП 52.13330.2016, СанПиН 2.2.2/2.4.1340- 03). Освещение не должно бликовать на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м². Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Согласно СП 52.13330.2016, нормы на освещение для оператора ПЭВМ управления берутся для производственных помещений. Эти нормы представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Нормы на освещение для оператора ПЭВМ

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Естественное освещение КЕО еп, % при боковом
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации, Кп, %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Защита органов зрения осуществляется с помощью различных предохранительных очков.

Защита органов дыхания обеспечивается применением различного рода респираторов и противогазов.

Респираторы служат для защиты легких человека от воздействия взвешенной в воздухе пыли, противогазы - для защиты от газов и вредных паров.

В зависимости от содержания кислорода в воздухе применяются следующие противогазы:

- Фильтрующие - при содержании кислорода в воздухе свыше 19 %. Обслуживающий персонал установки обеспечивается противогазами с марками коробок БКФ, возможно применение коробок марки «А».
- Шланговые - применяются при содержании кислорода в воздухе менее 20 % при наличии в воздухе больших концентраций вредных газов (свыше 0,5 % об.). Применение шланговых противогазов обязательно при проведении работ внутри аппаратов, резервуаров и другой аналогичной закрытой аппаратуры.

4.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование меро-приятий по их устранению

Опасными производственными факторами называются факторы, приводящие при определенных условиях к травматическим повреждениям или резким нарушениям здоровья работника.

Движущиеся машины и механизмы

Вероятность получения травм в процессе монтажа любого оборудования очень велика. Тяжесть повреждений может быть вплоть до летального исхода. Для того, чтобы не было травм, на опасном производстве необходимо выполнять правила техники безопасности.

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) относятся:

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

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами.
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2015 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки [10].

Мероприятия по обеспечению охраны труда, техники безопасности описаны в ГОСТ 12.4.011-89.

Организационные и технические меры по обеспечению безопасности, осуществляемые при подготовке объекта к проведению работ, применяемые средства коллективной и индивидуальной защиты, режим проведения работ, а также по оборудованию мест отдыха, приема пищи и санитарно – гигиенических норм.

До начала работ:

1. оформить наряды – допуска на проведение газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности. Перевозка и транспортировка техники в охранной зоне, сварочно-монтажные работы.

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

2. провести внеочередной инструктаж всем членам бригады по безопасным методам и приёмам ведения газоопасных, огневых работ и работ повышенной опасности, а также по правилам поведения во взрыва- и пожароопасной обстановке и других опасных условиях и обстоятельствах с росписью в Журнале инструктажей на рабочем месте и наряде-допуске. Ознакомить всех руководителей, специалистов, механизаторов и бригадиров с данным Планом производства работ до начала работ, выборочно опросить персонал по усвоению требований безопасности, отраженных в разделе;

3. до начала работ установить наличие и обозначить знаками расположение всех коммуникаций в радиусе проведения работ;

4. после доставки и расстановки всё электрооборудование, жилые вагоны, электрические аппараты следует заземлить;

5. проверить взрывозащиту и изоляцию применяемого оборудования.

На весь период работ:

1. в зоне производства работ организовать места для приема пищи, отдыха и санитарно – гигиенические зоны. Жилой городок расположить на расстоянии не менее 100 м от места производства работ;

2. при сильном притоке грунтовых вод стенки ремонтного котлована должны крепиться металлическими или деревянными шпунтами, а при их отсутствии – деревянными сваями;

3. всю гусеничную технику, используемую при производстве работ, оборудовать устройствами, предохраняющими от бокового скольжения;

4. проверить наличие спецодежды, спец обуви и СИЗ у исполнителей по видам работ (костюм х/б, костюм сварщика, противогаз шланговый, страховочный пояс, страховочная веревка, защитная каска и т.д.).

Электрический ток.

Опасность поражения электрическим током существует при ручной электродуговой сварке.

Поражение человека электрическим током или электрической дугой может произойти в следующих случаях:

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

- при прикосновении человеком, неизолированного от земли, к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением из-за замыкания на корпусе;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- - рода и величины напряжения и тока;
- - частоты электрического тока;
- - пути прохождения тока через тело человека;
- - продолжительности воздействия на организм человека;
- - условий внешней среды.

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

Защита от электрического тока делится на два типа:

1. коллективная,
2. индивидуальная.

С целью предупреждения рабочих об опасности поражения электрическим током широко используются плакаты и знаки безопасности.

Мероприятия по созданию безопасных условий:

- инструктаж персонала;
- аттестация оборудования;
- соблюдение правил безопасности и требований при работе с электротехникой.

Согласно ГОСТ 12.1.030-81 мероприятиями по защите от электропоражения являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i> 60
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- защитного заземления;
- защитного зануления;
- защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проходить на следующих этапах:

- - проектирование;
- - реализация;
- - эксплуатация.

Таблица 4.8 - Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки.

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Таблица 4.9 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Продолжительность воздействия t, с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t, с	Нормируемая величина	
	U, В	I, мА		U, В	I, мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Св. 1,0	12	2

Электрическая дуга и металлические искры при сварке

Для ручной электродуговой сварки существует несколько опасных факторов воздействий на сварщика: поражение электрическим током при прикосновении человека к токовыводящим частям электрической цепи; поражение лучами электрической дуги глаз и открытой поверхности кожи; ожоги от капель брызг металла и шлака при сварке; взрыва в результате проведения сварки вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ; травмы различного рода механического характера при подготовке трубопровода к сварке и в процессе сварки.

Техника безопасности при проведении сварочных работ ручной электродуговой сваркой.

Для предохранения от брызг расплавленного металла и излучения сварочной дуги, сварщик должен носить положенную спецодежду и спецобувь, а глаза и лицо закрывать специальной маской или щитком со светофильтром. Электросварщику следует работать на резиновом коврике, пользоваться диэлектрическими перчатками. Рабочие места должны быть снабжены индивидуальными аптечками и индивидуальными средствами пожаротушения. Для тушения электрооборудования должны быть применены углекислотные огнетушители.

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
						62

Взрывоопасность и пожароопасность

НБ должна быть оснащена средствами пожаротушения, в том числе противопожарным инвентарём согласно СП 155.13130.2014[11]. Для поддержания пожаробезопасного режима эксплуатации НБ здание, помещения и сооружения классифицируются по взрыво- и пожаробезопасности. Согласно классификации по взрыво- и пожароопасности на дверях (воротах) здания, помещений, сооружений должны быть металлические знаки с надписями соответствующей классификации. Ответственность за противопожарное состояние НБ, а также за своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается персонально на начальника службы НБ. Для непосредственного надзора за противопожарным состоянием в помещениях и на территории НБ начальник службы назначает ответственного за противопожарные мероприятия – инженера НБ и его назначение оформляется приказом.

