

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки нефтегазовое дело  
Кафедра теоретической и прикладной механики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Модернизация центробежного насоса типа НМ с установкой подшипников на основе карбида кремния</b>

УДК 621.671-233.2-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Фатеев Александр Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТПМ	Зиякаев Г.Р.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭПР	Шарф И.В.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О. С.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н.	К.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

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

---

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Уровень образования: магистратура

Кафедра теоретической и прикладной механики

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2016/2017 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: \_\_\_\_\_

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.09.2016	Введение	5
30.10.2016	Обзор литературы по теме ВКР	10
28.11.2016	Аналитический обзор по проблемному вопросу	10
15.12.2016	Постановка задачи исследования	5
26.12.2016	Методическая часть: методика моделирования	5
6.02.2017	Исследование по технологии	5
27.03.2017	Анализ и обсуждение результатов	20
15.04.2017	Оценка эффективности предложения	10
30.04.2017	Раздел «Финансовый	5
8.05.2017	Раздел «Социальная ответственность»	5
8.05.2017	Заключение	5
15.05.2017	Реферат	3
21.05.2017	Написание пояснительной записки	2
6.06.2017	Предварительная защита	-
10.06.2017	Подготовка доклада	5
13.06.2017	Оформление презентации	5
	Итого	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПМ	Зиякаев Г. Р.	К. Т. Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е. Н.	К. Т. Н.		

## Запланированные результаты обучения ООП

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
<b>Р1</b>	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, 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
<b>Р2</b>	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	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
<b>Р3</b>	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования 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
<b>Р4</b>	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.	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;
<b>Р5</b>	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования 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;
<b>Р6</b>	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.	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

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
<b>Р7</b>	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
<b>Р8</b>	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-8; ПК-23

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Фатееву Александру Вадимовичу

Тема работы:

Модернизация центробежного насоса типа НМ с установкой подшипников на основе карбида кремния
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	23.03.2017г. номер 2067/с
---	---------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2017г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>Объектом исследования данной дипломной работы являются магистральные нефтяной насос и нефтеперекачивающая станция. Все нефтеперекачивающие станции должны безопасно эксплуатироваться, а основные нефтеперекачивающие агрегаты сохранять работоспособное состояние на протяжении всего нормативного срока эксплуатации. Эксплуатация магистральных нефтепроводов не должна приводить к загрязнению окружающей среды выше допустимых норм и быть ресурсоэффективной.</i></p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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>	<p>1. Рассмотреть классификацию методов диагностики насосного оборудования, а также возможности по уменьшению вибрационных и шумовых характеристик.</p> <p>2. Провести анализ применения упругодемпфирующих профилированных материалов в опорах насоса.</p> <p>3. Провести расчет предложенных поверхностей.</p> <p>4. Рассчитать затраты на монтаж подшипника в насосный агрегат, при проведении текущего ремонта.</p> <p>Рассмотреть вопросы безопасности персонала и окружающей среды при проведении работ.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Шарф И.В.</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Кырмакова О. С.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ТПМ	Зиякаев Г.Р.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Фатеев А.В.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 114 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 21 \_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_ 17 \_\_\_\_\_ табл., \_\_\_\_\_ 39 \_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ прил.

Ключевые слова: \_\_\_\_\_ подшипник, насос нефтяной магистральный, система сглаживания волн давления, нефтеперекачивающая станция.

Объектом исследования является (ются) \_\_\_\_\_ промежуточная \_\_\_\_\_ нефтеперекачивающая станция и нефтяной магистральный насос НМ 1250-260

Цель работы – увеличение безремонтного периода работы насоса, увеличение срока службы опорных узлов (за счет использования упругодемпфирующих профилированных поверхностей, и использования эффекта избирательного переноса), уменьшение шумовой и вибрационной активности агрегата.

В процессе исследования проводились анализ проблем опорного узла нефтяного магистрального насоса НМ 1250-260, а также причин срыва подачи насоса, дифференцирование уравнений для расчета упругодемпфирующих подшипников скольжения, подбор оптимальной пары трения.

В результате исследования предложена система сглаживания волн давления в технологическом трубопроводе при перекачке “из насоса в насос”, для предотвращения срыва подачи при колебаниях давления, подобрана экспериментальная пара трения “сталь-медь-среда циатим” опорного узла НМ 1250-20.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: в результате предложенной модернизации опорных узлов, шумовые характеристики насоса удастся снизить на 15%, вибрационные характеристики на 20%, безремонтный период увеличится на 200%.

Степень внедрения: ССВД применяется на вновь построенных промежуточных станциях АО “Транснефть”, начиная с 2016 года.

Область применения: \_\_\_\_\_ магистральный транспорт нефти

Экономическая эффективность/значимость работы установка ССВД позволит снизить затраты на штрафы “за разливы нефти”, продлит срок службы насосов (из-за резкого перепада давления в нефтепроводе в среднем из строя выходит один насос в 5 лет), в изготовлении профилированных упругодемпфирующих поверхностей используются отходы химической и металлургической промышленности, что снижает стоимость закупки сырья под изготовления исследуемых пар трения.

В будущем планируется \_\_\_\_\_ провести подробнее исследовать/эксперимент пары трения “сталь-медь-среда циатим”, предложенной в выпускной квалификационной работе.

## СОКРАЩЕНИЯ

ЛПДС – линейная производственно-диспетчерская станция

НПС – нефтеперекачивающая станция

СОД – средства очистки и диагностирования

РНУ – районное нефтепроводное управление

НМ – насос магистральный

НОУ – насос откачки утечек

ФГУ – фильтр-грязеуловитель

ЕП – емкость подземная

РД – регулятор давления

РД – руководящий документ

ССВД – система сглаживания волн давления

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика

САР – система автоматического регулирования

НТД – нормативно-техническая документация

РДП – районный диспетчерский пункт

СКУТОР – системы контроля и управления техническим обслуживанием и ремонтом

СУООС – системы управления и охраны окружающей среды

ССБТ – система стандартов безопасности труда

## **НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

ГОСТ 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ Р ИСО14001-98. Система управления охраной окружающей среды. Требования и руководство по применению.

ГОСТ Р ИСО 14031-2001. Управление окружающей средой. Оценивание экологической эффективности. Общие требования.

РД 153-39ТН-008-96. Руководство по организации эксплуатации и технологии технического обслуживания и ремонта оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций.

РД 08-183-98. Правила оформления и хранения документации, подтверждающей безопасность величины максимально разрешённого рабочего давления при эксплуатации объекта магистрального трубопровода

ВППБ 01-05-99. Правила пожарной безопасности при эксплуатации магистральных нефтепроводов.

ВНТП 2-86. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов.

СниН 3.05.05-84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы.

СНиП 2.05.06-85. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы.

СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования.

СНиП 2.09.03-85. сооружение промышленных предприятий.

НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасности.

ОР 14.00-74.20.40-КТН-003-1-03. Положение по техническому регулированию системы магистрального нефтепроводного транспорта ОАО АК «Транснефть».

ОР 14.00-74-20.20-КТН-003-1-03. Регламент учётной регистрации и кодирования нормативных документов в системе магистрального нефтепроводного транспорта ОАО АК «Транснефть».

СТП-24.00-74.20.55-КТН-003-1-04. Система управления окружающей средой. Структура и ответственность.

СТП-24.00-74.20.55-КТН-004-1-04. Система управления окружающей средой. Планирование.

СТП-24.00-74.20.55-КТН-007-1-04. Система управления окружающей средой. Управление документацией.

СТП-24.00-74.20.55-КТН-013-1-04. Система управления окружающей средой. Аудит СУООС.

СТП-24.00-74.20.55-КТН-014-1-04. Система управления окружающей средой. Анализ со стороны руководства.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	1
1. Обзор литературы .....	2
1.1. Характеристика предприятия .....	2
1.2. Нефтеперекачивающая станция .....	4
1.3. Технологические режимы работы НПС .....	4
1.4. Диагностирование оборудования НПС .....	10
1.5. Технические средства и устройства, обеспечивающие определение трибологических показателей .....	11
1.6. Параметрическая диагностика .....	12
1.7. Трибологическая диагностика .....	13
1.8. Средства, методы и организация работ по вибрационной диагностике .....	14
1.9. Система регулятора скорости повышения давления Аркрон-1000 .....	17
1.10. Использование подшипников качения в крупногабаритных опорных узлах .....	26
1.11. Применение подшипников скольжения с управляемым нагружением .....	29
2. Насосный агрегат .....	34
2.1. Насос нефтяной магистральный НМ 1250-260 .....	34
2.2. Обслуживание насосов .....	41
2.3. Регулирование подачи .....	42
3. Расчет трибологических параметров опорных узлов НМ 1250-260 .....	45
3.1. Методика определения рабочих характеристик подшипников .....	45
3.2. Использование упругодемпфирующих поверхностей в подшипниках скольжения .....	52
3.3. Методика расчета упругодемпфирующих подшипников скольжения .....	57
3.4. Подбор пар скольжения и смазки для обеспечения избирательного переноса .....	81
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	85
5. Социальная ответственность .....	91
Заключение .....	107
Список используемых источников .....	109
Приложение А .....	114

## **ВВЕДЕНИЕ**

На предприятиях транспортирования нефти одним из основных направлений повышения эффективности (качества) процессов является более полное использование пропускной способности трубопровода и мощности нефтеперекачивающих станций. Оно обеспечивает сокращение продолжительности пребывания нефти в стадии хранения, ускорение обращения оборотных средств, оборачиваемости нефти через резервуарные парки, снижает себестоимость хранения нефти.

Работа сложной системы трубопроводного транспорта сопряжена с неравномерностью подачи и приема нефти, что влияет на давление в нефтепроводе и на эффективность работы НПС. Изменение давления и расхода негативно отражаются на функционировании насосных агрегатов типа НМ 1250 – 260. Все эти факторы вызывают переменные нагрузки по времени и значению, что существенно негативно сказывается на надежности работы насоса. Так же наличие в самом насосе НМ большого количества сопряженных элементов, вызывает скачкообразные вибрационные характеристики от опорных поверхностей (подшипники качения), что так же влияет на работоспособность всего механизма.

Целью диссертации является увеличение безремонтного периода работы насоса, увеличение срока службы опорных узлов (за счет использования упругодемпфирующих профилированных поверхностей, и использования эффекта избирательного переноса), уменьшение шумовой и вибрационной активности агрегата.

Задачами, поставленными в работе, являются решение проблемы функционирования насосных агрегатов типа НМ 1250-260 в условиях неравномерной подачи и приема нефти, а также решения по снижению вибрации и шума опорного узла агрегата с увеличением безремонтного периода.

# 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1. Характеристика предприятия

ПАО «Транснефть» образована в соответствии с Указом Президента РФ от 17 ноября 1992г. В соответствии с кодом ОКОГУ 41118 АК«Транснефть» внесена в общероссийский классификатор органов государственной власти и органов управления.

Компания осуществляет функции управления (прогнозирование, планирование, нормативное регулирование, методическое руководство, учёт, контроль и т.д.) деятельностью ОАО в области рационального природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности при транспортировке, хранении и перекачке нефти.

ОАО «Центрсибнефтепровод» является дочерним предприятием АК «Транснефть». Общество создано в целях реализации технических и социально-экономических интересов акционеров при безусловном обеспечении интересов РФ в области транспортировки по магистральным нефтепроводам нефти, газа и продуктов их переработки, а также с целью извлечения прибыли.

Стрежевское ЛПДС – подразделение ОАО «Центрсибнефтепровод». Основными видами деятельности Стрежевской ЛПДС являются:

- транспортировка по МН нефти;
- эксплуатация магистрального трубопроводного транспорта;
- хранение нефти;
- инструментальные замеры количества загрязнённых веществ, поступающих в воздух и водоёмы;
- деятельность по учреждению склада временного хранения;

- проведение плановой, экономической и финансовой работы, направленной на организацию рациональной хозяйственной деятельности, обеспечение финансовыми ресурсами деятельности предприятия, выявление и использование резервов производства с целью достижения наибольшей экономической эффективности;
- реконструкция, техническое перевооружение и своевременный капитальный ремонт действующих основных фондов;
- ликвидация аварийных ситуаций на нефтепроводах и оборудовании НПС;
- организация мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС;
- метрологическое обеспечение единства измерений при учёте количества и качества нефти;
- ремонт труб, фасонных изделий, оборудования, запорной арматуры, приборов контроля и регулирования для магистральных нефтепроводов;
- обеспечение правильной эксплуатации механизмов, оборудования, транспортных средств, зданий, сооружений, энергетических, вентиляционных и других установок;
- охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов;
- деятельность по предупреждению и тушению пожаров.

ЛПДС имеет две резервные линии электроснабжения, а также оснащена автономными источниками – дизельгенераторами, что обеспечивает бесперебойность технологических процессов.

В настоящее время уровень автоматизации измерения качества на предприятиях с непрерывным характером изготовления продукции недостаточен. Ещё велика доля измерений показателей и отдельных свойств продукта лабораторным контролем. На Стрежевской ЛПДС он

осуществляется опытным путём и реализуется в виде графиков отбора и измерения лабораторных проб.

В лаборатории Стрежевской ЛПДС проводятся испытания нефти на содержание в ней воды, серы, механических примесей и хлористых солей.

## **1.2. Нефтеперекачивающая станция**

Перекачивающая насосная станция без емкости предназначена для повышения давления в магистральном нефтепроводе при перекачке нефти.

Нефтеперекачивающая станция НПС «Раскино» введена в эксплуатацию в 1986 году, является структурным подразделением ОАО «Центрсибнефтепровод» и представляет собой комплекс сооружений и устройств для перекачки нефти по магистральному нефтепроводу участке Раскино – Медведево.

В состав НПС входят:

- насосная станция с магистральными насосными агрегатами и системой смазки, охлаждения и откачки утечек;
- фильтры-грязеуловители;
- узел регуляторов давления;
- системы водоснабжения, теплоснабжения, вентиляции, канализации, пожаротушения, электроснабжения, автоматики, телемеханики, АСУ, связи, производственно – бытовые здания и сооружения.

## **1.3. Технологические режимы работы НПС**

НПС без емкости предназначена для повышения давления в магистральном нефтепроводе при перекачке нефти

Технологический процесс перекачки осуществляется согласно утвержденным технологическим картам нефтепровода и технологическим режимам перекачки.

Основной схемой технологического процесса перекачки нефти для промежуточной НПС является перекачка «из насоса в насос».

Нефть перекачивается по нефтепроводу с головной перекачивающей станции «Александровская».

Нефть поступает на НПС «Раскино» через приемные задвижки №№22,23 (см. технологическую схему НПС №2), расположенные в узле подключения станции (или узле пуска-приема очистных устройств), как видно из технологической схемы НПС. Узел пуска и приема очистных устройств позволяет вести перекачку нефти как через НПС-2, так и минуя ее. При перекачке нефти через НПС открыты задвижки №№22,23, а задвижки №№41, 32р, 33р – закрыты. При перекачке нефти, минуя НПС, открыты задвижки №№25,26, а задвижки №№22,23 – закрыты.

Нефть проходит через фильтры-грязеуловители №1 и №2, где она очищается. Перепады давления в фильтрах-грязеуловителях регистрируют раз в 12 часов, а после проведения работ на линейной части не реже одного раза в час. Значение максимального перепада давления на фильтрегрязеуловителе принимается по техническим требованиям завода-изготовителя. Для очистки фильтров-грязеуловителей отключают задвижки №№11, 12, 13, 14, предварительно включив резервный фильтр-грязеуловитель.

Далее нефть поступает в магистральную насосную.

На участке трубопровода от магистральной насосной до магистрального нефтепровода установлен узел регулирования давления для поддержания заданных величин давления:

- минимальное давление на входе в магистральную насосную 2 кгс/см<sup>2</sup>;

- максимальное давление на выходе из магистральной насосной 75 кгс/см<sup>2</sup>.

В узле регулирования давления установлены две регулирующие заслонки с допустимым давлением  $P_y=75\text{кгс/см}^2$  на суммарную производительность  $Q=1250\text{ м}^3/\text{час}$ .

Опосля узла регуляторов давления нефть через выкидную задвижку НПС №40 сервируется на последующую НПС либо на головную НПС с емкостью последующего (либо окончательного) участка магистрального нефтепровода зависимо от режима работы нефтепровода.

Научно-технический процесс перекачки [1] сможет исполняться по последующим схемам:

- «через резервуары» – используется для учета нефти на НПС и скопления нефти;
- «из насоса в насос» – используется на промежуточных НПС, на которых не установлены подпорные насосы и резервуары;
- «с присоединенными резервуарами» – используется на промежуточных НПС по мере надобности компенсации неравномерности производительности на соседних участках нефтепровода.

Расчётное время работы магистральных нефтепроводов с учётом остановок на ремонт воспринимается одинаковым 350 денькам либо 8400 часам в год.