К самостоятельной работе специалисты, рабочие и служащие могут быть допущены только после прохождения подготовки по изучению правил и инструкций по пожарной безопасности для Организации, цеха, производственного участка, установки, здания или сооружения. Противопожарная подготовка персонала, занятого обслуживанием и эксплуатацией НБ, должна проводиться в соответствии с требованиями ФЗ №123 от 2008 г. и ППБО-85[12]. Вводный противопожарный инструктаж следует проводить в специальных помещениях, оборудованных необходимыми наглядными пособиями и плакатами, инструкциями и макетами, образцами первичных средств пожаротушения, схемами стационарных установок пожаротушения и связи, имеющихся на НБ. По окончании инструктажа следует провести проверку знаний и навыков, полученных инструктируемым. После проведения вводного инструктажа проводивший его руководитель должен сделать отметку в сопроводительной записке или приёмном листе о проведении инструктажа, а лицо, прошедшее инструктаж расписаться в специальном журнале, а также в карточке регистрации инструктажей по охране труда,

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист 63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пожарной безопасности и охране окружающей среды. Первичный противопожарный инструктаж дополняет вводный и его надлежит проводить непосредственно на рабочем месте после ознакомления инструктируемого с основами технологического процесса производства на своём рабочем месте, усвоении терминологии и изучения своего участка работы, изучения устройства первичных средств пожаротушения и правила их применения. Инструктажи по пожарной безопасности проходят все рабочие независимо от квалификации, образования, стажа выполняемой работы, но не реже 1 раза в полугодие. Последующие инструктажи могут проводиться одновременно с проведением инструктажей по охране труда. Занятия по пожарно-техническому минимуму проводятся ежегодно непосредственно на станции, порядок и категорию специалистов для проведения занятий определяет приказ руководителя подразделения. По окончании прохождения программы пожарно-технического минимума работающие должны сдать экзамен постоянно действующей комиссии. Проверку знаний по пожарно-техническому минимуму допускается проводить совместно с проверкой знаний норм и правил охраны труда. Для НБ должна быть разработана инструкция о мерах пожарной безопасности, которая согласовывается с Государственной противопожарной службой и утверждается главным инженером. Инструкция о мерах пожарной безопасности должна разрабатываться в соответствии с ФЗ №123 от 2008 г.

Наиболее характерными причинами пожаров на НБ являются:

- нарушения правил ведения газоопасных и огневых работ;
- нарушения требований пожаробезопасности при эксплуатации технологического оборудования и систем (загазованность, пирофорные отложения, конденсат);
- неисправность отопительных приборов;
- неисправность и нарушение правил эксплуатации электрооборудования, электросетей;
- разряды статического электричества и грозовые разряды;

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

- нарушение требований пожарной безопасности при эксплуатации (ре-
монте)водогрейных отопительных котлов;
- несоблюдение правил пожарной безопасности обслуживающим персона-
лом;
- самовозгорание горючих веществ.

В местах подъезда к коммуникациям, находящимся под давлением газа, следует установить соответствующие знаки безопасности: «Газоопасно», «Взры-
воопасно», «Проезд закрыт» и др. Огнетушители необходимо обслуживать в со-
ответствии с НПБ «Пожарная техника, огнетушители. Требования к эксплуата-
ции» и паспортом на огнетушитель.

На промплощадке НБ запрещается:

- самовольно монтировать электропроводку;
- прокладывать временные электросети, а также применять некалиброван-
ные предохранители;
- пользоваться кустарными электронагревательными приборами и быто-
выми электронагревательными приборами, не имеющими устройств тепловой
защиты и без подставок из негорючих материалов, исключающих опасность воз-
никновения пожара;
- использовать корпуса оборудования, трубопроводы и металлоконструк-
ции зданий в качестве заземления электросварочного аппарата и свариваемых
изделий;
- сушить спецодежду на приборах отопления и газовых коммуникациях;
- работать в обуви со стальными гвоздями и подковками;
- применять открытый огонь для отогревания замёрзших замерных трубо-
проводов, импульсных линий, запорных устройств и частей оборудования;
- проводить огневые и газоопасные работы с нарушением НТД и наряда
допуска;
- эксплуатировать неисправное оборудование;
- курить и пользоваться открытым огнём, проводить работы, при которых

могут возникнуть искры, нагрев оборудования, инструмента, конструкций до температур воспламенения;

- взрывоопасных смесей, ЛВВ, (ЛВЖ);
- загромождать проходы и выходы из помещений, а также доступ к первичным средствам пожаротушения и к наружным стационарным лестницам;
- стравливать газ из газовых коммуникаций через свечи во время грозы;
- устанавливать в помещениях операторной и водогрейных котлов, электронагревательные приборы без письменного разрешения начальника или его заместителя и без соблюдения требований пожарной безопасности.

При возникновении загорания (пожара) производственный персонал обязан:

- немедленно перекрыть доступ газа к месту горения;
- отключить вытяжную вентиляцию до прекращения огня;
- приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
- сообщить руководству, диспетчеру и в пожарную часть.

4.2 Экологическая безопасность

Предполагаемый источник загрязнения окружающей среды смеси нефтепродуктов, выброс может произойти вследствие разгерметизации технологических трубопроводов во время разрыва трубы.

Защита селитебной зоны. Территория НБ относится к классу II — санитарно-защитная зона размером не менее 500 м. На территории НБ предусмотрены сооружения для аварийного сбора продукта (сборный резервуар).

Защита атмосферы. Для предотвращения выбросов ЗВ в атмосферу применяют закрытый способ заправки емкостей.

Защита гидросферы. При разливе продукта не произойдет загрязнение гидросферы, т.к. предусмотрены дренажные сооружения.

Защита литосферы. При разливе продукта на землю применяются известковые растворы, и осуществляется перекопка земли в зоне загрязнения.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.3.1 Анализ наиболее вероятной ЧС и причин ее возникновения

Аварии технологического оборудования могут привести к чрезвычайным ситуациям. На НБ наиболее вероятная чрезвычайная ситуация — это пожар и/или взрыв при проведении работ в газоопасных местах. Как известно для возникновения пожара необходимо одновременное выполнение трех условий, а именно:

1. Наличие горючего материала. Нефтепродукты - при утечках из технологических трубопроводов нефтебазы.
2. Наличие окислителя. Отсеки и блоки НБ имеют непосредственный контакт с окружающей средой, следовательно, содержание кислорода в воздухе рабочей зоны 21%.
3. Наличие источника воспламенения. Источником воспламенения может быть искра при производстве слесарных, сварочных работ, проведении ТО и прочих строительно-монтажных работ.

4.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Помещения НБ в которых проводит работы оператор имеют категории по взрывопожарной и пожарной опасности, согласно СП 12.13130.2009:

Таблица 5.10 – категории по взрывопожарной и пожарной опасности блока оператора

Помещение операторной	Твердые горючие материалы – карболит, ПВХ, ДСП, полистирол	В4
Помещение аппаратной	Твердые горючие материалы – карболит, ПВХ, ДСП, полистирол	В3
Помещение аппаратной КИ-ПиА	Твердые горючие материалы – ПВХ, текстолит, полистирол	В3
Помещение пункта распределения нефтепродуктов	ЛВЖ – бензины	А
Помещение насосной ДЭГ	ГЖ - ДЭГ	В2
Помещение аварийной емкости	ЛВЖ – бензин	А
Помещение ГРП	ГГ – природный газ	А

Превентивными мерами, содействующим уменьшению масштабов ЧС, будут являться: создание и использование систем своевременного оповещения населения, персонала объекта и органов управления, которое позволяет принять своевременные необходимые меры по защите населения и тем самым снизить риски при возникновении ЧС.

Так же для предотвращения ЧС на объекте необходимо усилить контроль над текущим состоянием объекта, уделить особое внимание техническому обслуживанию и обучению персонала. Регулярное проведение инструктажей и учебно-тренировочных мероприятий позволит так же повысить оперативность реагирования на ЧС и снизить риски связанные с ликвидацией ЧС. В перспективе необходимо доукомплектовать территорию НБ, в местах возможного появления углеводородов, датчиками присутствия газа.

Необходимо своевременно проверять комплектность и состояние первичных средств пожаротушения на территории НБ.

Необходимо передвигаться по территории НБ с персональным портативным газоанализатором, вне зависимости от того планируется ли производство работ или нет.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Помещения оборудованы пожарными извещателями, которые позволяют оповестить персонал о пожаре.

Действия персонала НБ при ЧС:

- Сообщить оператору НБ о возникшей ситуации с описанием деталей;
- Доложить руководству о чрезвычайной ситуации на НБ и/или нефтепроводе прилегающему к НБ;

- Локализовать место аварии (закрыть запорную арматуру в аварийной части нефтепровода);
- Сообщить в местное управление ГО и ЧС.
- При угрозе жизни покинуть место ЧС.

Дальнейшие действия персонала регламентируются внутренней нормативной документацией эксплуатирующей НБ организацией, а именно «планом ликвидации аварийных ситуаций».

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ФЗ - №123 от 2008г., в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара. Поскольку в помещениях НБ находится только лишь оператор, планы эвакуации не разрабатываются.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда.

- Формы их реализации разнообразны:
- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;

- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников НБ непосредственным работодателем.

Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений. Согласно коллективному договору Работодатель обязуется:

2.2.1. Обеспечивать Работникам нормальные условия для производительного и качественного труда в соответствии с их профессией, специальностью и квалификацией.

2.2.3. Проводить подготовку и дополнительное профессиональное образование Работников в соответствии с действующими в организации локальными нормативными актами.

2.2.4. Обеспечивать предоставление Работникам прав, социальных и трудовых гарантий и льгот, установленных законодательством Российской Федерации и ее субъектов, Генеральным коллективным договором и настоящим Договором.

2.2.5. Формировать Планово-контрольные показатели организации в части определения расходов Работодателя на социальные выплаты, льготы и компенсации с учетом мнения ОППО организации.

2.2.6. Обеспечивать финансирование выполнения обязательств настоящего Договора в пределах бюджета доходов и расходов Общества.

					<i>Социальная ответственность</i>	Лист
						70
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2.2.7. Обеспечивать участие ОППО организации в разработке и принятии социальных программ.

2.2.8. Обеспечивать участие ОППО организации в управлении организацией в соответствии со статьей 53 Кодекса.

2.2.9. Обеспечивать участие Работников в управлении Обществом в соответствии с главой 8 Кодекса.

2.2.10. Поощрять Работников за заслуги и высокие результаты в труде, профессиональное мастерство и многолетний добросовестный труд в соответствии с законодательством, порядком поощрения наградами организации, утверждаемым локальными нормативными актами Общества.

Порядок обеспечения работников спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты, стирки и дезинфекции устанавливается локальными нормативными актами работодателя, принимаемыми по согласованию с профкомом.

Перечень изменений и дополнений к нормативам, утвержденным законодательством РФ выдачи спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты определяется приложением к коллективному договору.

4.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места оператора регламентируется следующими нормативными документами:

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа,

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

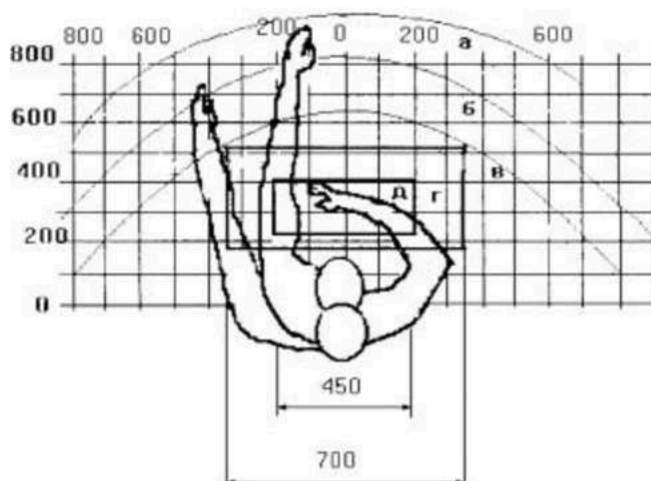
Главными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Моторное поле - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук — это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.



а - зона максимальной досягаемости, б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы, д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Рисунок 4.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура - в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" - в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе - в зоне легкой досягаемости ладони – "в", а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

Заключение

Разработанная методика моделирования виброакустических характеристик трубопроводных систем позволяет прогнозировать уровни вибропараметров элементов уже на стадии проектирования, предлагать мероприятия по снижению вибронпряжённости, оценивать эффективность корректирующих устройств по повышению работоспособности систем.

Дальнейшее развитие исследований заключается в моделировании упругих опор, анализе влияния вибропараметров на изменение пульсационного состояния гидравлической подсистемы, расчёте акустического излучения от вибрирующего трубопровода в окружающую среду.

Представленная виброакустическая модель прямолинейного неоднородного участка трубопровода также является базой для разработки расчетных моделей эффективности снижения вибропараметров трубопроводной системы. Для этого в рассмотренную модель необходимо ввести соотношения, учитывающие влияние характеристик корректирующих устройств (КУ) на изменение пульсационного состояния гидролинии, геометрии полученной системы, форм колебаний. Проведение подобной работы может послужить основой для создания САПР КУ, обеспечивающих максимальное снижение вибрационных и пульсационных нагрузок в трубопроводных системах энергетических установок.

					<i>Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Вахитов Д.Л.			Заключение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Харламов					74	1
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>		Бурков П.В.						
						НИ ТПУ гр. 2БМ6Б		

Список используемой литературы

1. Котляр, И.Я. Эксплуатация магистральных газопроводов [Текст] / И.Я. Котляр, В.М. Пиляк. – 2–е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1971. – 248 с.
2. Шабанов, К. Ю. Опыт эксплуатации и перспективы развития автоматизированных систем виброконтроля ГПА [Текст] / К. Ю. Шабанов, С. А. Холодков, В. А. Грабовец, В. И. Гнутов, М. Ю. Воробьев, Газовая промышленность, №1, 2014, с.56–59.
3. Гимадиев, А.Г. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах [Текст] / А.Г. Гимадиев, А.Н. Крючков, В.В. Леньшин [и др.]. – Самара: Изд-во СГАУ, 1998. – 270 с.
4. Baumann, H.D. A method for predicting aerodynamic valve noise based on modified free jet noise theories [Text] / H.D. Baumann // American society of mechanical engineers. – New York, 1987. – №87–WA/NCA–7.
5. Bruce, D.R. Solving acoustic–induced vibration problems in the design stage [Text] / D.R. Bruce, A.S. Bommer, T.E. Lepage // Sound and Vibration. – 2013.
6. Norsok Standard L–002–2009 Piping system layout, design and structural analysis [text] / Oil Industry Association (OLF) and The Federation of Norwegian Industr//Edition 3, July 2009, p. 36.
7. Norton, M. "Mechanisms of the generation of external acoustic radiation from pipes due to internal flow disturbances" [Text] / M. Norton and M. Bull //, Journal of Sound and Vibration, 94(1), pp105–146, (1984).
8. Karczub, D. The scaling of pressure fluctuations from equal–tee piping components for in–plant noise prediction, [Text] D. Karczub, F. Catron and A. Fagerlund, // Symposium of Flow–Induced Vibration, ASME Pressure Vessel and Piping Conference, Cleveland, OH (2003).
9. Karczub D. —Piping system noise issues – multiple noise sources [Text]/ D. Karczub, F. Catron, C. DePenning, A. Fagerlund //, Proceedings of POWER 2005,

					<i>Моделирование виброакустических эффектов в реологически сложной среде под действием критических нагрузок</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Вахитов Д.Л.			<i>Список используемой литературы</i>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Харламов С.Н.					75	4
Консульт.		Брусник И.О.				НИ ТПУ зр. 2БМ6Б		
И.о. Зав.каф.		Бурков П.В.						

April 5–7, Chicago, Illinois, (2005).

10. Purton, E. Use of Composite Wraps to Prevent Acoustically Induced Fatigue Failure in Piping Systems [Text]/ Emma Purton, Jeremy Leggoe// 2012 CEED (Co-operative Education for Enterprise Development) Seminar Proceedings School of Mechanical and Chemical Engineering, Woodside Energy Ltd. pp. 19–24.