При переключениях на линейной доли, научно-технических трубопроводах, выполняемых в отсутствии остановки перекачки, закрытие задвижки делается исключительно опосля открытия задвижек в новеньком направлении перекачки.

В целях убавления усталостных напряжений в сплаве труб и оборудования, увеличения их прочности гарантируют более долгосрочную работу нефтепровода на данном научно-техническом режиме, избегая

значимых шатаний давления – остановок 1-го либо 2-ух насосных аппаратов НПС, остановки перекачки нефти по трубопроводу и полного сброса давления.

Оперативный персонал НПС производит:

- конкретное управление научно-техническим оборудованием, системами, постройками;
- изначальный учёт числа принимаемой, перекачиваемой, сдаваемой, оказавшейся на сбережении нефти и контроль её свойства;
- неизменный контроль тех. характеристик, тех. состояния главного и дополнительного оборудования, систем, построек на вверенных объектах, также регистрацию через любые 2 часа значений научно-технических характеристик.

Оперативный контроль, регистрация, тест главных тех. характеристик работы ЛПДС, равновесия нефти выполняется не пореже, нежели через любые 2 часа, на всех уровнях диспетчерских служб.

Управление научно-техническим ходом делается:

- на уровне фирмы – центральным диспетчерским управлением (ЦДУ);
- на уровне ОАО МН – диспетчерской службой ОАО МН с центрального диспетчерского пт;
- на уровне тех. объектов – диспетчерской службой отделений ОАО МН с местного диспетчерского пт (РДП) и оперативным персоналом НПС.

Сотрудники оперативно-диспетчерских служб в масштабах собственных производимых функций управляются:

- научно-техническим Распорядком НПС;
- должностными, производственными инструкциями;
- аннотацией по учету нефти при ее перевозке;
- научно-технической картой работы магистральных трубопроводов;

- научно-технической картой резервуаров;
- графиком плановых остановок магистральных нефтепроводов;
- картой уставок тех. оборон нефтепровода, главного и дополнительного оборудования НПС;
- ликвидации вероятных автоаварий;
- положением о диспетчерской службе, отделе;
- эталонами, техусловиями на принимаемую и сдаваемую нефть;
- правилами по охране труда, пожарной сохранности, промышленной сохранности;
- инструкциями по эксплуатации средств телемеханики, техники и передачи инфы;
- нормативно-технической документацией связанных с приема, перекачки, сдачи нефти, ведения научно-технического процесса перекачки нефти.

Срок сбережения перечисленных документов - 3 года.

Управление НПС сможет исполняться в 2-ух режимах: районном либо дистанционном (телемеханическом). Выбор режима исполняется при помощи соответственного ключа, установленного на внешней части общестанционной панели. Главным режимом управления считается телемеханический режим управления из РДП. Перевод ключа в районный режим производится дежурным персоналом при производстве дел и в аварийных обстановках по согласованию с диспетчером РДП.

Районное управления НПС исполняется в 3-х режимах:

- кнопочный (ручной) - насосный аппарат и задвижки справляются отдельными клавишами на щите управления;
- автоматический – запуск и остановка аппарата случается по данной программке при нажатии клавиши «Запуск» («Стоп»). При автоаварии и срабатывании оборон аппарат останавливается автоматом;

- автоматический резерв – насосный аппарат врубается автоматом при остановке по охране хоть какого из работающих насосных аппаратов.

Запуск насосных аппаратов делается в последствии исполнения всех предварительных событий, обозначенных в «Аннотации по пуску и остановке насосной станции», также опосля выяснения обычной работы всех запасных систем (маслосмазки, САР и др.) по характеристикам контрольно-сигнальной техники.

При пуске насосного аппарата в кнопочном режиме ключ выбора режима управления на общестанционной панели устанавливается в положение “районное”, а на панели запускаемого аппарата в положение “кнопочное”.

Запуск насосного аппарата делается в последующей очередности:

- клавишей “запуск” открыть задвижку на способе аппарата;
- надавить клавишу “запуск” на открытие задвижки на нагнетании аппарата;
- удостоверившись, собственно задвижка вульгарна на открытие, надавить клавишу “запуск” на подключение насосного аппарата.

Ход разворота аппарата и его работа контролируется по свидетельствам амперметра и устройств давления.

Остановка насосного аппарата делается клавишей “стоп”, закрытие агрегатных задвижек клавишей “закрытие”.

При пуске в автоматическом режиме ключ выбора режима управления на общестанционной панели устанавливается в положение “районное”, а на панели насосного аппарата, избираемого на пуск, в положение “механическое”. На других аппаратах ключ выбора режима остается в положении “кнопочный”.

На панели насосного аппарата тумблер выбора режима работы устанавливается в положение “резерв”, после этого нажимается клавиша

“запуск аппарата” и контролируется ход исполнения программки установки аппарата в резерв. При всем этом задвижки на способе и нагнетании аппарата раскрываются, собственно говорит о окончании операции постановки аппарата в резерв. Ключ выбора режима работы на агрегатной панели щита управления устанавливается в положение “автоматический”.

Дистанционное управление НПС выполняется из РДП.

Чтобы достичь желаемого результата ключ выбора режима управления на общестанционной панели устанавливается в положение “дистанционное”.

#### **1.4. Диагностирование оборудования НПС**

Оборудование НПС подвергается тех. диагностированию имея цель обеспечения его надёжности и сохранности.

Задачами техдиагностирования считаются:

- определение тех. состояния оборудования, такого как обнаружение и систематизация изъянов (отказов), мониторинг их становления;
- определение остаточного ресурса и продление срока эксплуатации оборудования;
- определение сроков и объёмов ремонтных работ, надобности подмены либо модернизации оборудования.

Определение практического тех. состояния делается на базе выяснения соотношения и сопоставления текущих значений его характеристик с разрешенными и базисными значениями.

В масштабах диагностирования оборудования НПС ведутся оперативный, плановый и неплановый контроль тех. состояния.

По итогам тех. диагностирования выдаётся решение о техническом состоянии оборудования.

Диагностирование магистральных и подпорных насосных аппаратов гарантирует неотклонимую оценку их тех. состояния по последующим управляемым характеристикам: напору и давлению, употребляемой силы либо КПД насоса, пульсации, температурам масла, сердечника статора, обмоток ротора и статора, подшипников, охлаждающей среды.

Способы и средства, используемые для оценки тех. состояния арматуры, гарантируют:

- контроль наружной и внутренней плотности;
- раскрытие изъянов в металле корпуса, сварных швах, уплотнении и составляющих штока;
- контроль трудоспособности редуктора, привода, техники запуска и остановки, конечных и моментных выключателей.

На основании последствий тех. диагностирования оборудования НПС ориентируются объёмы и сроки дел по ремонтным работам оборудования. Оборудование НПС, отработавшее оговоренный срок эксплуатации (оговоренный ресурс), подлежит тех. освидетельствованию имея цель определения способности и критерий его предстоящей эксплуатации либо списания.

### **1.5. Технические средства и устройства, обеспечивающие определение трибологических показателей**

Все способы диагностики имеют все шансы быть разбиты на параметрическую диагностику, диагностику на заторможенном аппарате и разборную диагностику.

При таковой систематизации применительно к ГПА в понятие параметрической диагностики врубается все способы диагностики по состоянию и изменению характеристик работающего аппарата. Тогда уже параметрическая диагностика разделяется на термогазодинамическую, виброакустическую и диагностику по изменению физико-химических характеристик ГПА. Образцом заключительней имеет возможность считаться трибологическая диагностика.

Превосходство параметрической диагностики заключается в том, собственно она разрешает оценивать тех. состояния ГПУ в отсутствии его остановки и разборки. Вот поэтому все параметрические способы диагностики нередко именуют способами безразборной диагностики.

Нужно иметь ввиду, собственно нередко под параметрической диагностикой знают исключительно диагностику по термогазодинамическим характеристикам, подчеркивая иные виды неразборной диагностики в отдельные способы – вибродиагностику, трибологию и т.д. Грубо говоря данное вопросец исключительно терминологии, не меняющий сущности заморочек диагностики. Так как в УГТУ-УПИ принята как раз такая терминология, при предстоящем изложении воспользуемся ей.

## **1.6. Параметрическая диагностика**

Диагностика по термогазодинамическим характеристикам – одно из более развитых направлений параметрической диагностики ГПА. Данное соединено сначала с тем, собственно в текущее время нет измерителей, позволяющих конкретно определять техническое состояние частей на работающем ГПА (эрозионные износы трудящихся колес центробежного нагнетателя, круговые зазоры турбин высочайшего и невысокого давления, и так далее). В этой связи способы оценки тех. состояния ГПА по значениям

конкретно меримых в процессе использования научно-технических характеристик, то есть косвенным методом, нужно развивать и улучшать.

Способы термогазодинамической диагностики ГПА имеют все шансы быть совместными и личными. Использование личных способов, связанных с определением условного конфигурации характеристик тех. состояния газотурбинных ГПА, разрешает обнаружить темп конфигурации состояния аппарата, его научно-технических и топливно-энергетических характеристик – производительности, силы, расхода топливного газа и т.п., найти с знаменитым приближением среднестатистические ценности характеристик состояния парка ГПА. Использование единых способов разрешает перейти к определению безусловных величин технологических- характеристик ГПА, нужных для возведения системы планово-предупредительных ремонтов, планирования и моделирования работы аппаратов и КС в общем. В их отсутствие нереально возведение всеохватывающей автоматической системы диагностики газотурбинных ГПА.

Зависимо от текстуры представления объекта способы термогазодинамической диагностики имеют все шансы быть интегральными, осматривающими установку в общем, и дифференциальными, осматривающими любой составляющее аппарата отдельно. В данных способах имеют все шансы применяться и разные методы задания методы задания начальной инфы о режимах работы ГПА и его частей повторяющий вид многофункциональных уравнений либо черт, отысканных бывалым методом. Оценки тех. состояния объекта в первом случае соединены с построением его математической модели. При всем этом более обширное использование отыскали более обыкновенные, линейные модели.

## **1.7. Трибологическая диагностика**

Трибология – наука, которая более принципиальна, нежели параметрическая и вибрационная диагностика в диагностике износа. Боязливое название науки вышло от греческого слова "трибос" – трение. Трибология сплачивает внутри себя физику, химию, материаловедение и тех. науки. Почти во всем эта самая междисциплинарная природа приводила к тому, собственно концепцией трибологии третировали. Данное приводило к замедлению становления машиностроения, громадные, неоправданным материальным расходам на трение, износ и их последствиям.

Сначала работа в сфере трибологии была ориентирована на стимулирование и использование наиболее безупречной смазки, стало полностью разумеется, собственно роль материаловедения и технологии материаловедения и технологии, которые были использованы исходя из убеждений понижения износа в машиностроении никак не менее, нежели роль конструирования. Данное относится, а именно, и к износу при неимении смазки.

Вероятность применения, которые были использованы со существенно усовершенствованными трибологическими чертами востребует переоценки почти всех автоматических систем и систем. Так, к примеру, присутствие смазочных которые были использованы, работающих при температуре 600°C. Для смазки жаропрочных конструкционных которые были использованы потребуются водянистые смазочные средства, способные трудиться в критериях повышенных температур. Трибология позволяет найти состояние износа трущихся долей ГПА по наличию химпримесей в масле. К примеру, содержание железных частиц.

## **1.8. Средства, методы и организация работ по вибрационной диагностике**

Тест пульсаций – мощнейший инструмент для оценки тех. состояния аппаратов, моделирования их надежности, подготовки и проведения профилактического ремонтных работ. Появление и становление значимой доли изъянов роторных автомашин, обычно, вызывают конфигурации в вибрационном состоянии автомашин. Данные конфигурации, скажем становление основной массы изъянов, традиционно происходят на протяжении довольно долгого периода времени.

Единые предпосылки пульсации роторных автомашин: неуравновешенность роторов и их несоосность в валопроводе, эксплуатационные расцентровки валопровода, недостатки в подшипниках, недопустимые люфты и зазоры, изношенность узлов и элементов. Почти всегда аэродинамические и гидравлические силы помимо прочего влияют на пульсацию аппаратов.

Нередко лишь характеристики пульсации – вибросмещение, виброскорость, виброускорение, диапазон частот потрясений, амплитуда и фаза шатаний обратной частоты - свидетельством найти предпосылки завышенной пульсации и обнаружить дефектные узлы либо составной части. Хотя существенно почаше для полного осознания действий, происходящих в этом трудоемком механизме как турбомашина, потребуется одновременное познание и характеристик пульсации, и режимных и тепломеханических характеристик аппарата.

Все- почаше штатные системы вибрационного контролирования дополняются средствами скопления и представления последствий измерений (средствами прогноза), позволяющими представлять перемена вибрационных величин, повторяющий вид трендов как в динамическом режиме (в темпе обновления инфы), но и в статическом режиме (ретроспективном представлении инфы). Вмести с этим расширенный прогноз, созданный для целей диагностики, принципино выделяется тем, собственно обязан гарантировать не только лишь получение зависимостей вибрационных

характеристик от времени, да и вероятность сравнения вибрационных черт аппарата в разные факторы времени, представления зависимостей вибрационных черт от режимных характеристик и так далее.

Увы, системы вибрационного контролирования, дополненные средствами прогноза, представляются покупателям не как средства контролирования, созданные для диагностики оборудования, как системы вибрационного контролирования и тех. диагностики (СКТД). На первый взгляд, малозначительная разница в терминологии (средства либо системы) довольно принципиальна и считается главным в дилемме сотворения СТД.

Творение систем диагностики либо в том числе и просто внедрение расширенного- прогноза для диагностики всех объектов, а тем паче этих трудоемких, как прогрессивные турбоагрегаты, просит не только лишь искусства определять и представлять последствия измерений. Решение данной задачки просит глубочайших познаний сборки объекта, его интегральных параметров и параметров отдельных узлов и элементов, нрава трудящихся действий, навыка эксплуатации и наладки и так далее.

Глубина анализа при диагностировании сильно находится в зависимости от временного периода, на базе которого производится диагностирование. Данное просит долгого скопления и сбережения применяемой при диагностировании инфы.

В развитии российских систем тех. диагностики (СТД) турбоагрегатов, в базе которых лежали, преимущественно, основы вибрационной диагностики, можно ж выделить 3 шага:

I шаг – с начала 70-х до середины 80 годов. Концепция данного шага состояла в разработке систем диагностики на базе ансамблей особой измерительной техники, при этом преимущественно применялась ввезенная техника узнаваемых компаний. При всем этом в первый раз были совершены

пробы применения вычислительной техники для скопления и обработки инфы.

II шаг – с середины 80-х до середины 90-х. Концепция- сотворения систем диагностики на базе РС с присоединенными аппаратными средствами вибрационного контролирования, в большинстве случаев русскими. Соответствующие черты: развитый прогноз, творение баз этих и исследование графических средств отображения и обработки данных этих. Сразу был получен 1-ый навык применения умственных технологий - экспертных систем диагностики.

III шаг – период с середины 90-х годов по нынешнее время. Бурное становление компьютерных сетей, творение и введение инструментальных средств и прикладного обеспечения обусловили и передовую концепцию - сотворения всеохватывающих систем вибрационного контролирования и диагностики на базе компьютерных технологий. Соответствующие черты: общая инструментальная и программная база для контролирования, обработки и диагностики, сетевая текстура систем.

## **1.9. Система регулятора скорости повышения давления Аркрон-1000**

### Технические требования

Система сглаживания волн давления фирмы Грове, типа Аркрон 1000, предназначена для защиты нефтяных трубопроводов от возникающих волн повышения давления при отключении агрегатов насосных станций магистральных трубопроводов. Часть потока нефти, при этом, сбрасывается в специальную безнапорную ёмкость. [2]

Система состоит из нескольких клапанов Флекс-Фло, Ду 300 мм, установленных параллельно на каждой насосной станции, для регулирования скорости повышения давления в диапазоне от 0,1 до 0,3 кг/см<sup>2</sup> в секунду.

Система рассчитана на работу с сырой нефтью, имеющей следующие характеристики:

- вязкость	от 0,05x10 <sup>-4</sup> до 1,0x10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup> /с
- удельный вес	от 0,7 до 0,9 т/м <sup>3</sup>
- содержание парафина	до 7%
- содержание механических примесей	0,06% максимум
- содержание серы в несвободном состоянии	до 6,5%
- температура	от -5 <sup>0</sup> С до +60 <sup>0</sup> С
- максимальное давление	до 40 кг/см <sup>2</sup>

Окружающая среда:

- закрытое помещение с температурой от -10<sup>0</sup>С до +40<sup>0</sup>С.

В окружающем воздухе допустимо наличие паров нефти во взрывоопасной концентрации.