11. Fagerlund, A. Identification and Prediction of Piping System Noise[Text] / Allen Fagerlund, Denis Karczub, Tucker Martin// Noise-Con 2005, Minneapolis, Minnesota, October 17–19, 2005.

12. Fagerlund, A. Fisher Controls Technical Monograph 33, —Use of Pipe-wall Vibrations to Measure Valve Noise, (1974).

13. Fagerlund, A.C. Use of pipewall vibrations to measure valve noise silencers [Text] / A.C. Fagerlund // Technical monograph 33.

14. Monsen, J. Valve Noise Reduction Strategies [Online.] available: <http://valin.com/index.php/blog/14-fluid-management-/311-valve-noise-reduction-strategies>. – 2011.

15. Au-Yang, M. Flow-Induced Vibration of Power and Process Plant Components, (ASME Press, New York, 2001).

16. Bruce, D.R. Solving acoustic-induced vibration problems in the design stage [Text] / D.R. Bruce, A.S. Bommer, T.E. Lepage // Sound and Vibration. – 2013.

17. Carruci, V.A. and Mueller, R.T., Acoustically Induced Piping Vibration in High Capacity Pressure Reducing Systems, ASME Paper № 82-WA/PVP-8, 1982.

18. Блохинцев, Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды [Текст]/Д.И. Блохинцев – М.: Наука, 1981. – 206 с.

19. Иванов, Н.И. Основы виброакустики [Текст] / Н.И. Иванов, А.С. Никифоров. – СПб.: Политехник, 2000. – 428 с.

20. Пат. 2062940 Российская Федерация, МПК F 16 L 55/04. Гаситель пульсаций давления [Текст] / Григорьев В.Б., Рябуха М.В.; заявитель и патенто-обладатель Военноморская академия им. Адм. Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. – 93049376/06; заявл. 27.10.1993; опубл. 27.06.1996.

					<i>Список используемой литературы</i>	<i>Лист</i> 76
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

21. Ермилов М.А., Крючков А.Н., Шабанов К.Ю. Разработка эффективных устройств снижения виброакустических нагрузок в линиях редуцирования газораспределительных станций // Известия самарского научного центра Российской академии наук. –2014. - Т.16 - №6. - С. 300-304.

22. Пат. 2034190, Российская Федерация, МПК F 16 L 55/04. Гаситель пульсаций давления и расхода в трубопроводе [Текст] / Курбанов Г.Я., Мустафаев А.Ф.; заявитель и патентообладатель Азербайджанский индустриальный университет им. М. Азизбекова. –4942829/29; заявл. 16.04.1991; опубл. 30.04.1995.

23. Борисов С.Н., Даточный В.В. Гидравлические расчеты газопроводов. – М.: Недра, 1972, 108 с.

24. СА 03–003–07. Расчет на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов, ООО «НТП Трубопровод», 2007.

25. Чайницын Г.Л. Эксплуатация газораспределительных станций магистральных газопроводов. – М: Недра, 1971. – 168 с.

26. СП 51-13330.2011-2003 «Защита от шума».

27. Самарин А.А. Вибрации трубопроводов энергетических установок и методы их устранения. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.

28. СТО Газпром 2–3.5–043–2005. Защита от шума технологического оборудования ОАО «Газпром».

29. СТО Газпром 2–3.5–042–2005. Методика расчета уровня шума от компрессорных станций.

30. ГОСТ Р ИСО 15665-2007. Руководство по акустической изоляции труб и арматуры трубопроводов, Москва 2008.

31. Загузов И.С. О снижении уровней пульсаций, вибраций и шума в гидравлических и топливных системах. Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов. - Самара, 1994. - С. 69-74.

32. Колесников А.Е. Шум и вибрация: Учебник. – Л.: Судостроение, 1988. – 242с.

					<i>Список используемой литературы</i>	<i>Лист</i> 77
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

33. Лопашев Д.З. Методы измерения и нормирования шумовых характеристик. –М.: Изд-во стандартов, 1983. – 232 с.
34. СТО Газпром РД 1.10–098–2004. Методика проведения комплексного диагностирования трубопроводов и обвязок технологического оборудования газораспределительных станций магистральных газопроводов. – М., 2004.
35. Арзуманов Э. С. Снижение шума и вибрации в регулирующих органах клапанов. - М.: Изд-во «ЦИНТИ», 1976. - 48 с.
36. Борьба с шумом на производстве. / Под общ. ред. Е. Я. Юдина. - М.: Изд-во «Машиностроение», 1963. - 352 с.
37. ГОСТ 12.1.023-80. Шум. Методы установления значений шумовых характеристик стационарных машин. - М.: Госстандарт СССР, 1980. - 62 с.
38. Наука и безопасность, №1 Март 2015 г. АНО НИИ «Промбезопасность».
39. Будрин С.В. Исследование процессов формирования турбулентных пульсаций давления в проточных частях некоторых элементов // Акустический журнал. - 1994. -Т. 40. - № 3. - С. 515-516.
40. Рабинович М.И. О дипольном акустическом излучении турбулентного пограничного слоя на жёсткой поверхности с геометрической неоднородностью // Акустический
41. Журнал. – 1984. – Т. 30. (№ 1) – С. 105–109.Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1976. - 888 с.
42. Арзуманов Э.С. Снижение шума и вибрации в регулирующих органах клапанов для высоких перепадов давлений. - М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1976. - 48 с.
43. ВРД 39-1.10-069-2002. Положение по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных трубопроводов. – М., 2003.
44. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. - М.: Изд-во «Энергия», 1974. - 592 с.

					<i>Список используемой литературы</i>	<i>Лист</i>
						78
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

**Приложение А
(обязательное)**

**Investigation of the processes of vibroacoustic interaction in aggregates and
pipeline piping of a compressor unit**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Вахитов Дамир Линнурович		

Консультант – лингвист отделения _____ (аббревиатура отделения) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коротченко Т.В.	К.ф.н., доцент		

Investigation of the processes of vibroacoustic interaction in aggregates and pipeline piping of a compressor unit

Most objects of modern technology are subject to vibroacoustic loads. The emergence and action of vibrations leads to greater stresses in the elements of machines and structures, reduces their functional reliability, is harmful to people. The complexity of investigating the vibrational activity of large industrial objects is at availability several load excitation sources, some of which can not be established visually or ka-based analysis of the object under study cycle.

A group of researchers from the Samara State Aerospace University, which included Belozertsev AV, Kryuchkov AN, Prokofiev AB. and Sundukov EV, a study of vibroacoustic the state of the compressor plant shown in Fig. The adjustable screw compressor 2 is driven into rotation by the motor 3 at a constant speed. Forced lubrication of the compressor is carried out at a pressure of 1.5 MPa from a gear pump 13 driven by an electric motor. The medium under test at a pressure of up to 1.5 MPa from the oil separator enters the pressure header 8. A non-return valve 5 is located in the discharge line to prevent the medium from entering the system in the event of shutdown, dismantling and repair of the compressor unit. The vibration state was studied at the points indicated in the figure 1.

In the course of spectral analysis of time implementations vibroparameters in the points indicated in Fig. 1, the presence of a component of 18.8 Hz was noted. This component is present at all the points studied. And in most cases (for example, on the supports of the electric motor 3, compressor 2, on the discharge pipeline 8), it makes an overwhelming contribution to the pulsation picture of the vibration displacement. Smaller values of the amplitude of the frequency of 18.8 Hz were fixed on the body of the oil pump 13 of the lubrication system (in both horizontal directions and in the vertical direction), on the compressor support (in the vertical direction).