Сброс производится с плавным поддержанием постоянной скорости повышения давления в защищённом трубопроводе. До отключения агрегатов насосной станции и по окончании работы системы Грове Аркрон 1000, не будет утечки нефти из приёмного трубопровода в безнапорную ёмкость. [16]

Оценка работоспособности системы сглаживания волн (ССВД) осуществляется согласно инструкции заводов-изготовителей, кроме того производится контроль уровня жидкости в разделительной ёмкости (уровень жидкости считается допустимым, если при давлении в приёмном трубопроводе ниже 1,5 МПа из открытого среднего вентиля потечёт антифриз), а также контроль исправности клапанов сброса нефти и подпорного устройства, обеспечивающего прижатие втулок клапанов к в закрытом положении.

## Теория функционирования

Каждый клапан Флекс-Фло состоит из цилиндрического сердечника, содержащего множество продолговатых параллельных щелей, на который натянута камера из синтетической резины с определённым растяжением. Снаружи она окружена воздушной ёмкостью, именуемой «кожухом». Кожух обычно находится под пневматическим давлением.

Если давление в кожухе меньше давления нефти на выходе, то нефть растягивает эластичную камеру до максимального внешнего предела корпуса, пропуская нефть протекать через щели сердечника.

Когда давление в кожухе поднимается, камера постепенно приближается к сердечнику и поток подвергается дросселированию. При давлении в кожухе равном или большем давления нефти на выходе, камера плотно обжимает сердечник и сброс нефти прекращается. [29]

Чтоб реагировать на крутизну повышения давления нефти в защитном трубопроводе, кожух клапана Флекс-Фло подключен к пневматической стороне аккумулятора, снабжённого эластичным разделительным пузырьём. Другая сторона аккумулятора содержит разделительную жидкость, находящуюся под давлением нефтепровода (в линии коллектора).

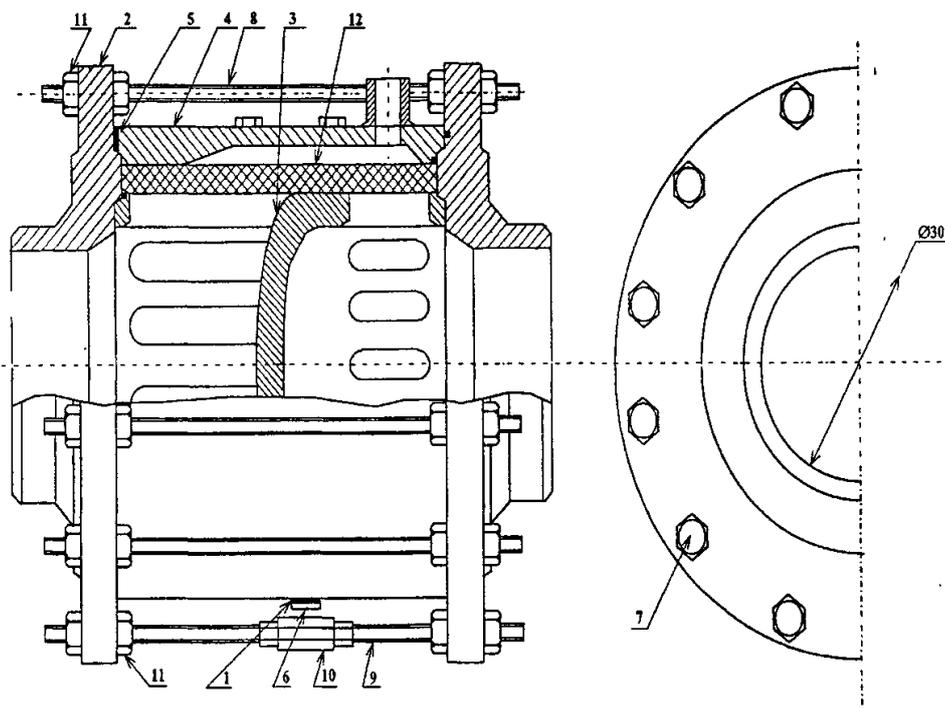


Рисунок 1.1 – Предохранительный клапан Флекс-Фло

1 – кольцевая прокладка впускной заглушки; 2 – крышка; 3 – сердечник; 4 – корпус; 5 – кольцевая прокладка; 6 – спусковая заглушка; 7 – шпилька (775мм); 8 – шпилька (838мм); 9 – шпилька (419мм); 10 – муфта; 11 – гайка; 12 – эластичная камера.

При нормальном режиме работы аккумулятора открыт к полному давлению нефти в нефтепроводе, допуская передачу линейного давления непосредственно газу в кожух реагирующего клапана Флекс-Фло. При этом клапан остаётся закрытым.

Ограничительное сопло или дросселирующий клапан находящийся в контрольной цепи, соединяет нефтепровод с аккумулятором, таким образом, чтоб давление в нефтепроводе поднималось быстрее заданной скорости, а перепад, образовавшийся между входом клапана Флекс-Фло и кожухом, был достаточным для расширения дросселирующей камеры.

Обратный клапан, установленный параллельно с дросселирующим клапаном, обеспечивает свободный поток жидкости обратно из цепи аккумулятора.

Жидкость в нефтепроводе представляет собой в этом случае сырую нефть, которая может содержать механические примеси и парафин, имеющий тенденцию со временем создавать накопления на протечных поверхностях, изменяя таким образом их рабочие характеристики.

Во избежании таких накоплений специальная промежуточная система, включающая разделительный бак и всю контрольную цепь, введена в агрегат. Разделительный бак частично наполнен этиленгликолем, удельный вес которого, будучи выше нефти, позволяет последней «плавать» на поверхности разделительной жидкости, не загрязняя контрольную цепь при нормальной работе. Будучи в непосредственном контакте с нефтью, разделительная жидкость постоянно находится под тем же давлением, что в нефтепроводе.

#### Описание оборудования

Система состоит из нескольких клапанов Флекс-Фло Ду 300 мм класса 300, смонтированных на блокбоксе, с концами под приварку. Каждый кран контролируется отдельным воздушным аккумулятором. В систему входят один бак разделительной жидкости, дросселирующий клапан с резервуаром жидкости, насос и комплект коллекторных труб с клапанами и вентилями для настроек перекрытия.

Клапан регулирования давления Флекс-Фло состоит из сердечника, в котором находятся продолговатые щели, на который натянута эластичная камера. Вокруг этой камеры герметичный периметр заключает в себе газовую рубашку, именуемую «кожухом». Перепад давления между кожухом и жидкостью в цепи влечёт за собой расширение или сужение эластичной камеры, пропуская или перекрывая поток нефти.

Батарея вида передвижного разделителя состоит из 150-литрового цилиндрического корпуса, заключающего внутри себя тонкостенный пузырь

из искусственной резины. Укреплённый верх, данный пузырь открыт собственным отверстием к верхней невесомой стороне батареи. Нижняя сторона батареи считается стороной разделительной воды. При притоке жидкости под давлением с нижней стороны воздух сжимается и эластичный пузырь уменьшается в объёме. Когда жидкость уходит из аккумулятора, расширение воздуха вызывает увеличение пузыря, пределом которого является полный объём корпуса. Нижнее жидкостное окно аккумулятора содержит внутри большое количество мелких отверстий, образующих сито-подобное устройство, обеспечивающее лёгкую проходимость разделительной жидкости. Это устройство предохраняет разделительный пузырь от разрыва вследствие чрезмерного растяжения под давлением.

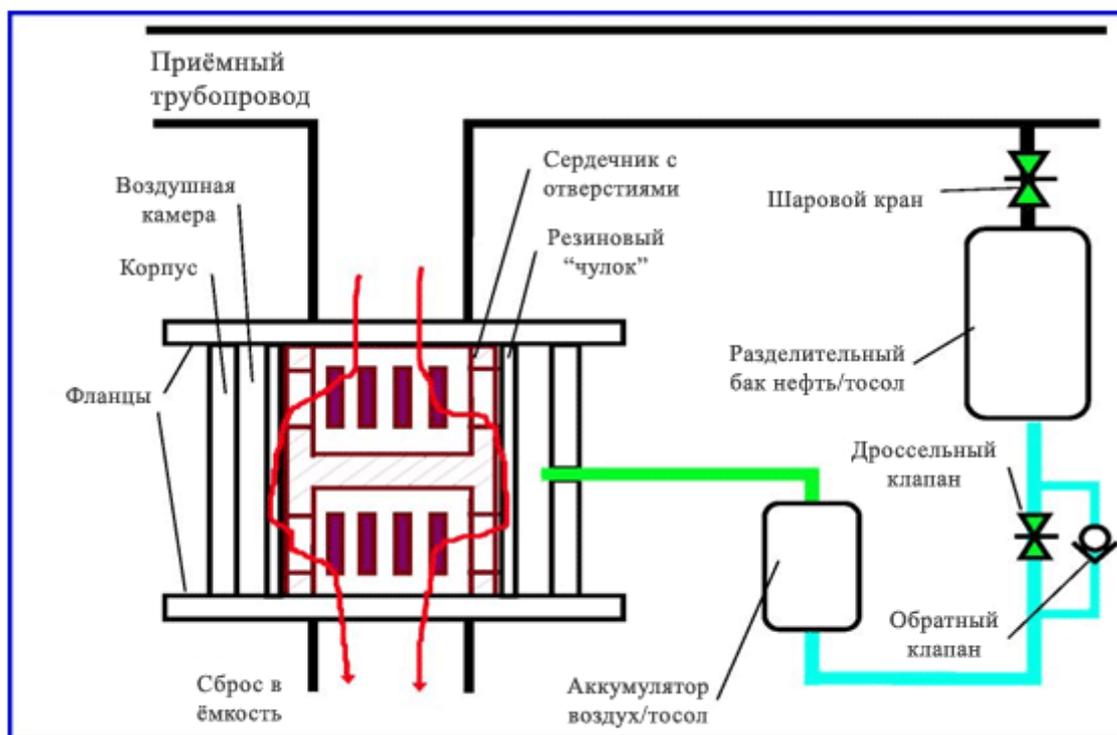


Рисунок 1.2 – Схема работы клапана «Флексо-Фло»

Корпус разделительного бака изготовлен из стали и обладает ёмкостью 1480л. Разделительный бак наполнен антифризом (этиленгликолем). Эта разделительная жидкость обладает более высоким удельным весом, чем нефть. При работе системы нефть доходит до поверхности этиленгликоля и, не смешиваясь, «плавает» на его поверхности. Разница в их удельном весе

способствует этому несмешению. Батареи, при необходимости, кормятся жидкостью через 2 особых отверстия, оказавшихся на нижней стороне бака. Металлические примеси, попадающие из нефтепровода в бак, осаждаются в отстойнике и подлежат повторяющемуся удалению через особое отверстие, встроенное на деньке. В баке установлены краны для продувания и ревизии значения воды на различной вышине. Задвижка с прямоугольным проточным отверстием выполняет роль дроссельного клапана.

Корпус дроссельного клапана снабжён 2-мя отверстиями для соединения его в контрольную цепь системы. Одно из отверстий подключено к разделительному баку, а иное – к нижней стороне батареи. Регулирование лимитирования однобокого протока воды из разделительного бака в батарея делается при помощи маховика. Этот маховик имеет указатель положений со шкалой и градуировкой, обозначающей пропускную степень. Цифры на шкале обозначают число поворотов маховика от нуля (6,35 мм отверстия) до любого положения в 1/20 оборота. Маховик может быть застопорен в любом положении.

Узел состоит из насоса, резервуара и четырёхходового клапана. Резервуар ёмкостью 530 л, установлен показатель уровня жидкости визуального типа. Устройство это применяется для определения изменения уровня жидкости по показателям, полученным до и после испытания. Любое изменение уровня в этом резервуаре прямо пропорционально к объёмным изменениям в аккумуляторах. Четырёхходовой клапан может быть повёрнут таким образом, чтоб соединить систему разделительной жидкости с насосом (НАПОЛНИТЬ) или с резервуаром (СПУСТИТЬ), по мере необходимости.

Фабрично собранные трубные коллекторы для жидкостей и пневматики состоят из соответствующих размеров труб, фитингов и вентилях перекрытия с необходимыми манометрами и контрольными клапанами.

Электронасос пускается в ход нажатием на кнопку магнитного стартера, который монтирован на стенке резервуара.

Для удаления воздуха, попавшего в жидкостную часть аккумуляторов, временно перекрыть вентили на каждом аккумуляторе по очереди. Приоткрыть ¼-дюймовую пробку на нижней муфте, затем медленно приоткрыть один из шаровых кранов, пока жидкость не потечёт из отверстия в пробке сплошной струёй. Закрыть ¼-дюймовую пробку и снова открыть вентили. Открыть вентиль разделительного бака, находящийся на щите управления. Продолжать перекачку нефти.

Проверить положение клапана переключения на «Разделительный бак». Затем перекрыть спускные вентили аккумуляторов.

Для проверки трубопроводной обвязки на утечку запустить насос и открыть спускной вентиль 30, находящийся ближе других к резервуару. затем приступить к накачке разделительной жидкости, примерно до давления в 14 кг/см<sup>2</sup>, согласно манометру.

Остановить насос, позволив системе стабилизироваться в течение 15 минут, регулируя давление, если нужно.

Проверить все жидкостные соединения труб с фитингами на утечку.

Сравнить показатели давлений на обоих манометрах. Их показатели должны быть одинаковыми. Отрегулировать калибровку, если нужно. Проследить давления системы в течение одного часа, записывая показания манометра каждые 15 минут.

Проверить на утечку пневматическую часть системы в следующем порядке:

а) проверить следующие герметические соединения с помощью жидкостного раствора мыла: фитинги трубопроводок; вентили и клапаны, включая крышки; шланговые соединения аккумуляторов;

б) подвергнуть визуальной проверке все трубки для обнаружения возможных повреждений при пересылке или монтаже;

в) аккумулятор. В случае, если утечек не обнаружено, все аккумуляторы можно проверить следующим образом: закрыть вентили, открыть вентиль того аккумулятора, который подлежит испытанию, повернув рукоятку вентиля вверх в положение «спуск», чтобы спустить жидкость. Начинать испытания следует с аккумулятора, находящегося ближе всего к резервуару жидкости. Так как жидкость при этом спускается обратно в резервуар, то следует проследить, чтобы резервуар не переполнился. Если уровень жидкости в резервуаре выше необходимого, то следует подсоединить какой-нибудь шланг к ½-дюймовому отверстию на клапане, который обычно заглушён, и спустить жидкость из резервуара до желаемого уровня, пользуясь для этой цели насосом. Если удаление жидкости из системы не желательно, то, закрыв вентиль на проверяемом аккумуляторе и открыв остальные вентили на других аккумуляторах, перекачать в них жидкость из резервуара. При этом не следует превышать давления более 21 кг/см<sup>2</sup>. закрыть все вентили. После опорожнения испытуемого аккумулятора отвинтить пробковый кран, находящийся против спускного вентиля. Покрыв образовавшееся отверстие мыльной пеной, проверить внутренний пузырь аккумулятора на утечку воздуха. По окончании этой проверки поставить свинченную пробку на место и закрыть вентиль. Перейти к следующему аккумулятору. В этом случае, если излишек антифриза был добавлен в остальные аккумуляторы, открыть все вентили для перераспределения жидкости, прежде чем приступить к испытанию следующего аккумулятора.

Проверить на утечку все внешние соединения клапана Флекс-Фло мыльным раствором.

Если система протекает, теряя давление, и никаких утечек не обнаружено испытаниями, описанными выше, то следует заключить, что утечка происходит на входных или выходных трубах.

Если обнаружены утечки или найдены повреждённые части, то следует заменить часть с дефектом из имеющихся запасных частей. Переключить

клапан в положение «спуск» и открыть все вентили и какой-нибудь из вентилях, чтобы перегнать жидкость в резервуар.

### **1.10.Использование подшипников качения в крупногабаритных опорных узлах**

Использование в опорных агрегатах подшипников качения существенно увеличивает и без того громоздкие габариты и массу оборудования. Кроме того, подшипникам качения присущи такие недостатки, как виброшумовая активность, скачкообразное трение тел качения со значительным тепловыделением, понижением долговечности, надежности, ограничение демпфирующей способности, при сборке имеет место осевое перемещение из-за отсутствия разъема осевой плоскости и другие недостатки, которые в ряде случаев ограничивают возможности их применения. [8]

В крупногабаритных опорных узлах с высокими скоростями, шпиндельных механизмах металлообрабатывающего оборудования используют модернизированные опорные агрегаты с управляемым нагружением (рис.1.3).

Рассматриваемая опора (рис.1.3) представляет собой половинчатые вкладыши (рис.1.3), ориентированные при помощи штырей по скользящей посадке.

На стыках между вкладышами имеется гарантированный зазор. Верхний вкладыш контактирует с мембраной 6, а нижний 3 установлен в корпусе неподвижно. Радиальное перемещение верхнего вкладыша 4 ограничено подпружиненной мембраной 6. Опора технологична в изготовлении, монтаже и демонтаже.