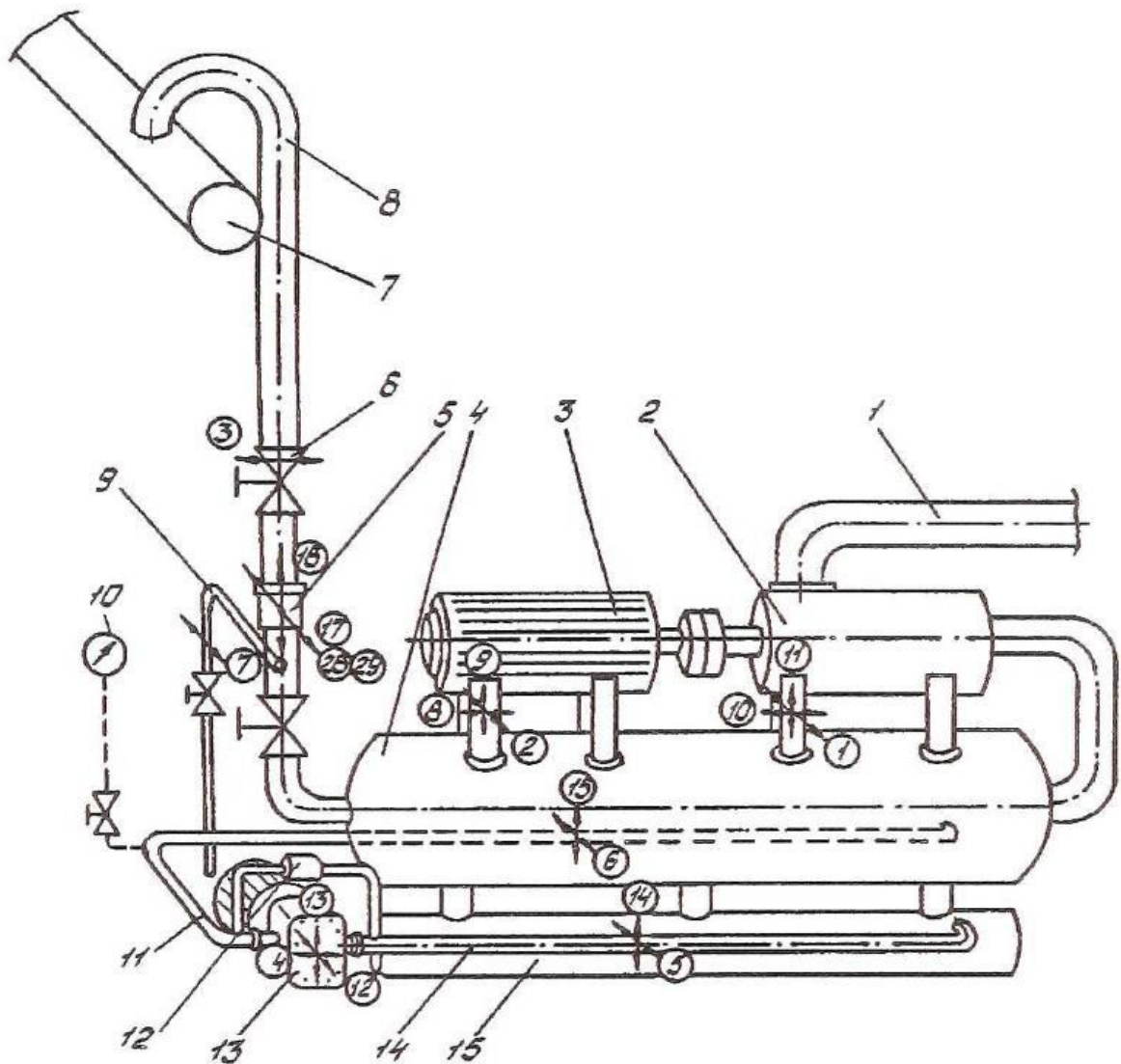


Figure 1 - Scheme of placement and orientation of vibration sensors on aggregates and piping of the compressor BX 350 -7 -3:

1 - the suction line; 2 - compressor BX 350 - 7 - 3; 3-electric drive; 4 - oil separator; 5 - the non-return valve; 6 - the valve; 7 - common collector; 8 - the delivery pipeline; 9 - sampling tube; 10 - oil pressure gauge; 11 - oil injection pipeline; 12 - pressure reducing valve; 13 - oil pump; 14 - oil suction pipe; 15 - oil collector; 3 - frame numbers.

To isolate the oscillation frequency source at 18.8 Hz , an analysis was made of the kinematics of the possible excitation sources. It is obvious that such sources are the motor driving the compressor, the compressor itself and gear pump oil system.

The rotational speed of the motor and compressor shaft is 3000 rpm. Thus, the rotor frequency of this system is 50 Hz. It is also possible the occurrence of oscillations of higher frequencies. Since the number of rotor blades of the

compressor is 4, the "blade" frequency of the compressor is 200 Hz. The next possible source of vibration is the oil pump. The rotational speed of its rotor is 1500 rpm. Thus, the rotary frequency is 25 Hz. The number of gear teeth is 12. The tooth frequency is 300 Hz. The analysis of the kinematics of the electric motor with the compressor and the gear pump of the oil system shows that they can not be sources of excitation of the frequency of 18.8 Hz. this frequency is not a multiple of any of the frequencies of the spectrum of their oscillations.

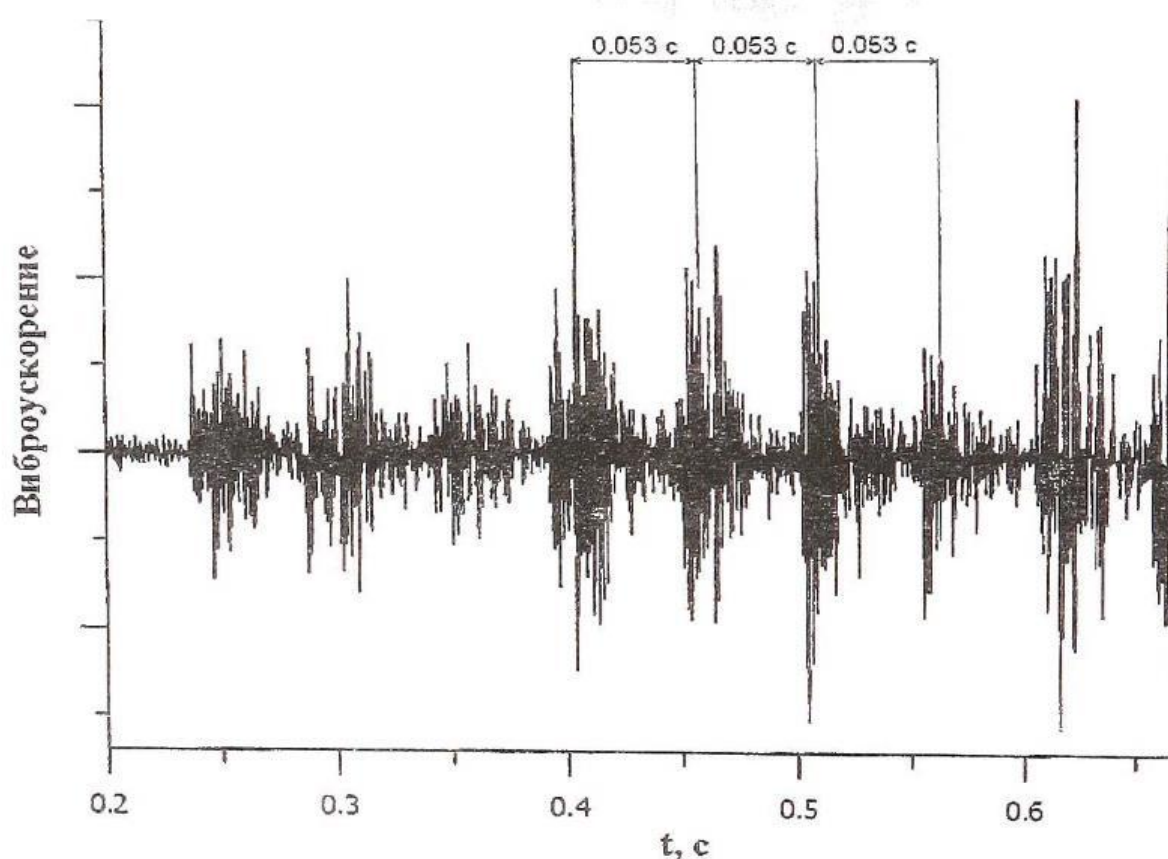


Figure 2 - Oscillogram vibroacceleration around the body of the check valve [1].

In the course of further research into the operation of the compressor unit, attention was paid to the presence of knocking in the vicinity of the pressure relief valve body. For the purpose of more thorough investigation of this phenomenon, a temporal realization of vibration acceleration with a high sampling frequency (4000 Hz) was recorded. Figure 2 shows a part of the temporal realization of vibration acceleration at a specified point. The analysis of oscillograms allows to note periodically repeating impacts with a frequency of 18.8 Hz. The most likely nature of their occurrence is self-oscillation of the valve and its impacts on the saddle, which is a

fluoroplastic ring. Thus, as one of the sources of excitation of vibration is the check valve of the discharge pipeline.

A study was made of the natural frequencies of the mechanical system of injection pipelines on a non-working compressor by the tapping method. The interpretation of the obtained oscillograms allows us to conclude that one of the lowest natural frequencies of a vertical high-pressure pipeline is 18.8 Hz.

To determine the possibility of resonant phenomena in the column of the working medium in the injection pipelines, an estimated calculation of the natural frequencies of oscillations is performed. In the calculation, it was assumed that the load at both ends of the pipeline is an acoustically open end; The rigidity of the walls of the pipeline is much greater than the elasticity of the working medium, i.e. The speed of sound in the system is approximately equal to the speed of sound in the gas. It is known that the speed of sound in a medium at $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ is 414.8 m/s . At other temperatures, the speed of sound

is determined by the formula $c=c_{t=0} \cdot \sqrt{\frac{t+273}{273}}$. Thus, at $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $c = 444.1\text{ m/s}$. The

first resonant frequency of the pipeline, and acoustically open at both ends, is calculated from formula $f = \frac{a}{2l}$ and at $l = 3.8\text{ m}$ (for the system under consideration) is 58.4 Hz. It should be noted here that the results of this calculation can only be used as estimates, since the true acoustic load of the pipeline in question is unknown.

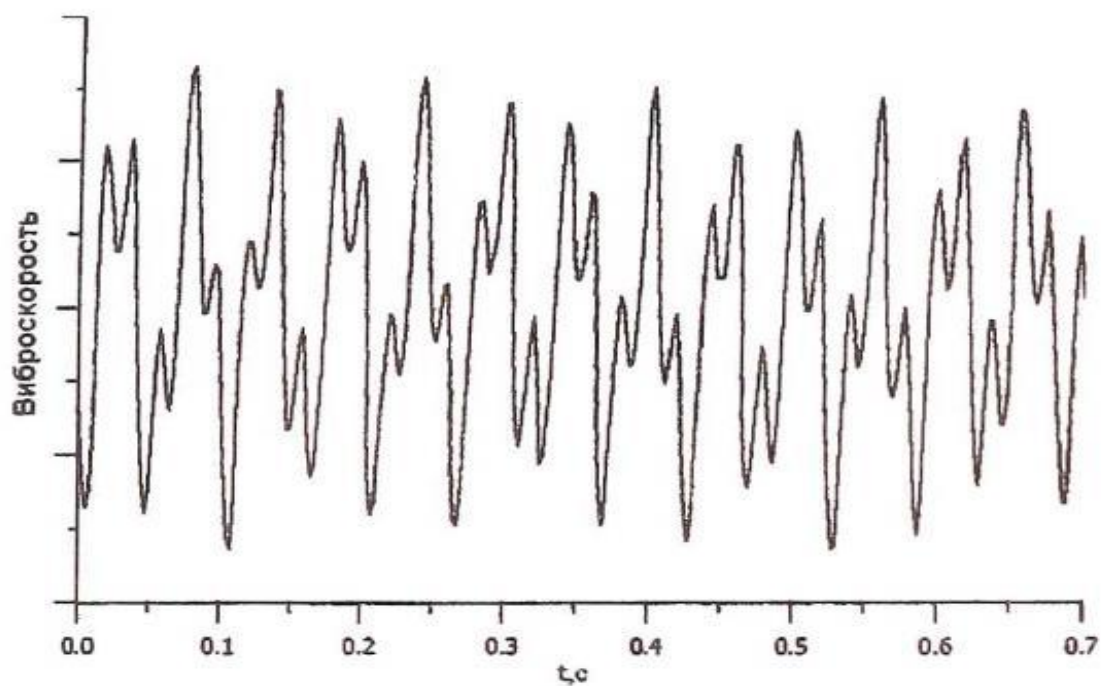
Thus, as a result of the analysis done, the following conclusions are drawn:

1. The main sources of excitation of the vibrations of the elements of the compressor unit are the check valve of the discharge pipeline, the drive motor and the compressor itself, the gear pump of the lubrication system and, possibly, the pressure reducing valve.

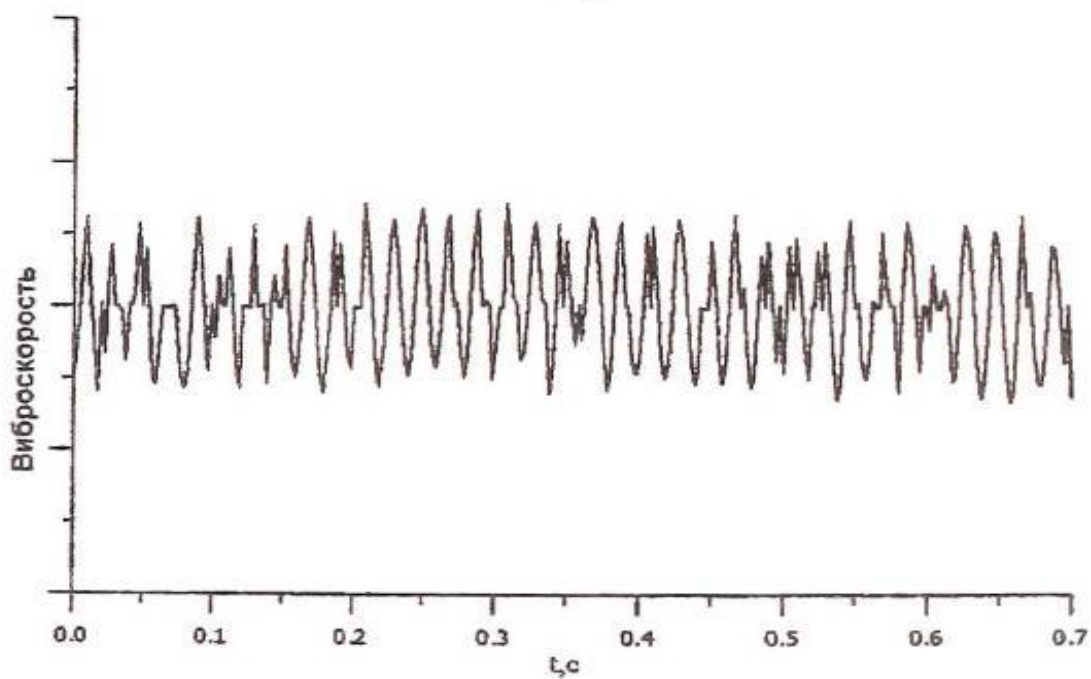
2. The collector of injection pipelines is a pneumomechanical system operating in difficult conditions of vibroacoustical interaction of its subsystems. The main provisions characterizing these interactions are as follows:

- autooscillations valve excite vibration all elements of the compressor plant at a frequency of 18.8 Hz;
- self-oscillations of the valve generate forced pulsations of the working

medium in the system of injection pipelines (the amplitude of these pulsations is rather insignificant);



a)



б)

Figure 3 - Oscillograms of vibration velocity in the area of the body of the check valve: a) in the presence of audible knocking; b) in the absence of audible knocking [1].