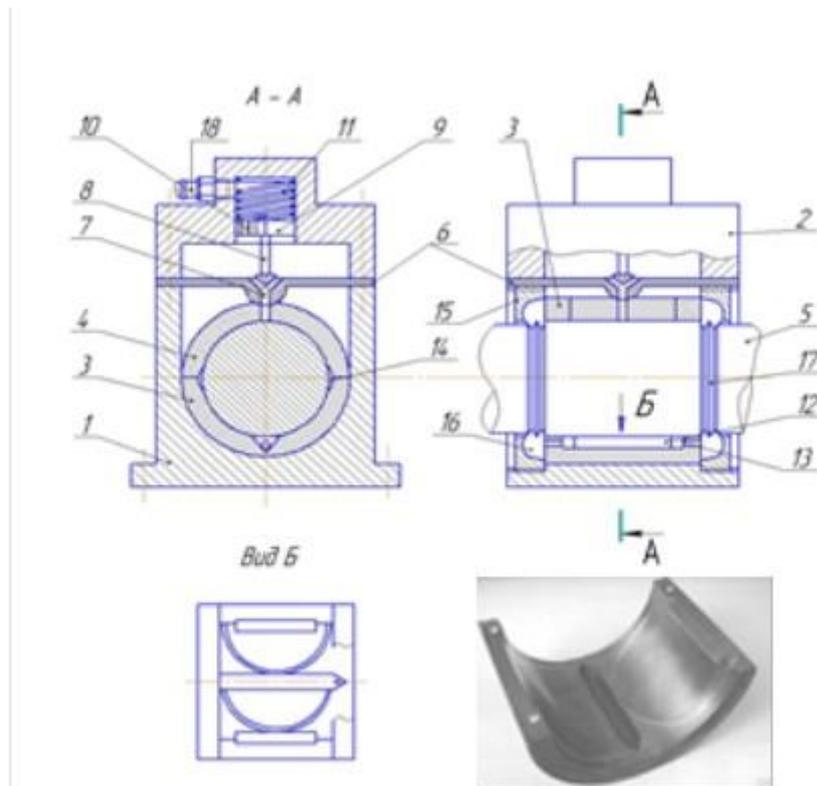


Рисунок 1.3 – Опора с управляемым нагружением

1 – корпус; 2 – крышка опоры; 3 – вкладыш-втулка; 4 – нагружающий подвижный вкладыш; 5 – вал; 6 – мембрана; 7 – соединительные отверстия; 8 – шток; 9 – поршень; 10 – калибровочные отверстия; 11 – пружина; 12 – холодильник-канавка; 13 – соединительные отверстия из емкости слива смазки для подпитки несущей зоны через холодильник-канавку; 14 – холодильники; 15 – гайка; 16 – емкость слива смазки; 17 – смазкоразрывные острые выточки; 18 – штуцер

Работает опора следующим образом. Смазывающая среда под постоянным давлением от источника питания через штуцер 18, калиброванные отверстия 10 в поршне 9, полости над диафрагмой, соединительные отверстия 7 подается в ненагруженную верхнюю зону между вкладышем 4 и шпинделем 5. При вращении шпинделя смазка через отверстие 7 и левый карман увлекается силами гидродинамического давления, распространяется по нагруженной поверхности опоры и заполняет правый карман и холодильник 12 и 14 по направлению вращения шпинделя 5. Затем по фасонным,

направленным к середине вкладыша канавкам, смазочная среда циркулирует за счет сил гидродинамического эффекта. [17]

Вследствие частого изменения режима работы шпинделя 5, под действием переменных частот вращения, циклических нагрузок, температурного поля, ось шпинделя стремится занять неустойчивое положение, так как эксцентриситет выходит за пределы допусков, что сопровождается виброшумовой активностью. Это вызывает мгновенное изменение, то есть увеличение истечения смазывающей среды из несущей зоны, что приводит к резкому изменению давления смазывающей среды в полости над и под поршнем 9. Так как мгновенно уравновесить давление калиброванные отверстия, из-за ограниченного сечения, не способны, поэтому поршень 9, под шаровым выступом нагружает верхний вкладыш 4, предотвращая и выравнивая неуравновешенное положение оси шпинделя 5. Такое управляемое нагружение предупреждает и исключает виброшумовую активность в целом механизма вращения, его износ и разрушение. После такого мгновенного нагружения шпиндель 5 входит в устойчивый режим работы и поршень, преодолевая разность давлений с помощью пружины, занимает свое расчетное положение. А так как шпиндель 5 работает в переменном режиме, то постоянно поддерживается автоматическое регулирование зазора и устойчивое положение его оси в пределах оптимального эксцентриситета. Смазывающая пленка, вытекающая из торцов опоры, разрывается на острых кромках 17, выполненных в виде выточек на шпинделе 5. Под действием центробежной силы шпинделя 5, смазка отбрасывается на стенки отстойника 16, по которым она через калиброванное отверстие 13 стекает в нижний холодильник-карман 12, обеспечивая циркуляционное движение. Откуда, по фасонным канавкам на рабочей поверхности вкладыша, она выкачивается за счет разреженного давления за несущей зоной. Конструкция отстойников 16, позволяет удерживать различные твердые осадки и загрязнения смазки, предотвращая попадание отработанных частиц в несущую зону опоры. Вращающийся шпиндель

выкачивает смазывающую среду из холодильника-кармана 12, обеспечивая циркуляционный процесс и постоянное поддержание гидродинамического режима работы опоры. При этом на всех режимах работы опоры зазор не обедняется смазочной средой, так как шпиндель постоянно нагнетает и выкачивает смазку из левого и правого карманов холодильников 12 и 14. Излишки смазочной среды вытекают в отстойники гидросистемы через бурты гаек 15. [17]

Несущая способность и жесткость смазочного слоя повышается за счет автоматического регулирования толщины и самоустановления нагружения шпинделя.

В зоне зазора поддерживается постоянная оптимальная температура – за счет того, что в рабочем зазоре происходит циркуляция смазочной среды, которая обеспечивается, с одной стороны, ее нагнетанием в холодильники – карманы силами гидродинамического эффекта при вращении шпинделя, а, с другой стороны, ее выкачиванием из холодильников – карманов. Смазка, вытекающая из торцов опоры через шпиндель и вкладыши, уносит с собой излишки тепла, образовавшегося в результате гидродинамического трения в рабочей зоне опоры.

### **1.11. Применение подшипников скольжения с управляемым нагружением**

Шумность опоры уменьшается за счет обеспечения плавности работы. Это является следствием сближения несущих нагрузку рабочих поверхностей вкладышей во время изменения режима работы опоры, износа поверхностей вкладышей при пуске и остановке опорного агрегата, то есть осуществляется автоматическое управление толщиной смазочного слоя. Наиболее заметным положительным эффектом является самоустанавливаемый установочный гидродинамический эффект, обеспечивающий подавление виброшумовой

активности путем автоматического нагружения свободно сопрягающегося с поверхностью подпружиненного мембраной верхнего вкладыша. [23; 27]

Применение в судовых агрегатах модернизированных подшипников скольжения с управляемым нагружением сняло ряд проблем по виброакустическому эффекту, долговечности, надежности и др.

На рис.1.4 показан вариант исполнения промежуточных опорных подшипников с автоматическим нагружением. Для изготовления нижних вкладышей с микропрофилированными несущими поверхностями, а также с упругодемпфирующими несущими зонами разработано и запатентовано устройство для заливки рабочих поверхностей вкладышей антифрикционным материалом.

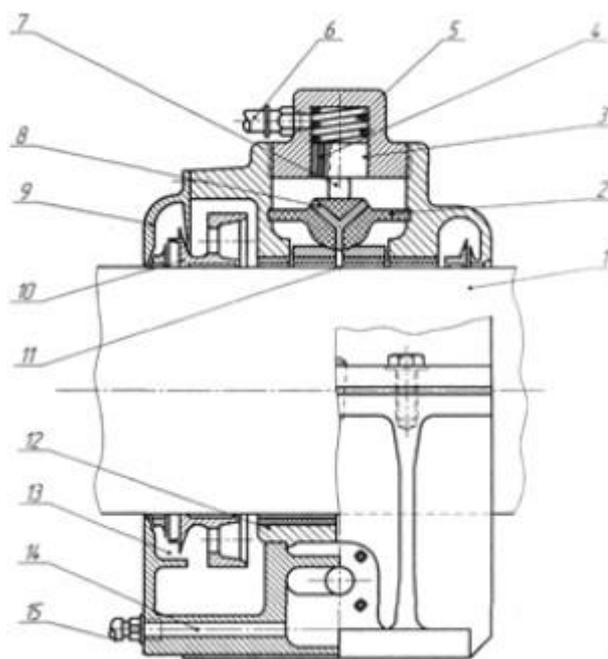


Рисунок 1.4 – Вариант исполнения промежуточного опорного подшипника с автоматическим погружением

1 – промежуточный вал, 2 – мембрана, 3 – поршень; 4 – калиброванные отверстия-дроссели, 5 – пружина; 6 – штуцер; 7 – шток, 8 – соединительные отверстия; 9 – крышка, 10 – смазкоотдойное кольцо; 11 – подвижный вкладыш, 12 – подшипник, 13 – емкость, 14 – сливное отверстие; 15 – штуцер.

Развитие ультразвуковой техники позволило решить комплекс проблем, связанных как с созданием новых композиционных материалов с безотходной технологией, так и с качественным управлением плотностью, твердостью и структурной поверхностного слоя материала вкладышей опорных агрегатов. Это один из методов, обеспечивающий ресурсосберегающую и материалосберегающую технологию.

Для этих целей разработано кокильное устройство, которое внедрено и широко используется на Южэлектромаше.

Особенностью предлагаемого восстановления изношенных вкладышей является переход на кокильный способ заливки антифрикционного материала за счет использования метода направленного ультразвукового воздействия на процесс кристаллизации баббита, в результате чего происходит существенное повышение качества и точности исполнительных поверхностей, снижение общей трудоемкости и себестоимости механической обработки восстанавливаемых опорных агрегатов.

Принцип работы устройства построен на проникновении потоков в пограничный слой расплавленного металла без потерь акустической энергии в толще кокиля. Это объясняется тем, что в данном случае акустическая энергия проходит через толщу кокиля, и минуя его, попадает в места выступов, контактирующих с магнитострикционным преобразователем непосредственно на тонкую металлическую пластинку. В результате управляемая сконцентрированная энергия распределенной мощности передается на расплав в виде управляемых акустических колебаний. Это приводит к резкому увеличению роста кристаллов химических соединений компонентов в зонах утолщений пластины.

А так как кристаллы  $\beta$ -фазы (рис.№5) существенно отличаются размерами, концентрацией, расположением и структурой рабочей поверхности вкладыша, то эти зоны соответственно отличаются и по микротвердости, и по внутренним напряжениям. Данное свойство кристаллов

баббита позволяет технологическими методами получить рабочие поверхности вкладышей заданной напряженности, формы и размеров. [23; 25]

А, так как рельеф поверхности можно задавать любой, то процесс восстановления изношенной рабочей поверхности не только вкладыша, но и любой детали машины становится управляемым.

Применение предложенного кокильного способа литья, с использованием ультразвуковой технологии, позволяет получать несущие поверхности вкладышей с заданными структурными и триботехническими характеристиками. При этом уменьшается износ нагруженных поверхностей, который предопределяет один из основных критериев надежности и долговечности. Кроме того, эта методика стала не только приемлемой при решении проблемы долговечности машин, но и единственно применимой при решении проблемы долговечности машин, опоры агрегатов которых подвержены активному разрушению из-за работы в агрессивных средах: морской воде, красителях, кислоте и др.

В процессе работы таких опорных агрегатов происходит самоустановление оптимальных размеров смазочных потоков и перераспределение максимальных гидродинамических давлений.

Кокильное устройство (рис.1.5) способно обеспечить не только безотходность получения несущих поверхностей деталей, но и достичь заданную геометрию. [23]



Рисунок 1.5 – Микроструктура шлифа баббита Б16 (1:500)

слева – закристаллизовавшегося под воздействием ультразвука; справа – не подвергнутого воздействию ультразвука.

Особенностью устройства (рис.1.6) является то, что оно оснащено съемной пластиной переменного сечения, профилированной со стороны соединения с магнитострикционным преобразователем. Внешняя сторона пластины отвечает форме той рабочей поверхности, которую необходимо получить. [23]

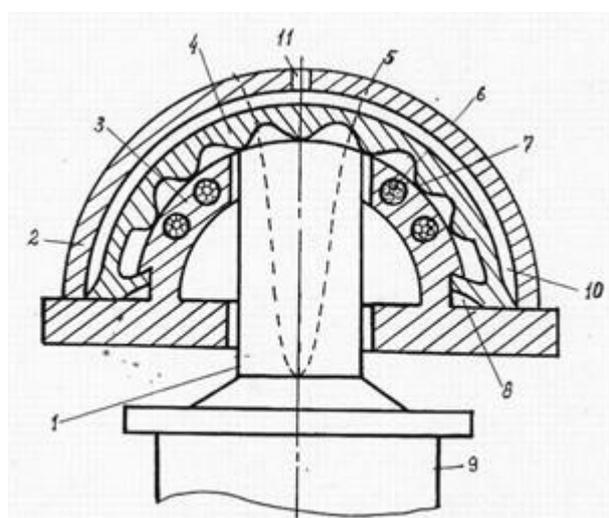


Рисунок 1.6 – Кокильное устройство для заливки крупногабаритных вкладышей опорных агрегатов

1 – магнитостриктор; 2 – корпус вкладыша; 3 – кокиль; 4 – профилированная металлическая пластина; 5 – направленные акустические колебания; 6 – нагревательные элементы; 7 – профилированные выступы; 8 – замки; 9 – ультразвуковой генератор; 10 – рабочее пространство; 11 – отверстие для заливки.

## 2. НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ

### 2.1. Насос нефтяной магистральный НМ 1250-260

Магистральные насосы (НМ) с подачей 1250 м<sup>3</sup>/ч и напором 260 м обозначаются: НМ 1250-260.



Рисунок 2.1 – Насос типа НМ 1250-260

Насосы, устанавливаемые на насосных станциях магистральных трубопроводов, имеют корпус, состоящий из двух частей с разъемом в горизонтальной плоскости. Обе части корпуса соединяются шпильками и колпачковыми гайками. Для уплотнения корпуса в плоскости разъема помещается тонкая паронитовая прокладка.

Для крепления насоса к фундаментной раме служат опорные стойки.

Чтобы поддерживать радиальные зазоры между вращающимися и неподвижными деталями постоянными, в обеих половинах корпуса и на рабочих колёсах предусмотрены уплотнительные кольца, которые по мере изнашивания заменяются новыми.

Рабочая поверхность уплотняющих колец насоса, поверхность защитных втулок и вала подвергаются термической обработке токами высокой частоты для продления срока их службы.

Разгрузка ротора от радиальных усилий, которые возникают от неравномерного распределения давлений в нагнетательных спиральных, осуществляется при помощи двойной спирали или смещением соседних спиралей на 180° относительно друг друга.

Разгрузка ротора от осевых усилий обеспечивается установкой рабочих колёс с двусторонним входом жидкости или таким попарным расположением колёс, при котором жидкость на пару колёс подаётся с двух сторон, что обеспечивает уравновешивание осевых сил каждой пары колёс.

Чтобы обеспечить необходимые подачу и напор насосной станции, устанавливаются несколько насосов. Для увеличения напора насосы устанавливаются последовательно, а для увеличения подачи – параллельно.

На насосной станции Стрежевской ЛПДС последовательно установлены четыре насоса. Два насоса являются рабочими, два – резервными.

Опорами ротора насоса служат подшипники скольжения с принудительной смазкой от централизованного маслоснабжения. Направление вращения ротора правое (по часовой стрелке, если смотреть со стороны электродвигателя).

Опорами для вала служат радиально-опорные шарикоподшипники, расположенные на кронштейнах корпуса. Смазка шарикоподшипников густая. У более крупных насосов применяются подшипники скользкого трения с жидкой кольцевой смазкой. Охлаждение подшипников водяное – через камеры. Вращение вала – против часовой стрелки, если смотреть со стороны привода, при этом входной патрубок насоса должен быть расположен с левой стороны.

Рабочие колёса насосов имеют лабиринтное уплотнение с одним зубом. Уплотняющий зазор выполнен между двумя уплотняющими кольцами, одно из которых – неподвижное, закреплено в корпусе, а другое – подвижное, закреплено на рабочем колесе у входа.

Насосы имеют полуспиральный подвод и спиральный отвод. Разъём корпуса – горизонтальный – вдоль вала, причём напорный и всасывающий трубопроводы подсоединяются к нижней части корпуса. Такая конструкция обеспечивает вскрытие, осмотр, ремонт, замену отдельных деталей или всего ротора без демонтажа трубопроводов и отсоединения электродвигателя. Для этого нужно только снять крышку насоса. В верхней части крышки насоса имеется отверстие, закрытое пробкой, которое служит для присоединения трубки вакуум-насоса.