•

- frequency own mechanical of the oscillations of the discharge pipeline coincides with the frequency of the oscillations of the non-return valve;
- the lowest frequency of the natural oscillations of the gas column in the injection pipeline (58.4 Hz) is practically a multiple of the pulsation frequency generated by the valve (18.8 Hz). Multiplicity - 3.11 ;
- the lowest frequency of the natural vibrations of the column of the working medium in the injection pipeline (58.4 Hz) practically coincides with the rotary frequency of the compressor (50 Hz), which also generates certain pressure pulsations.

3. A resonant increase in the vibrations of the injection pipelines is possible, both due to kinematic and force excitation

4. A resonant increase in the vibrations of the oil system pipelines is possible.

These findings are in good agreement with the results of experimental studies. Thus, Fig. 3a shows the oscillogram of the vibration velocity on discharge pipeline.

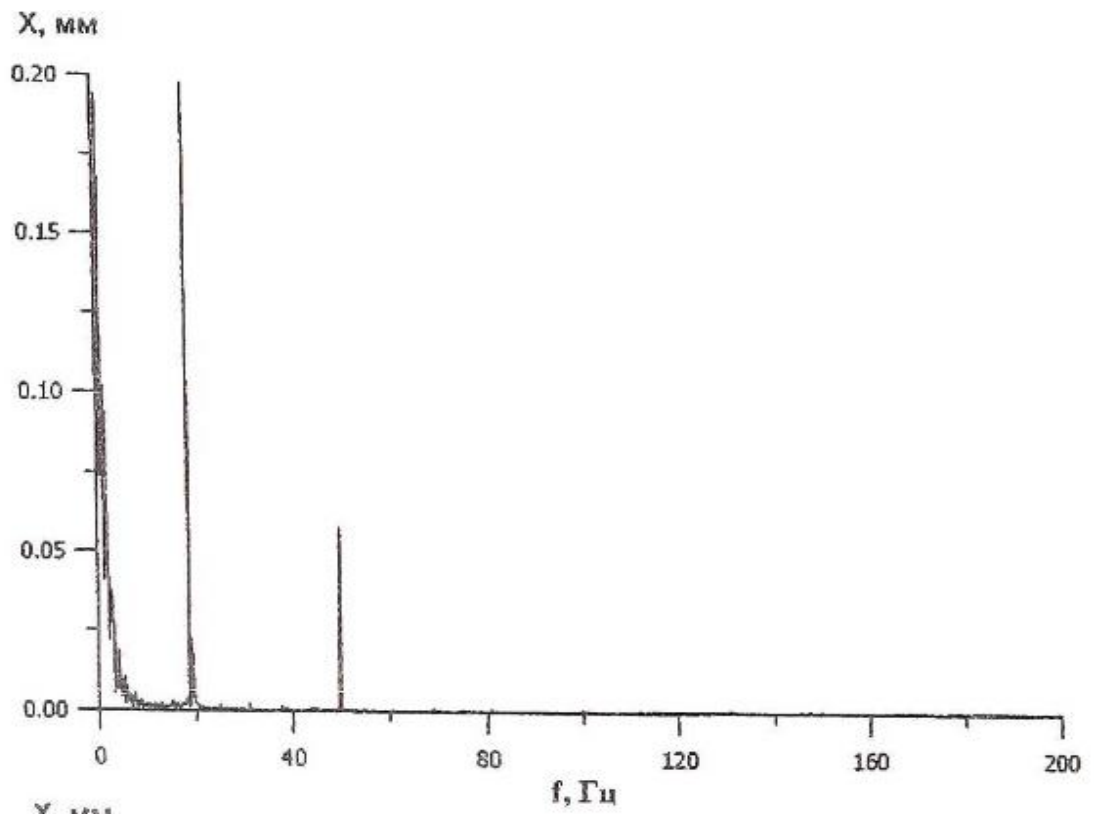
From Figure 3a and shows that for each peak vibration velocity, 18.8 Hz, (perhaps due to fluctuations of the check valve), accounting for less than 2 50 Hz frequency peak (caused by natural vibrations of the acoustic subsystems s injection pipeline). The spectrogram of the vibration displacement corresponding to this oscillogram is shown in Fig. 4a. Analysis of Figure 4a allows us to note that the amplitude of the vibration displacement of the component of 18.8 Hz is 0.2 mm, which does not correspond to [1].

When the operators of the compressor station performed the technological operation "defrosting", it was noted that audible "knocking" in the vicinity of the check valve body was stopped. In the course of this operation, by adjusting the position of the output spool of the unit at a constant rotational speed of the compressor rotor, the pressure at its outlet was reduced from 0.7 to 0.4 MPa. It was suggested that a change in the mode of operation of the compressor facilitates the transition of the valve to an area where its self-oscillations disappear completely, or their amplitude is significantly

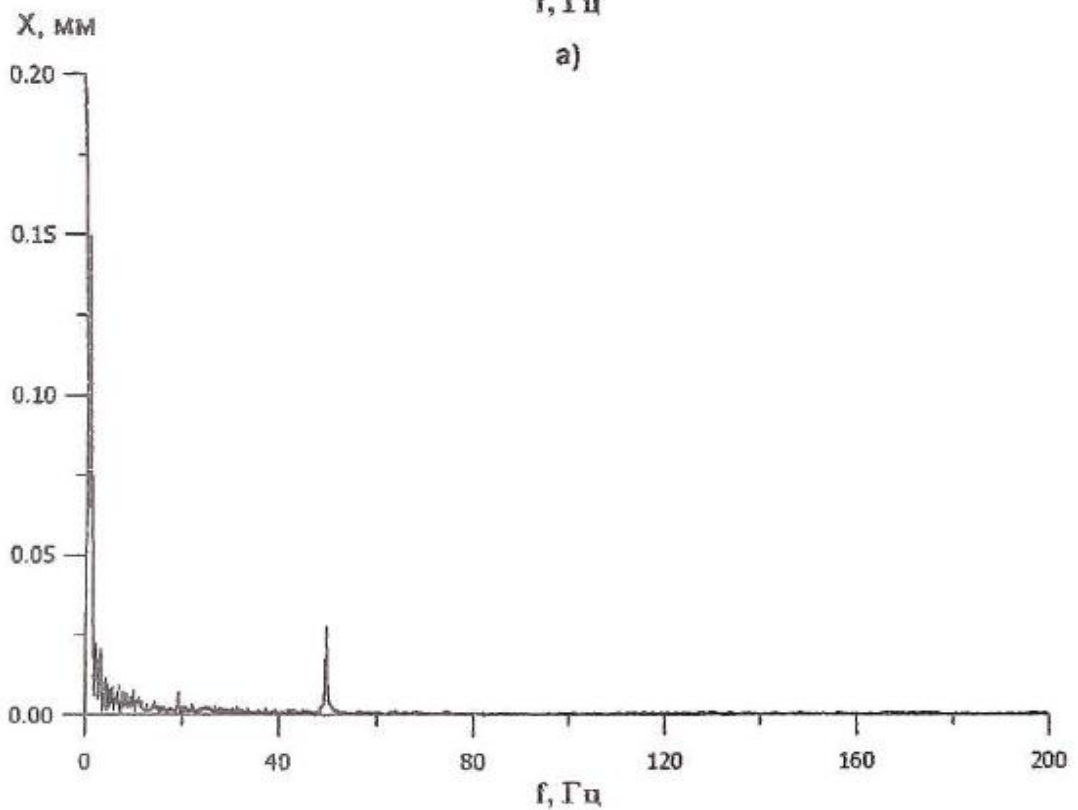
reduced. This is confirmed by the measurements taken. The oscillogram of the vibration velocity in the absence of audible knocking of the check valve is shown in Fig. 3b (in the scale of Fig. 3a along the axis of vibration velocity). The corresponding spectrogram of vibration displacement is shown in Fig. 4b. Comparison of the spectrograms in Figures 4a and 4b makes it possible to note that, although the valve impacts on the saddle were not audible, a 19 Hz component exists in the vibration spectrum. However, its amplitude is 27.8 times smaller and is much lower than the norms for vibration (according to [1]). This allows us to conclude that the amplitude of the valve oscillations is noticeably lower.

It should also be noted that the amplitude of the component is 50 Hz 2 times, which again confirms the conclusion about the processes of vibro-acoustic interaction in the system under consideration.

During the research and subsequent analysis of the oscillograms, a significant excess of the vibration standards (2.23 times) on the sampler tube was also recorded.



a)



б)

Figure 4 - Spectrograms of vibro-displacement in the vicinity of the check valve body:

a) in the presence of audible knocking; b) in the absence of audible knocking [1].

Vibrodisplacements amplitude at a frequency of 18.8 Hz at this point was 0.447 mm. View time series of vibration (Figure 5) and

spectrogram vibrodisplacements clearly says that this handset works on resonance.

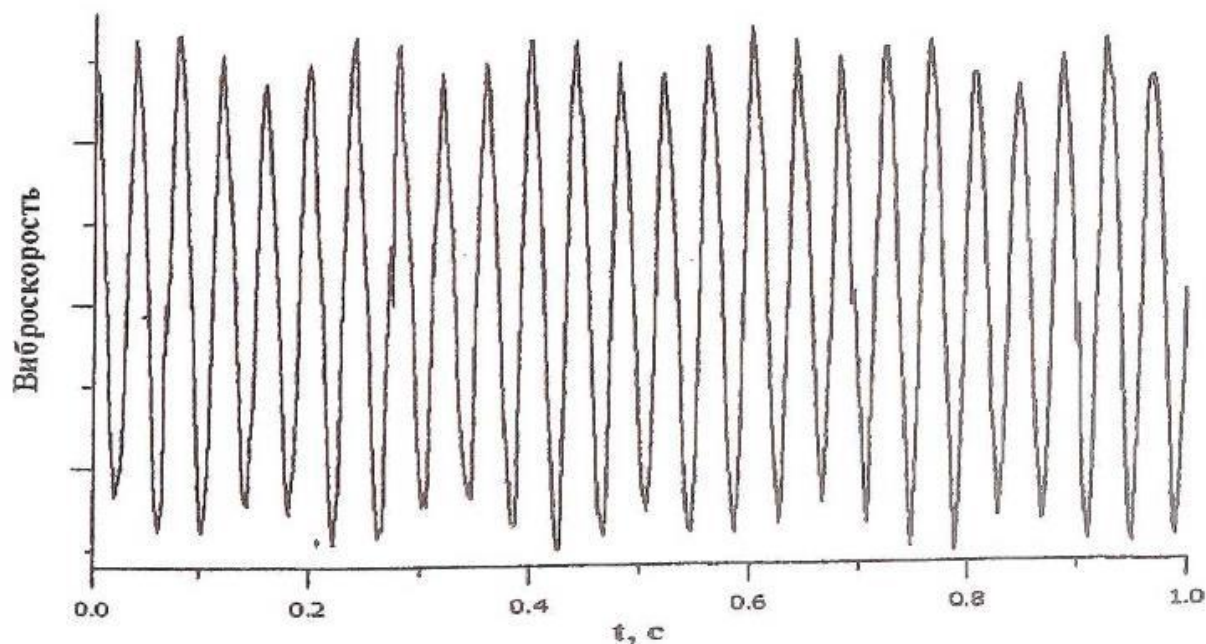


Figure 5 - Oscillogram of the vibration velocity of the sampler tube [1].

Similar results were obtained when evaluating the vibrational activity of the high-pressure pipeline at the output of a gear pump. There were also recorded excesses of vibration norms (2.30 times). The analysis of the oscillograms and spectrograms of the vibroparameters of this pipeline confirms the hypothesis advanced about the resonance nature of the excitation. However, we should dwell on the possible mechanism of this excitation. The frequency of the fundamental harmonic of vibration at the oil pump outlet pipe is 25 Hz. Those this vibration is not related to the auto-oscillations of the valve. Most likely, it is caused by the excitation of the gear pump itself. The tooth frequency of this pump, as noted above, is 300 Hz, the rotary frequency is 25 Hz. In addition, excitation of pressure pulsations by the oscillations of the reduction valve is possible. Thus, the mechanism of both force and kinematic excitation is possible. However, it is possible to judge this more specifically only after carrying out additional experimental studies of the pulsation state of the lubrication system and the vibration state of the reduction valve. We only note that intermittent oscillations of the gauge needle at the output of the gear pump were recorded, which indicates the presence of significant pressure pulsations, which may be the cause of pump

failure, depressurization of pipeline connections, failure of pressure gauges. During operation, the manometer is throttled with a valve and does not record true pulsations.

The results of measurements indicated the presence of an intense, relatively broadband component in the region of 1 Hz.

Evaluation of the durations of the impacts of the non-return valve allows us to conclude that in its spectrum there can be a component at this frequency. At this or near frequencies, resonance of the system of injection pipelines of all three compressors connected by a common collector is possible.

Let us consider possible methods for reducing the detected vibroacoustic loads. There are three ways of fighting. This is the frequency detuning of systems, the use of special corrective devices and the control of the excitation source. Let's consider these methods consistently for all three points, where the excess of the norms for the vibration of pipelines is revealed.

1. The discharge pipeline.

The frequency detuning of such a system from possible resonances is very problematic. This is due to the need for a significant re-arrangement of the pipeline system. In addition, given the complexity of the configuration of the system, it is possible to get from the zone of one resonance into the zone of the other (which is associated with a large number of low natural frequencies of the system in different directions). Damping of the oscillations of the pipelines in this case also requires considerable reconfiguration, the introduction of additional supports, and the increase in the massiveness of the system. In addition, this measure does not solve the problem of periodic wear of the fluoroplastic ring of the check valve seat. More promising development of constructive measures aimed at improving the design of the valve or its damping in order to exclude its fluctuations. This will also reduce the overall level of vibroactivity of the system.

2. The sampler tube.

The simplest and most effective measure, according to the results of experimental studies, is in this case frequency tuning. Removal of valve oscillations significantly reduce vibrosmeschenie resonance tube.

3. Lubrication system.

Since the pulsation state of the lubrication system and the vibrational background of the reduction valve has not been studied, it is quite difficult to talk about measures for reducing vibration. However, the following solutions e suggests the use of a corrective device-absorber pressure oscillations

- at the output of the gear pump. Considering the constancy of the rotor speed of the pump, it is advisable to use a damper built on the basis of a branched resonator with a shunted throat. This absorber will reduce both the level of vibrations and the level of pressure pulsations in the system, increase the parametric and functional reliability of the pump itself, the resource of manometers.

Thus, as a result of the experiment, the vibration activity of the compressor unit was investigated, sources of vibroacoustic loads were identified, vibroacoustic interaction between the subsystems was identified, points with maximum vibrations were identified, and recommendations were proposed for reducing loads.