Рабочее колесо – важнейшая деталь насоса, так как оно непосредственно осуществляет силовое воздействие на протекающую жидкость и тем самым передаёт ей энергию двигателя. [12]

Рабочее колесо с двухсторонним входом имеет два наружных и один внутренний диск со ступицей. Таким образом, обе половинки являются как бы самостоятельными рабочими колёсами с односторонним входом; конструктивно они соединены так, что одна сторона колеса представляет зеркальное изображение другой.

Корпус насоса – стальная массивная конструкция, состоящая из двух деталей – собственно корпуса и крышки, разъединяющихся в вертикальной плоскости. В собранном виде эти две детали образуют внутреннюю полость для размещения рабочего колеса, подводящий канал и спиральный отводящий канал. Такой улиткообразный канал крепится к фланцу опорной стойки в любом положении. [12; 15]

Подводящий канал (всасывающий подвод) обеспечивает равномерное распределение скоростей в поперечном сечении потока у входа во

всасывающее отверстие рабочего колеса и минимальные гидравлические сопротивления течению жидкости.

Отводящий канал корпуса насоса, или просто отвод, собирает жидкость, выбрасываемую из рабочего колеса, и снижает её скорость, преобразуя при этом кинетическую энергию потока в потенциальную энергию давления с меньшими гидравлическими потерями.

Вал и подшипники – одни из основных деталей насоса. Валы изготавливают из марочных сталей, так как они должны обладать большой прочностью. При сборке и разборке насосов с валами необходимо обращаться осторожно, так как, несмотря на прочность, они легко портятся и теряют балансировку. Для защиты валов от истирания в сальниках и от коррозии на вал надевают сменные защитные втулки. Колёса закрепляются на валу шпонками и установочными гайками. Ротор насоса (вал в сборе с рабочими колёсами) во избежание вибрации статически отбалансирован. На одном конце вала имеется полумуфта для соединения с валом двигателя или шкив для ременной передачи. Для восприятия радиальных нагрузок ротора применяют подшипники скольжения (шарикоподшипники). [15;16;18]

Большой недостаток шарикоподшипников состоит в том, что при их неисправности возможно повреждение и самого ротора. Подшипники скольжения работают более спокойно, чем подшипники качения, поэтому их используют при изготовлении всех крупных насосов. Подшипники скольжения имеют чугунные вкладыши с баббитовой заливкой. Смазка масляная, чаще всего кольцевая. При больших нагрузках и окружных скоростях вала более 8 м/с необходимо искусственное охлаждение масла. Масло в подшипники подаётся специальным насосом под давлением. По выходе из подшипников его пропускают через фильтр и охладитель, а затем оно поступает в ёмкость для дальнейшего употребления. Подобная принудительная циркуляция смазки имеется в крупных и осевых насосах. Сальники предотвращают подсос воздуха из атмосферы внутрь насоса через

зазор между валом и корпусом или утечку жидкости через этот зазор. Сальник состоит из грундбуксы, помещённой между корпусом сальника и валом, сальниковой набивки, крышки сальника (нажимной буксы) и двух шпилек с гайками. В таком исполнении сальниковое уплотнение размещается с напорной стороны насоса для предупреждения больших утечек жидкости. Сальниковая набивка готовится из специального хлопчатобумажного шнура квадратного сечения, пропитанного техническим жиром с графитом, который нарезают отдельными кольцами и укладывают в пространство между корпусом сальника и валом. После укладки набивку зажимают крышкой сальника при равномерном затягивании гаек на шпильках. Вследствие значительного трения в сальнике выделяется много тепла, которое отводится жидкостью, просачивающейся через сальник.

Насосы, предназначенные для перемещения капельных, то есть несжимаемых жидкостей, выполняются только с лопатками, загнутыми назад, так как вихреобразования в потоке жидкости могут повлечь за собой гидравлические удары, действие которых весьма неблагоприятно отзывается на конструкции машины.

Агрегат нефтяной электронасосный центробежный магистральный типа «НМ» на подачу  $1250 \text{ м}^3/\text{ч}$  предназначен для транспортирования по магистральным трубопроводам нефти с температурой от минус 50 до  $800^\circ\text{C}$ , кинематической вязкостью не более  $3 \text{ см}^2/\text{с}$ , с содержанием механических примесей по объёму не более 0,05% и размером не более 0,2 мм. [3]

Электронасосный агрегат состоит из насоса и приводного двигателя. С четырьмя насосными агрегатами, поставляемыми на одну насосную станцию комплектно, отправляются маслоустановка, насосы откачки утечек, автоматика и КИП.

Принцип действия насоса заключается в преобразовании механической энергии в гидравлическую за счёт взаимодействия жидкости с рабочими органами.

Насос центробежный горизонтальный одноступенчатый, спирального типа, с рабочим колесом двухстороннего входа, с подшипниками скольжения с принудительной смазкой (сборочный чертёж насоса магистрального НМ 1250-260).

Базовой деталью насоса является корпус 1 с горизонтальной плоскостью разъёма и лапами, расположенными в нижней части.

Нижняя и верхняя части корпуса соединяются шпильками с колпачковыми гайками. Горизонтальный разъём корпуса уплотняется паронитовой прокладкой и по контуру закрывается щитками.

Входной 10 и напорный 11 патрубки расположены в нижней части корпуса и направлены в противоположные стороны.

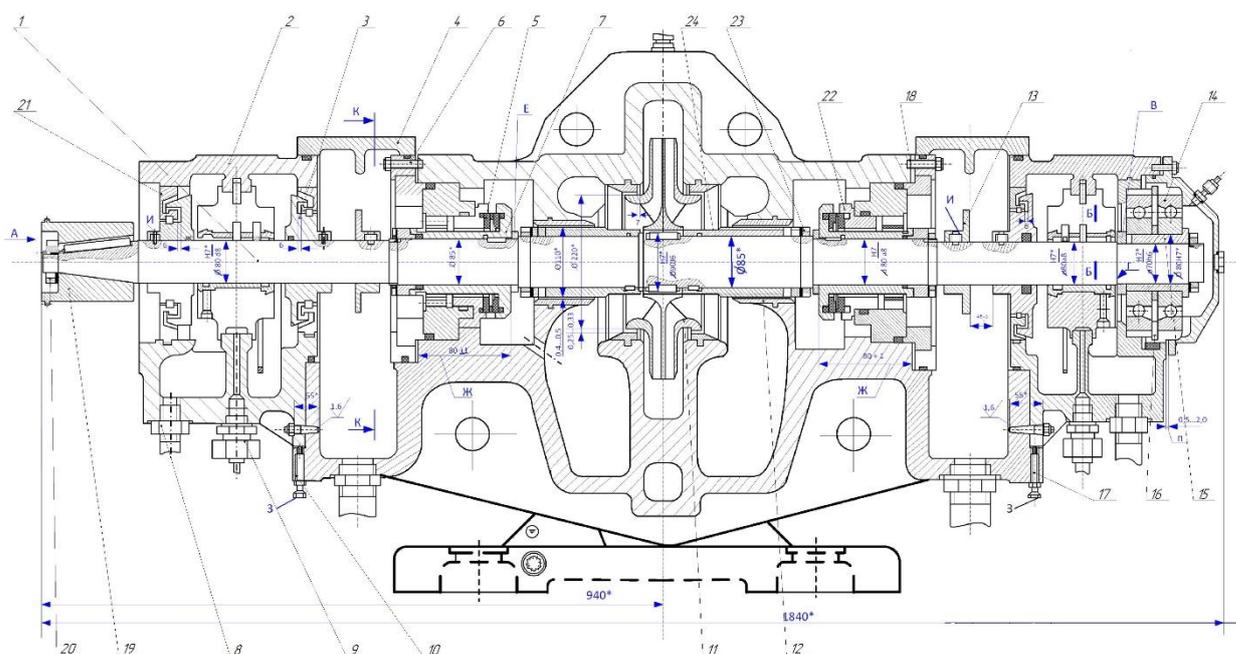


Рисунок 2.2 – Сборочный чертёж нефтяного магистрального насоса НМ 1250-260

Ротор насоса состоит из вала 4 с насаженными на него рабочим колесом 3, защитными втулками, дистанционными кольцами и крепёжными деталями. Правильная установка ротора в корпус в осевом направлении достигается подгонкой толщины дистанционного кольца. Направление вращения ротора –

по часовой стрелке, если смотреть со стороны привода. [1] Опорами ротора служат подшипники скольжения 6.

Центровка ротора насоса в корпусе производится перемещением корпусов подшипников с помощью регулировочных винтов, после чего корпуса подшипников штифтуются. При перезаливке или замене вкладышей следует центровку ротора произвести заново.

Смазка подшипников принудительная. Количество масла, подводимое к подшипникам, регулируется с помощью дроссельных шайб, устанавливаемых на подводе масла 7 к подшипникам. В случае аварийного отключения электроэнергии для подачи масла к шейкам вала предусмотрены смазочные кольца 8. [2]

Осевое усилие ротора воспринимают два радиально-упорных шарикоподшипника.

Концевые уплотнения ротора механические, торцовые, гидравлически разгруженные.

Конструкция торцового уплотнения допускает разборку и сборку насоса без демонтажа крышки 2 и корпусов подшипников. Герметизация торцовых уплотнений обеспечивается действием пружин, создающим плотный контакт неподвижного и вращающегося колец. [2;3]

В насосе предусмотрена система охлаждения концевых уплотнений за счёт прокачивания жидкости импеллером 9 через камеру торцового уплотнения.

Жидкость забирается из подвода через отверстие, в корпусе насоса и сбрасывается в подвод в сторону рабочего колеса.

В качестве приводов насосов применены четыре асинхронных электродвигателя во взрывозащищённом вертикальном исполнении 4А3МВ1600.

Соединение концов валов насоса и двигателя производится при помощи зубчатой муфты.

Периодически проверяют и следят за:

- герметичностью всех соединений;
- исправностью контрольно-измерительной аппаратуры;
- качеством масла, не допускают утечки его из системы;
- наличием напряжения у двигателя резервного маслонасоса.

Агрегат считается в резерве, если он подготовлен к пуску. Для производства периодических осмотров, ремонта и устранения обнаруженных дефектов агрегат выводится из резерва. При этом выполняют:

- перекрытие всех вентилях, задвижек и кранов на трубопроводах нефти и масла;
- спуск нефти из насоса;
- устранение всех дефектов, обнаруженных во время работы агрегата;
- вскрытие подшипников и смазку шейки вала тонким слоем консервирующей смазки;
- покрытие тонким слоем консервирующей смазки всех обработанных неокрашенных поверхностей;
- при выводе агрегата или какой-либо его части из числа действующих механизмов со снятием с фундамента, оборудование консервируется.

## **2.2. Обслуживание насосов**

Для безаварийной работы насосной станции поддерживают все узлы насосного агрегата в исправном состоянии. Показателем правильного обслуживания насосного агрегата является соответствие действительных

параметров насоса его проектной характеристике. Подача насоса и создаваемый им напор обеспечивают его максимальный КПД. При обслуживании насосов постоянно следят при помощи водомеров, манометров, вакуумметров, счётчиков потребляемой электроэнергии за работой отдельных агрегатов и всей насосной станции. Только правильное обслуживание насосной станции обеспечивает экономичную работу всех её агрегатов.

Во время работы насосного агрегата машинист насосной установки следит за показаниями приборов (манометров, вакуумметров, счётчиков электроэнергии, вольтметров, амперметров, ваттметров); за температурой подшипников и сальников; прислушивается к шуму в насосе и следит за общим техническим состоянием насосной установки.

Для наиболее экономичной работы насосной установки необходимо, чтобы в соответствии с характеристиками насосных агрегатов развиваемые напоры и подача обеспечивали максимальный КПД.

При появлении вибрации вала насоса, трубопровода или других частей насосной установки, при металлическом шуме, неисправности арматуры и прочих неисправностях немедленно останавливают насос, выявляют причину и устраняют её.

### **2.3. Регулирование подачи**

Основной задачей регулирования машины является подача в сеть расхода  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), заданного определённым графиком. При этом, как показывают характеристики машины, изображённые совместно, все основные параметры машины  $H$ ,  $p$ ,  $N$  и  $h$  имеют тенденцию изменяться.

Но сеть трубопроводов и потребители прикладывают на некие из характеристик определённые условия. [1]

Вероятны разные варианты задачи регулировки подачи: дроссельное регулировку и регулировку конфигурацией частоты вращения вала машинки.

Нежели наиболее глубоко процесс регулировки, тем более производительна затрата мощности.

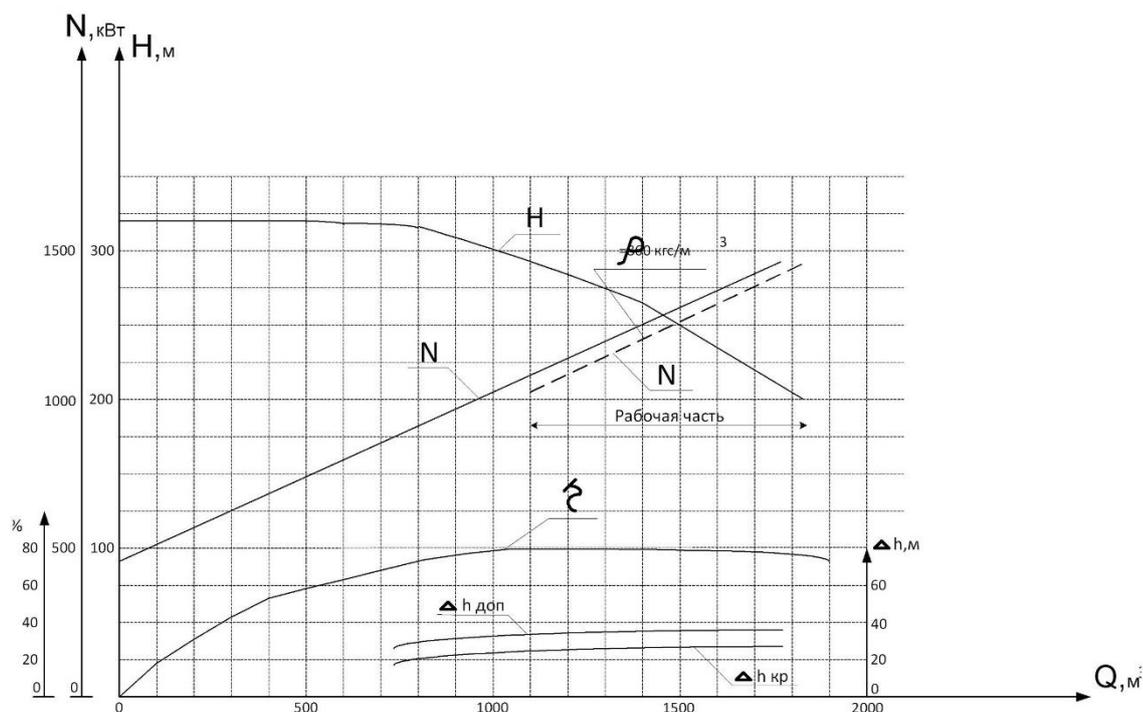


Рисунок 2.3 – Напорно-расходная характеристика работы насоса НМ 1250-260

Энергетическая отдача данного вида регулировки центробежных автомашин мала, но ввиду чрезвычайной простоты данный метод имеет обширное использование.

При дроссельной регулировке центробежных насосов, подающих нефть, дроссель располагают на напорной трубе. В случае если расположить его на поглощающей трубе, то при глубочайшей регулировке имеют все шансы появиться кавитационные действия в потоке и несоблюдение обычной работы насоса. [1;2;3]

Подача центробежной машинки при неизменной частоте вращения сможет изменяться, хотя исключительно вследствие конфигурации открытия

дросселя, да и по первопричинам, связанным с конфигурацией давления в системе трубопроводов.

В решение добавлю, собственно дросселирование как метод регулировки разрешено исключительно в тех вариантах, как скоро мощность миниатюризируется с сокращением подачи.

Коль скоро употребляемая мощность растет с сокращением подачи, то дросселирование как метод регулировки глупо, так как оно вызывает повышение употребляемой силы.

### 3. РАСЧЕТ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПОРНЫХ УЗЛОВ НМ 1250-260

#### 3.1. Методика определения рабочих характеристик подшипников

Для установления взаимосвязанных характеристик и параметров опорных агрегатов наиболее ответственных в ОЛП и БО изменяющихся в процессе работы в широких пределах, использована лабораторная установка кафедры ОПЛП и БО ХНТУ общий вид которой показан на рис.3.1. Эта установка предназначена для проведения исследований высокочастотных подшипников скольжения в жидкостном режиме смазки. На кинематической схеме (рис.3.1) показаны основные узлы установки: рабочий шпиндель 18; привод 21, механизм нагружения 12 и измерительные устройства 4;7;10;16;23;24;25;27. Все узлы и детали установки смонтированы в корпусе 2, установленном на основании 29.

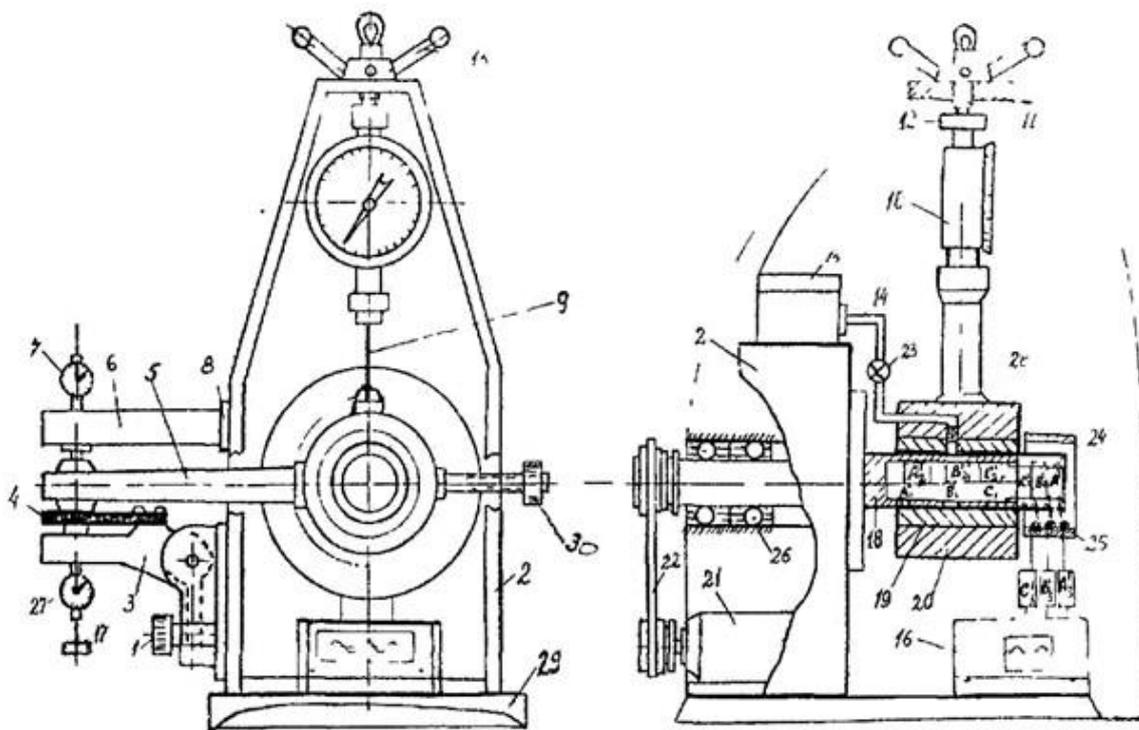


Рисунок 3.1 – Схема лабораторной установки для исследования высокочастотных опор скольжения

Вращение шпинделя осуществляется через шестиступенчатую клиноременную передачу 22. Натяжение ремней производится натяжным устройством, поворачивающим электродвигатель вокруг оси, на которую он посажен внутри корпуса 2.

Подшипник скольжения, представляющий собой стальную обойму 20 с вкладышем 19, установлен на цапфе 18, вращающейся на двух прецизионных самоустанавливающихся шариковых опорах 26 от электродвигателя 21 через клиноременную передачу 22. Нагружение подшипника скольжения радиальной силой осуществляется при помощи винта 11 и гайки 12 через динамометр 10 и металлическую ленту 9. При вращении рукоятки 13, гайка 12, упираясь в корпус установки, перемещает винт 11. При этом лента натягивается и прижимает подшипник скольжения к цапфе. Усилие прижатия подшипника фиксируется при помощи динамометра 10. Определение момента силы трения в подшипнике скольжения осуществляется при помощи устройства, состоящего из рычага 5, жёстко связанного с обоймой 20, укрепленного в корпусе неподвижного кронштейна 6 с индикатором 7 и качающегося кронштейна 3 с плоской пружиной 4, и нижним индикатором 27. На пружине 4 установлены датчики сопротивления, давления и световые датчики в инфракрасном спектре излучений. [39]

Уравновешивание рычага осуществляется противовесом 30. Пружина 4, в сочетании с нижним индикатором 27, представляет собой динамометр с датчиками, тарированными по эталонным приборам. По показаниям индикатора судят о величине действующих сил, моментов и перемещений в нагруженных смазочных зонах опоры. Для измерения момента трения на лабораторной установке необходимо вначале работы установить рычаг 5 в нейтральное положение (горизонтальное равновесное положение) при помощи противовеса 30. В таком положении рычаг 5 вводится в соприкосновение с измерительными стержнями индикаторов 27 и 7. Индикатор 27 должен своим измерительным стержнем упираться в пружину 4, а контакт между индикаторами и рычагом 5 достигается поворотом

подвижного кронштейна 3 с помощью винта 1. В таком положении стрелки индикатора устанавливаются на нуль. Для проверки правильности установки индикаторов в нулевое положение необходимо, не приводя во вращение вал, натянуть ленту с некоторым предварительным усилием. При этом стрелки индикатора должны оставаться на нуле или отклоняться на 2...3 деления. При вращении вала против часовой стрелки обойма, под действием момента трения, будет поворачиваться в том же направлении, а рычаг 5 – нажимать пружину 4 с датчиками, деформацию которой отмечает индикатор 27. Измерительный стержень индикатора 7 также опустится на определённую величину. Смазка подшипника скольжения осуществляется через трубопровод 14 из бачка 15, расположенного в верхней части корпуса. Регулирование подачи смазки осуществляется дросселем 23. На валу 18 (на шпинделе) смонтирована прозрачная втулка 24, на которой установлены инфракрасные передатчики сигналов, связанные с датчиками, смонтированными во вращающийся вал 18. Это устройство состоит из двух функционально законченных частей – блока реагирования, преобразования и передачи информации о рабочих параметрах  $a_1^1$ ;  $v_1^1$ ;  $c_1^1$ ; и  $a_2^1$ ;  $v_2^1$ ;  $c_2^1$ , находящегося в движущейся части испытуемой опоры скольжения, а также блока приёма и усиления  $a_3^1$ ;  $v_3^1$ ,  $c_3^1$ , для визуального наблюдения на экране светолучевого осциллографа или записи на фоточувствительную плёнку измеряемых параметров. Блок реагирования, преобразования и передачи информации о рабочих параметрах состоит из датчиков для замера толщины несущего слоя  $a_1^1$ , гидродинамического давления в несущей зоне  $v_1^1$ , температуры  $c_1^1$  в поверхностном слое и трех идентичных каналов передачи информации.

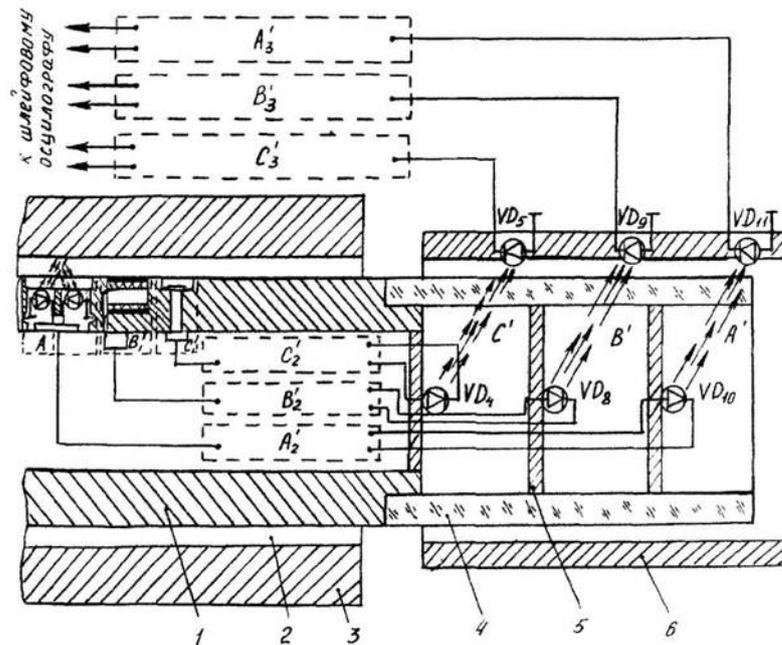


Рисунок 3.2. – Принципиальная схема для контроля характеристик опор  
 1 – вал; 2 – рабочий зазор; 3 – вкладыш; 4 – прозрачная насадка на вал; 5 –  
 диафрагмы-перегородки; 6 – неподвижная часть устройства.

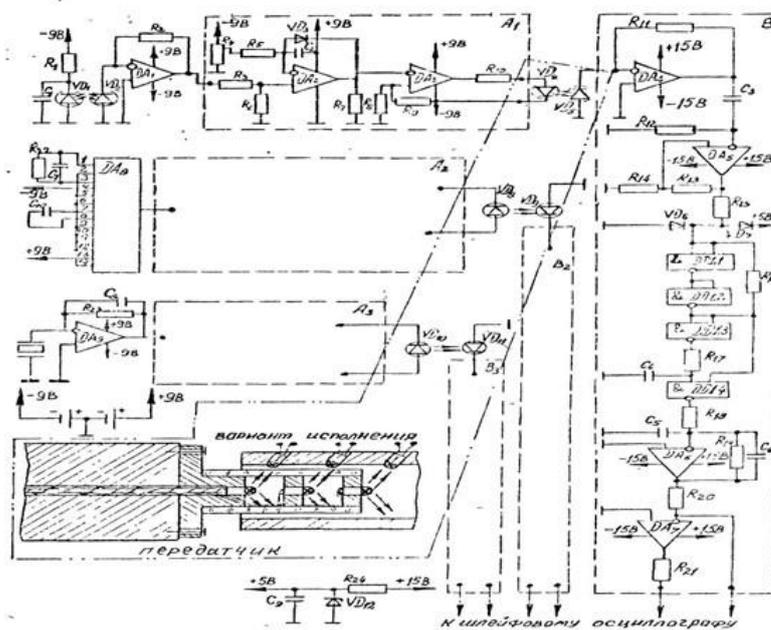


Рисунок 3.3 – Электрическая принципиальная схема устройства.

В процессе его работы электрический ток от отрицательного источника питания проходит через токоограничивающий резистор  $R_i$  и светодиод УД, который излучает световой поток в инфракрасной части спектра, попадающий, через несущий сложна рабочую поверхность вкладыша

подшипника.

Обнаружительная мощность внешнего излучения светодиода УД 1, согласно, характеризуется зависимостью:

$$N_0 = (2h_1 c B_n / \lambda \eta_\gamma) (i_k S_H / i_k n_1)^2, \text{ Вт} \quad (3.1.1)$$

где  $h_1$  – постоянная Планка;

$c$  – скорость света, м/с;

$\lambda$  – длина волны, м;

$B_n$  – ширина полосы пропускания несущей зоны, м;

$\eta$  – безразмерный коэффициент, характеризующий квантовую эффективность

внешнего излучения;

$n_1$  – число фотонов, поглощаемых в единицу времени;

$i_k$  – фототок короткого замыкания, А;

$S_H$  – напряжение сигнала на определённой частоте, В.

Для рассмотренного случая количественное значение обнаружительной мощности внешнего излучения  $N_0 = 1,2 \cdot 10^{-18}$  Вт. Для сглаживания пульсации напряжения, параллельно светодиоду включён конденсатор фильтра  $C_1$ . Отражённый от поверхности вкладыша поток излучения фиксируется фотодиодом  $VD_2$ . Обнаружительная способность приёмника-фотодиода характеризуется зависимостью:

$$D = \eta_\gamma \phi_k B_3 / U^{0.5} h_1 C_T \sqrt{\eta_\gamma \rho_n + (I_B / q)(1/G_y^2 \theta) + (k_1 T_T q^2)(1/G_y^2 \theta)} \quad (3.1.2)$$

где  $B_1$  – ширина области объёмного заряда, м;

$$B_3 = (2g_H / q)[(T+W)(TW)]\phi_k, \quad (3.1.3)$$

$U$ - освещённость площадки на поверхности вкладыша, Лк;

$\rho_n$ - плотность потока фотонов, U/m1;

$I_n$  - фототок внешнего сигнала, А;

$G_T$ — безразмерный коэффициент, характеризующий удельный тепловой поток в расчёте на единицу длины несущей зоны;

$G_\lambda$ -безразмерный коэффициент фотоэлектрического усиления;

$\theta$ - фоточувствительная площадь приёмника, мм<sup>2</sup> ;

$k_1$  -постоянная Больцмана;

$T_T$ - теплопроводность несущей зоны, Вт/(м°К);

$I$  - излучательная способность поверхности вкладыша, Дж/м<sup>2</sup>;

$g_n$ - диэлектрическая постоянная несущей зоны, ф/м;

$\varphi_k$  - контактная разность потенциалов, Вт

Фотодиод  $VD_2$  генерирует пропорциональный освещённости фототок, поступающий на вход преобразователя "ток-напряжение"  $DA_1$ . На выходе преобразователя появляется пропорциональное фототоку напряжение, подающееся через усилитель на резисторах  $R_3$ ;  $R_6$  на неинвертирующий вход генератора, управляемого на операционном усилителе  $DA_2$ , диоде  $VD_3$ , конденсаторе  $C_2$  и резисторе  $R_7$ . Начальная частота генерации устанавливается потенциометром  $R_4$ , с которого подаётся потенциал через резистор  $R_5$  и поступает на инвертирующий вход усилителя  $DA_2$ . Импульсы положительной полярности  $u$  и поступают на инвертирующий вход компаратора через усилитель  $DA_3$ . На резисторах  $R_8$ ;  $R_9$  подано опорное напряжение отрицательной полярности. Сформированные компаратором импульсы с постоянной амплитудой напряжения через токоограничивающий резистор поступают на светодиод  $VD_4$ , излучающий пульсирующий световой поток. В зоне излучения

$a_1$  светодиода  $V_{D4}$  установлен приёмный фотодиод  $УД5$ . Он генерирует пульсирующий, с частотой излучения, фототок, преобразуемый, на операционном усилителе  $ДА_4$ , в импульсы напряжения, поступающего на инвертирующий вход операционного усилителя  $ДА_5$  через разделительный конденсатор  $C_3$ . На усилителе  $ДА_5$ , резисторах  $R_{12}$ ;  $R_{13}$ ;  $R_{14}$  собран триггер Шмита, формирующий на выходе импульсы прямоугольной формы из поступающих на его вход импульсов малой амплитуды. Через токоограничивающий резистор  $R_{15}$  эти импульсы поступают на двусторонний диодный ограничитель на диодах  $V_{D6}$  и  $V_{D7}$ , включённый на входе формирователя, собранного на четырёх логических элементах 2И – НЕДД<sub>1</sub>; резисторах  $R_{16}$ ;  $R_{17}$  и конденсаторе  $C_4$ . На первых двух элементах и резисторе собран формирователь импульсов прямоугольной формы с уровнем, необходимым для работы ТТЛ-логики. На инверторе Д.Д.<sub>13</sub>, логическом элементе 2И-НЕД.Д. 1, резисторе  $R_{17}$ , конденсаторе  $C_4$  собран одновибратор, формирующий, из поступающих на него прямоугольных импульсов, импульсы одинаковой длительности. С выхода формирователя импульсы поступают на интегрирующую цепочку  $R_{18}$ ;  $C_5$  на которой выделяется аналоговый сигнал информации об измеряемом параметре. Этот сигнал поступает на вход усилителя интегратора, где происходит усиление сигнала до требуемой величины вредных высокочастотных составляющих. Через резистор  $R_{20}$  сигнал поступает на усилитель тока на операционном усилителе  $ДА_7$ , на вход которого, через резистор  $R_{21}$ , может быть подключён гальванометр-вставка светолучевого осциллографа. Датчик замера толщины смазочной прослойки, представляющий собой оптическую пару- светодиод и фотодиод, установлен в углублении, выполненном на шейке испытательного вала так, чтобы излучаемый светодиодом поток был направлен к рабочей поверхности вкладыша, и отражённый от поверхности попадал в приёмное окно фотодиода  $V_{D2}$ . Конструктивно эти диоды сверху закрыты прозрачной пластинкой из оргстекла, которая окончательно обработана вместе с шейкой вала и отполирована методами оптического стекла. Датчик давления состоит

из пьезоэлектрического преобразователя градиента давления, установленного в углублении шейки вала до упора в окно и заклеенного эпоксидной смолой ЭДП. Внешняя часть обработана в один размер с шейкой вала. Нижняя пластина преобразователя соединена с корпусом, а верхняя с инвертирующим входом операционного усилителя ДА9, К574УД1Б. Неинвертирующий вход усилителя соединён с корпусом. Вход усилителя, через резистор обратной связи  $R_{23}$ , соединён с его инвертирующим входом. Параллельно резистору  $R_{23}$  подключён интегрирующий конденсатор  $C_8$ . На усилитель подано двуполярное питание  $\pm 9В$ . Вырабатываемая пьезоэлектрическим преобразователем электродвижущая сила, пропорциональная скорости изменения давления в смазочном слое подшипника, поступает на вход усилителя – интегратора на операционном усилителе ДА9. После интегрирования на выходе усилителя получаем сигнал, пропорциональный изменению самого давления в смазочном слое, который также поступает, на аналогичный вышеописанному, канал передачи, приёма и усиления сигналов.

В качестве датчика температуры использован приёмник инфракрасного излучения типа МГ-30 А. Со стороны рабочей шейки канал закрыт пластинкой из кремния, обработанной заодно с валом и отполированной. Приёмник инфракрасного излучения включён по типовой схеме с навесными элементами  $C_7$ ;  $C_{10}$ , а его вход соединён с аналогичным каналом измерения толщины смазочной прослойки бесконтактным передающим приёмным устройством. На микросхему подано двуполярное питание  $\pm 9В$ . Выходы каждой из датчиков соединены со входами трёх идентичных преобразователей передатчиков. Для исследования лепестковых опор применена эта же установка.

### **3.2. Использование упругодемпфирующих поверхностей в подшипниках скольжения**

Во многих конструктивных исполнениях опорных агрегатов цельные втулки – вкладыши и подшипники качения не целесообразны, а иногда и невозможно использовать их из-за конструктивного исполнения ступенчатого или вала с шейками, выступами, фасонными выточками, сложностями соединяющих деталей, сопряжений и др. В этих случаях валы устанавливают на разъемные (с двух половинок) вкладыши, выполненные по технологии описанной в работе [4].

В нашем случае материалом рабочей поверхности вкладышей являются пластмасса, композиты или комбинированные составы, которые заливаются на алюминиевые корпуса, на которых уложены упругие пластины, расположенные между смазкоразделительными канавками (рис.3.4). Упругие пластины изготовлены из множеств коротких мелких стальных пружин, спрессованных под большим давлением. [32;34] После заливки они создают упругонапряженные несущие нагрузку зоны. Такие вкладыши, полученные с помощью кокиля не требуют механической обработки. При пуске магнитного подшипника нагрузка, приложенная к валу воспринимается фиксирующе – центрирующими опорами, рабочие зоны которых вследствие их конструктивных профилированных несущих нагрузку поверхностей и за счет заполнения смазкой микроволновых углублений разделяют трущиеся поверхности.

Для ускорения прирабатывания нагруженных поверхностей валов, их шейки покрывают медным слоем, что позволило герметизировать нагруженные зоны и использовать безизносный эффект избирательного переноса. [15] Такое конструктивное внедрение в реальных производственных условиях позволило достичь герметизации смазочной области в замкнутой опоре за счет направленных потоков в нагруженной зоне, захваченных подвижными поверхностями валов. Поэтому в процессе работы возникает избыточное давление на поверхности скольжения, а реакции смазочного слоя уравновешиваются внешними нагрузками, оказывающими содействие

самоустановлению оптимального направления изменения рабочих поверхностей.

Смазочная среда, захваченная перемещаемыми поверхностями валов, испытывает ускорение, а в неподвижных поверхностях она испытывает торможение вследствие прилипания к поверхностям опор. Продольное перемещение частиц смазки и ее соударение, перераспределение скоростей потока, температуры и давления по сечению несущего нагрузку смазочной зоны неоднородно, что значительно затрудняет определение закономерностей распределения волновых микроперемещений нагруженных поверхностей скольжения.[23] В упругодемпфирующих опорах по касательной возникает разница гидродинамического давления, которая обеспечивает направление перемещений смазочной среды к середине опоры, поэтому на торцах вкладыша под нагруженным слоем смазки значительно тоньше от остального. Поток под действием межмолекулярных и межатомных связей захватывается смазочным слоем к середине несущей зоны, что исключает вытекание смазки из зоны опоры.

Условия надежной и долголетней эксплуатации современных опорных агрегатов оборудования промышленности в первую очередь зависят от возможности прогнозирования оптимального состояния технологических, геометрических и конструктивных параметров и рабочих характеристик механизма, отдельных нагруженных поверхностей деталей [8]. Контролем датчиками возможно было исследовать лишь средние значения параметров и характеристик, но они не позволяют конкретизировать в фиксированных зонах нагруженной поверхности во времени и пространстве [10]. Тем более, что модернизация агрегатов оборудования с целью уменьшения виброшумовой активности и увеличение коэффициента полезного действия за счет внедрения в производство упругих деталей – втулок-вкладышей – изменили представления о закономерностях, явлениях и свойствах нагруженных

поверхностей. На (рис. 3.4) показаны конструктивные исполнения таких вкладышей с профилированными поверхностями.

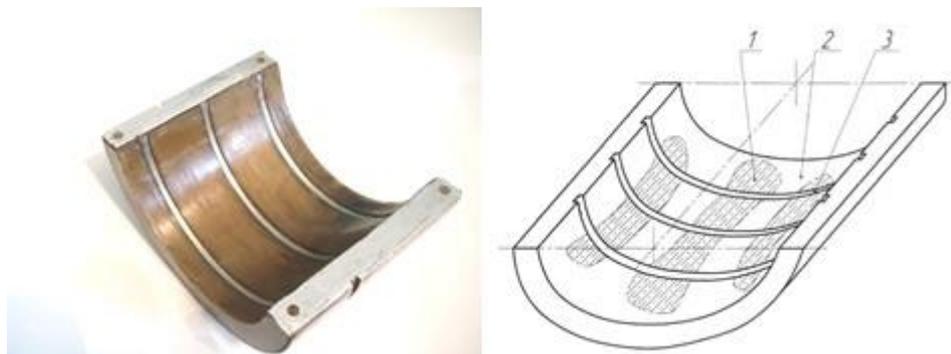


Рисунок 3.4. – Вариант исполнения центрирующего фиксируемого пластмассового вкладыша

1 – участки с твердой структурой; 2 – поверхность мягкой структуры; 3 – теплоотводящие смазкоразделительные канавки.

Влияние температуры, формы и толщины смазочного слоя на гидродинамическое давление упругодемпфирующих профилированных подшипников отличается от такового для обычных опор [4]. Поэтому для упругодемпфирующих опор важно одновременно экспериментально определять форму и толщину смазочного слоя, давления и температуру в нем. Это дает возможность прогнозировать работу машин. Для моделирования процесса, протекающего в несущей смазочной зоне профилированных подшипников скольжения различных конструктивных исполнений, по методике, приведенной в работе [5], оценивали температуру смазочной среды при установившемся режиме работы на основе зависимости:

$$T_y = F/R_x H_{up}, \quad (3.2.1)$$

где  $F = \mu S \omega^2 / h$  – мощность расходуемая на трение в смазочной зоне;  $R_x = \rho h \kappa \mu$  – расход смазочного материала через рабочий зазор опоры;  $H$  – удельная теплоемкость смазочного материала;  $u$  – механический эквивалент теплоты;  $\rho$  – плотность;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости смазочного материала в опоре;  $S$  – площадь износостойких поверхностей вкладыша;  $\omega$  – угловая

скорость вала;  $h_y = (A + pS_1) * (t/\xi) + c_1(c_2/\xi) \exp \xi t / c_1 + c_2$  – минимальное значение величины рабочего зазора в нагруженной несущей зоне;  $p_H = 20 * 10^5 * \exp(-Rh_3\theta t / \mu\omega) + Q\mu / Rh^3$  – установившееся гидродинамическое давление в нагруженной смазочной зоне;  $k$  – коэффициент учитывающий конструктивные особенности опоры;  $A$  – нагрузка на опору;  $S_1$  – эффективная площадь смазочной зоны, передающей нагрузку;  $c_1, c_2$  – постоянные интегрирования в фиксированный момент времени  $t$ ;  $\xi$  – коэффициент демпфирования;  $\theta$  – приведенный модуль объёмного сжатия смазочного материала;  $Q$  – количество смазывающей среды циркулирующей в замкнутой полости, омывающее неработающую часть вкладыша.

Вследствие того, что значение  $Q\mu / R_x h^3$  является горизонтальной асимптотой функции, для параметров профилированного вкладыша с рабочим диаметром 130 мм гидродинамическое давление нагруженных участков смазочной зоны по результатам расчетных и опытных значений стремится к 15 МПа, но не превышает его. Это представление о тепловом балансе потребовало рассматривать тепловыделение с более подробным анализом, вплоть до составления алгоритма для ЭВМ. С этой целью проведём более глубокое исследование учитывая все общепринятые [10] условия и требование. Количество выделяемой теплоты в опоре определяется на основании уравнения теплового баланса. Учитывая, что все тепло образуется только за счет трения в слоях смазки друг с другом, а основной зоной является нагруженная поверхность, тогда принимаем, что работа трения полностью переходит в теплоту, следовательно, можно записать, что за единицу времени:

$$B_0 = B_1 + B_2 = F_{TP} + W = Af_{1\omega} + Af_{2\omega} \quad (3.2.2)$$

где:  $B_0, B_1, B_2$  – теплота, выделяющая от трения слоев вязкой смазочной жидкости соответственно в подшипнике, в нагруженной и ненагруженной зонах.;  $A$  – нагрузка, действующая на вал,  $H$ ;  $f, f_1, f_2$  – коэффициенты трения соответственно всего подшипника, нагруженной и ненагруженной зонах;  $W$  –

угловая скорость скольжения шипа,  $c^{-1}$ ;  $F_{\text{ТР}}W=AfW$  – мощность сил трения, Дж.

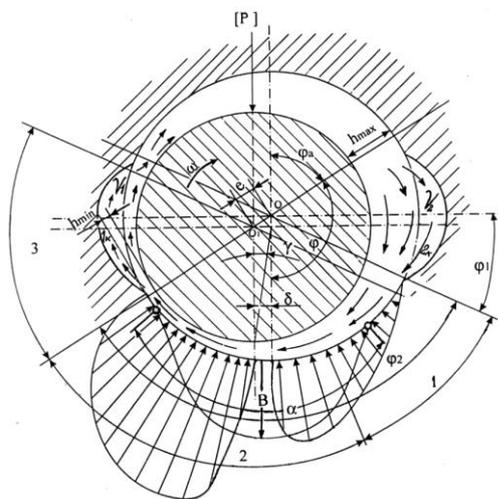


Рисунок 3.5. – Схема расчетных параметров опоры скольжения

1 – диффузная зона; 2 – нагруженная зона; 3 – конфузная зона;  $\alpha$  – протяженность теплового поля;  $\beta$  – холодильная зона;  $e$  – эксцентриситет;  $\omega$  – угловая скорость;  $P$  – радиальная нагрузка.

### 3.3. Методика расчета упругодемпфирующих подшипников скольжения

При пуске упругодемпфирующего подшипника масса, приложенная к валу, воспринимается несущими поверхностями опор, рабочие зоны которых вследствие их конструктивных профилированных несущих нагрузки поверхностей за счет заполнения смазкой микроволновых углублений разделяют трущиеся поверхности, поэтому вал всегда при пуске, установившемся режиме и остановке всплывает и центрируется. Для установления влияния процессов, протекающих в несущих зонах сверхвысокочастотных упругодемпфирующих центральнo-фиксирующих опор на устойчивость эксцентриситета необходимо получить зависимость

коэффициентов давления от текущей координаты и относительной глубины микрорельефа. В качестве математической модели, описывающей закономерности, свойства и явления несущих зон с микроволновым профилированием используем обобщенное уравнение Рейнольдса [7, 9, 10], имеющее вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3 \rho}{\mu} \frac{\partial P_r}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3 \rho}{\mu} \frac{\partial P_r}{\partial z} \right) = 12 \rho \omega_x + 6 \frac{\partial}{\partial x} \rho \omega_y h + 12 \frac{h \partial P_r}{\partial t} + 6 \frac{\partial}{\partial z} \rho \omega_z h \quad (3.3.1)$$

где  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – компоненты скорости в направлениях  $O_x, O_y, O_z$ , м/с;  $P_r$  – гидродинамическое давление в произвольной точке смазочного слоя, Па;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости масла, Пас;  $h$  – толщина смазочного слоя, м;  $t$  – температура, °С;  $\rho$  – плотность смазки, кг/м<sup>3</sup>.

Выражение имеет силу для любого случая нестационарного движения вязкой насыщенной газо-воздушной составляющей сжимаемой смазочной среды, для которой величины  $\mu$  и  $\rho$  не являются постоянными и зависят от температуры и давления. С учетом только доминирующих параметров допускается упрощение уравнения считая, что:

$$\frac{\partial P_r}{\partial t} = 0; \quad \mu = const; \quad p = const; \quad \omega_x = const; \quad \omega_y = \omega_z = 0; \quad \frac{\partial P_r}{\partial z} = 0; \quad (3.3.2)$$

Тогда формула примет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3 \partial P_r}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} 6 \mu \omega_x h \quad (3.3.3)$$

В результате интегрирования, заменяя частную производную на полную, имеем:

$$\frac{h^3 \partial P_x}{\partial x} = 6 \mu \omega_x h + C; \quad (3.3.4)$$

Определение  $C$  осуществлено при условиях:  $\frac{\partial P_r}{\partial x} = 0; \quad h = h_0; \quad P = P_{\max}$ ,

тогда  $C = -6 \mu \omega_x h_0$ .

С учетом постоянной интегрирования, в фиксированный момент времени уравнение примет вид:

$$\frac{\partial P_r}{\partial x} = 6\mu\omega_x \left( h - \frac{h_0}{h^3} \right) \quad (3.3.5)$$

Для определения давления в произвольном сечении под углом  $\varphi$  линии центров воспользуемся полярными координатами. Для перехода к ним произведем следующие замены  $\partial x = r\partial\varphi$ ;  $\omega_x = \omega r$ . Обозначим диаметральный зазор  $s = D - d$ , радиальный зазор  $\delta = 0,5s$ , относительный зазор  $\psi = s/d$ . Для определения толщины смазочного слоя в сечении под углом  $\varphi$  к линии центров получим:  $h = R - r\cos\gamma - e\cos(180^\circ - \varphi)$ , где  $R$  и  $r$  – радиусы подшипника и цапфы. Принимаем  $R - r = \delta$ . Относительный эксцентриситет обозначим  $e/\delta = \chi$ . После упрощений для толщины  $h_m$  в сечении, где  $P = P_{\max}$ , при  $\varphi = \varphi_m$ , имеем:

$$h_m = \delta(1 + \chi \cos\varphi_m), \text{ а } h_{\min} = \delta(1 - \chi). \quad (3.3.6)$$

В формуле не учитывается микрорельеф формы несущей поверхности вкладыша и изменения под действием упругости поверхности и приложенной нагрузки, то есть он принимается как абсолютно жесткий и гладкий, что не соответствует действительности.

Из современной классической литературы [6, 14, 16, 21] установлено, что несущие нагрузку смазочные зоны опоры обладают переменной жёсткостью, а с целью повышения при пуске нагрузочной способности их рабочие зоны профилируются. Поэтому в расчеты вводится коэффициент, учитывающий изменение жесткости несущей поверхности вкладыша  $j = 1/C_k$ , где  $C_k$  – коэффициент, учитывающий изменение формы зазора на несущей нагрузку рабочей поверхности.

Коэффициент  $C_k$  характеризуется напряженным состоянием выделенной элементарной фиксированной точки смазки, представленной тензором напряжений [1, 11, 17, 18, 20, 27]:

$$T_g = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (3.3.7)$$

где  $\sigma_x; \sigma_y; \sigma_z; \tau_{xy}; \tau_{xz}; \tau_{zy}; \tau_{yx}$  – соответственно, нормальные и касательные напряжения на гранях, ортогональных к осям  $X, Y, Z$ .

Тогда в рассматриваемой фиксированной точке всегда можно выбрать такие три ортогональные направления равные нулю.

В процессе анализа установлено, что под действием нормальных напряжений частица смазки испытывает линейную деформацию в направлении координатных осей. Тогда,  $\sigma_x = E_n C_x$ , где  $E_n$  – модуль продольной упругости рассматриваемой среды.

Относительная деформация в направлении оси  $X$  изменяется на величину:

$$\Delta C_k = \left( -\frac{1}{K_{ng}} \right) \left( \frac{\sigma_y}{E_n} + \frac{\sigma_z}{E_n} \right) \quad (3.3.8)$$

где  $K_{ng}$  – коэффициент поперечной деформации. Тогда полная деформация в направлении оси  $X$  будет:

$$C_x = \frac{\sigma_x}{E_n} - \frac{1}{K_{ng}} \left( \frac{\sigma_y}{E_n} + \frac{\sigma_z}{E_n} \right) \quad (3.3.9)$$

Аналогично находятся относительные деформации  $C_y; C_z$ .

Нормальные напряжения равны:

$$\sigma_x = E_n C_x + \frac{1}{K_{ng}} \sigma_y + \sigma_z; \quad \sigma_y = E_n C_y + \frac{1}{D_n} \sigma_x + \sigma_z; \quad \sigma_z = E_n C_z + \frac{1}{D_n} \sigma_x + \sigma_y; \quad (3.3.10)$$

Из соотношений получили коэффициент  $C_k$ , который представлен в виде:

$$C_k = \frac{1}{E_n} [\sigma_z - \mu(\sigma_x - \sigma_y)] \cos(P^\wedge z). \quad (3.3.11)$$

Этот коэффициент позволяет получить формулу для толщины смазочной прослойки. Если относительный эксцентриситет  $e/\delta = \chi$ , тогда:

$$h = C_k \delta (1 + \chi \cos \varphi) \quad (3.3.12)$$

Для толщины  $h_{\max}$  в сечении, где  $P_r P_{r\max}$ , имеем  $\varphi = \varphi_m$ , тогда:

$$h = C_k \delta (1 + \chi \cos \varphi_m)$$

С учетом  $j = 1/C_k$ , имеем:

$$\frac{\partial P_r}{\partial \varphi} = j \left[ \frac{6\mu\omega\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_m)}{\psi^2 (1 + \chi \cos \varphi)^3} \right] \quad (3.3.13)$$

Интегрированием уравнения, в пределах от  $\varphi_1$  до  $\varphi$ , определим удельное давление  $P_\varphi$  в сечении под углом  $\varphi$  к линии центров:

$$P_\varphi = \frac{6\mu\omega}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_m)}{(1 - \chi \cos \varphi)^3} \partial \varphi \quad (3.3.14)$$

Тогда давление на элементарную несущую нагрузку площадку, выделенную в рассматриваемом сечении, с центральным углом  $\Delta\varphi$  определится по уравнению:

$$\Delta P_{r\varphi'} = j P_{r\varphi'} l r \varphi' = P_{r\varphi'} (0,5ld) \Delta\varphi' \quad (3.3.15)$$

С учетом принятых допущений окончательно имеем:

$$P_{\max} = \left( \frac{3\mu\omega}{\psi^2} \right) ld \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos[\pi - (\varphi' - \varphi_a)] \partial\varphi' \int \frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1 + \chi \cos\varphi)^3} \partial\varphi; \quad (3.3.16)$$

где,  $\varphi_2$  – относится к концу смазочного слоя. Далее введем обозначение  $\Phi_p$  – безразмерного коэффициента, характеризующего несущую силу опоры:

$$\Phi_p = j \left\{ 3 \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos(\pi - (\varphi' - \varphi_a)) \partial\varphi' \int_{\varphi_1}^{\varphi'} \frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1 + \chi \cos\varphi)^3} \partial\varphi \right\} \quad (3.3.17)$$

Тогда уравнение примет вид:

$$P_{\max} = j \frac{\mu\omega}{\psi^2} ld \Phi_p \quad (3.3.18)$$

При выполнении исследований необходимо, чтобы были учтены изменения течения смазки на диффузорном и конфузорном участках, образованных поверхностями микрорельефа.

На рис. 3.5 приведена схема фиксированной нагруженной элементарной зоны смазки бесконечно широких поверхностей 1 и 2, на одной из которых имеется сдеформированный или технологически выполненный микрорельеф, ограниченный поверхностью АСЕ. Поверхность 2 движется со скоростью  $\omega$  в направлении оси ОХ, оси координат фиксированы относительно поверхности 1. Течение смазочного слоя происходит на диффузорном и конфузорном участках, образованных поверхностью 1 (АСЕ) с поверхностью 2.

Толщину смазочного слоя на конфузорном участке при  $0 \leq x \leq \alpha$  и на диффузорном участке при  $\alpha \leq x \leq 2\alpha$  можно рассматривать, соответственно, как:

$$A_g = h_0(1 + \beta\chi); \quad A_g = h_0(1 + 2\beta\alpha - \beta\chi); \quad (3.3.19)$$

где  $\beta = \frac{A_n - h}{\alpha h} = \frac{A_g}{h\alpha}$ ;  $A_g$  – глубина микрорельефного деформирования или профилирования;  $h_0$  – толщина между поверхностями 1 и 2 смазочного слоя

без учета микрорельефа;  $\alpha$  и  $A_n$  – соответственно, координаты наиболее глубокой точки микрорельефа;  $\beta$  – коэффициент, характеризующий волновой полусферообразный профиль микрорельефа.

Для общего случая движения плоского потока смазочной среды между двумя поверхностями произвольной кривизны на основании гидродинамической теории смазки уравнение (3.2.2), с учетом направления скорости  $\omega$ , будет иметь вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \left( h_0^3 \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial P_r}{\partial x} \right) = -6 \frac{\partial}{\partial x} (\rho \omega h) \quad (3.3.20)$$

Равенство справедливо для любого  $x \in (0, 2\alpha)$ , кроме  $x = \alpha$ . В точке  $x = \alpha$  производная  $h_0(x)$  не существует для рассматриваемого случая функция  $P(x)$  непрерывно дифференцируемая. Если  $P_{(0)} = 0$ ,  $P_{(2\alpha)} = 0$ , то найдется хотя бы одна экстремальная точка функции  $P(x)$  внутри промежутка  $(0, 2\alpha)$ , в которой  $(\partial h / \partial x)_{x=x_1} = 0$ .

Проинтегрировав равенство, в пределах от  $x_1$  и  $x$ , имеем:

$$\frac{\partial P_r}{\partial x} = -6 \frac{\mu \omega}{h_0^2} \left( 1 - \frac{\rho_1 h_1}{\rho h_0} \right) \quad (3.3.21)$$

где  $\rho_1$  и  $h_1$  – соответственно, плотность и толщина смазочной прослойки в том месте, где давление имеет экстремальное значение.

Если принять плотность постоянной, то уравнение (3.3.21) будет иметь вид:

$$\frac{\partial P_r}{\partial x} = -6 \frac{\mu \omega}{h_0^2} (h_1 - h_0) \quad (3.3.22)$$

С учетом (3.3.20) уравнение (3.3.21) для конфузорного участка запишется:

$$\frac{\partial P_r}{\partial x} = 6 \frac{\mu \omega \beta}{h_0^2} \frac{x_1 - x_2}{(1 + \beta x)^3} \quad (3.3.23)$$

Для диффузорного участка

$$\frac{\partial P_r}{\partial x} = 6 \frac{\mu \omega \beta}{h_o^2} \frac{x_1 - x_2}{(1 + 2\beta\alpha - \beta x)^3}, \quad (3.3.24)$$

где  $x_1$  и  $x_2$  соответственно, координаты точек экстремального давления на конфузорном и диффузорном участках.

Для интегрирования уравнения (3.3.23) и определения давлений в любой точке по длине несущей смазочной зоны принимаем граничные условия: при  $y=0$  значение  $\omega_x = -\omega$ ,  $\omega_y = 0$ ; при  $y=h$  значение  $\omega_x = 0$ ,  $\omega_y = 0$ ; при  $x=0, x=2\alpha$  значение  $P=0$ .

Тогда на конфузорном участке:

$$P_{x(1)} = 6 \frac{\mu \omega \beta}{h_o^2} \int \frac{x_1 - x_2}{(1 + \beta x)^3} \partial x \quad (3.3.25)$$

На диффузорном участке

$$P_{x(2)} = 6 \frac{\mu \omega \beta}{h_o^2} \int \frac{x_1 - x_2}{(1 + 2\beta\alpha - \beta x)^3} \partial x \quad (3.3.26)$$

Используя метод замен [6], будем иметь:

$$P_{x(1)} = 6 \frac{\mu \omega \beta}{(1 + \beta x)^3} [\mathcal{J}_1(x) \mathcal{J}_2(x)], \quad (3.3.27)$$

где,

$$\mathcal{J}_1(x) = \int \frac{x_1 \partial x}{(1 + \beta x)^3} = -\frac{x_1}{2\beta} \frac{1}{(1 + \beta x)^2} + C_{11}; \quad (3.3.28)$$

$$\mathcal{J}_2(x) = \int \frac{x_2 \partial x}{(1 + \beta)^3} = -\frac{1}{\beta^2 (1 + \beta x)} + \frac{1}{2\beta(1 + \beta x)^2} + C_{12}; \quad (3.3.29)$$

где  $C_1 = C_{1.1} - C_{1.2}$  – постоянная интегрирования.

Подставив значения  $\mathcal{J}_1$  и  $\mathcal{J}_2$  из (3.3.25) в уравнение (3.3.26) и проведя преобразования, имеем:

$$P_{x(1)} = 6 \frac{\mu\omega\beta}{h_0^2} \left[ \frac{1}{\beta^2} \frac{1}{(1+\beta x)} - \frac{1}{2\beta^2} \frac{1+\beta x_1}{(1+\beta x)} \right] + C_1, \quad (3.3.30)$$

$$P_{x(1)} = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2 \beta} \left[ \frac{1+\beta(2x-x_1)}{(1+\beta x)^2} \right] + C_1. \quad (3.3.31)$$

Используя граничные условия  $x=0, P_{x(1)}=0$  определим постоянную интегрирования  $C_1$

$$0 = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2 \beta} (1+\beta x_1) + C_1, \text{ откуда } C_1 = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2 \beta} (\beta x_1 - 1). \quad (3.3.32)$$

Подставляя  $C_1$  в уравнение, получим

$$P_{x(1)} = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2} \left[ \frac{1+\beta(2x-x_2)}{(1+\beta x)^2} + \beta x_1 \right], \quad (3.3.33)$$

следовательно будет иметь вид:

$$P_{x(2)} = 6 \frac{\mu\omega\beta}{(1+\beta x)^3} [\mathcal{J}_3(x) - \mathcal{J}_4(x)], \quad (3.3.34)$$

где

$$\mathcal{J}_3(x) = \int \frac{x_1 dx}{(1+2\beta\alpha - \beta x)^3} = \frac{1}{\beta(1+2\beta\alpha - \alpha x)} + \frac{1}{2\beta^2(1+\beta\alpha - \beta x)^2} + C_{2.2}, \quad (3.3.35)$$

$$\mathcal{J}_4(x) = \int \frac{x_2 dx}{(1+2\beta\alpha - \beta x)^3} = \frac{1}{2\beta} \frac{x}{(1+\beta\alpha - \beta x)^2} + C_{2.1}, \quad (3.3.36)$$

Подставляя значения  $\mathcal{J}_3(x)$  и  $\mathcal{J}_4(x)$  в уравнение и проведя преобразования, имеем:

$$P_{x(2)} = 6 \frac{\mu\omega}{h_0^2} \left[ \frac{-\beta x_2 - 1 + 2\beta\alpha}{2\beta^2(1+2\beta\alpha - \beta x)^2} - \frac{1}{\beta^2(1+2\beta\alpha - \beta x)} \right] + C_2, \quad (3.3.37)$$

$$P_{x(2)} = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2\beta} \left[ \frac{-\beta x_2 - 1 + 2\beta\alpha + 2\beta x}{(1 + 2\beta\alpha - \beta x)^2} \right] + C_2, \quad (3.3.38)$$

Здесь  $C_2 = C_{2,1} - C_{2,2}$  – постоянная интегрирования.

Постоянную интегрирования определим из граничных условий при  $x = 2\alpha; P_{x(2)} = 0$ , уравнение (2.5.30) будет иметь вид:

$$0 = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2\beta} (-\beta x - 1 + 2\beta\alpha) + C_2, \text{ откуда } C_2 = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2\beta} (-\beta x_2 + 1 - 2\beta\alpha). \quad (3.3.39)$$

Подставляя  $C_2$  в уравнение (3.3.38), получим:

$$P_{x(2)} = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2\beta} \left[ \frac{-\beta x_2 - 1 - 2\beta\alpha + 2\beta x}{(1 + 2\beta\alpha - \beta x)^2} + \beta x_2 + 1 - 2\beta\alpha \right]. \quad (3.3.40)$$

Из условий неразрывности потока объем смазочной среды, протекающий в произвольном сечении несущей нагрузки зоне, равен алгебраической сумме объема наведенного течения  $v_n$  и объема  $v_x$ , протекающего под влиянием перепада давления

$$v = v_n + v_x = lA \frac{\omega}{2} + \frac{lA^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (3.3.41)$$

где  $l$  – длина спрофилированного участка по оси  $Z$ .

Согласно граничным условиям в точках  $D$  и  $E$  при  $A = h$  значение  $P_0 = 0$  и  $\partial p / \partial x = 0$ , конфуз в сечениях, проходящих через эти точки, эпюра скоростей имеет вид, близкий к полусфере, а объем протекающей смазки  $v_0 = lh\omega/2$  соответствует точкам с экстремальным давлением в нагруженном слое смазки. Значит, в других точках на несущем профилированном участке не существует экстремального давления. Потому что если бы такие точки были, то тогда бы в них было бы  $P_x = P_{стр.}$ , а  $\partial p / \partial x = 0$  и объем смазки, протекающей в тех сечениях, был бы равен  $v = (lh_1\omega)/2$ , что для профилированных несущих нагрузки зон наведенное течение при сверхвысоких скоростях противоречит условию

неразрывности. Поэтому на участке профилированного изменения имеются только два сечения с экстремальным давлением с координатами  $x_1 = 0, x_2 = 2\alpha$ .

Учитывая значение координат точек экстремального давления  $x_1$  и  $x_2$ , будем иметь:

Для конфузорного участка, при  $0 \leq x \leq \alpha$

$$P_{x(2)} = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2 \beta} \frac{\beta_2 x_2}{(1 + \beta x)^2}. \quad (3.3.42)$$

Учитывая, что

$$\beta\alpha = \frac{A_h}{h} = A_h; \beta = \frac{\bar{A}_h}{\alpha}, x = \eta\alpha, \quad (3.3.43)$$

где  $A_h, \eta$  – соответственно, относительная глубина микрорельефа и безразмерная координата текущей точки  $x$ , тогда имеем:

$$P_{x(2)} = 3 \frac{\mu\omega\alpha}{h_0^2} \frac{\bar{A}_h \eta^2}{(1 + \eta\bar{A})^2} = 3 \frac{\mu\omega\alpha}{h_0^2} \bar{\Phi}_{(1)}, \quad (3.3.44)$$

здесь  $\bar{\Phi}_{(1),(2)}$  – безразмерный коэффициент давления – конфузорного и диффузорного участков. Для диффузорного участка при  $\alpha \leq x \leq 2\alpha$ :

$$P_{x(2)} = 3 \frac{\mu\omega}{h_0^2 \beta} \left[ \frac{-4\beta\alpha - 1 + 2\beta x}{(1 + \eta\beta\alpha - \beta x)^2} + 1 \right], \quad (3.3.45)$$

С учетом (3.3.44) это уравнение будет преобразовано:

$$P_{x(2)} = 3 \frac{\mu\omega\alpha}{h_0^2} \frac{1}{Ah} \left[ \frac{-4\bar{A}_h - 1 + 2\eta\bar{A}_h}{(1 + 2\eta\bar{A}_h - \eta\bar{A}_h)^2} + 1 \right] = 3 \frac{\mu\omega\alpha}{h_0^2} \bar{\Phi}_{(2)}. \quad (3.3.46)$$

На графике (рис.3.6) приведены результаты расчетов относительных коэффициентов давления  $P_x$  от текущей координаты  $\eta$  и относительной глубины микрорельефа  $\bar{A}_g$  на несущих нагрузку зонах. Для различной глубины, при прочих равных режимных условиях.

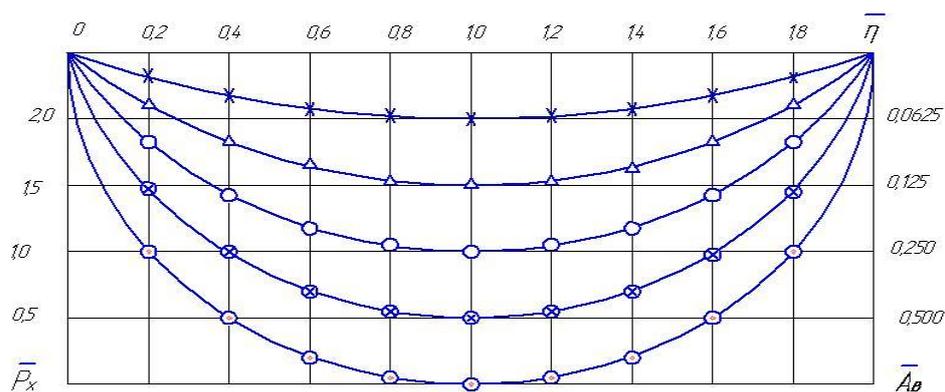


Рисунок 3.6. – Зависимость коэффициентов давления  $\bar{P}_x$  от текущей координаты  $\bar{\eta}$  и относительной глубины микрорельефа  $\bar{A}_g$

Из установленных зависимостей  $\beta$  – профиля микрорельефа следует, что с увеличением относительной его глубины, несущая способность в слое над микрорельефом по абсолютной величине увеличивается, а экстремальное значение гидродинамических давлений перераспределяется, что способствует снижению пиковых давлений в несущей зоне.

Так при относительной глубине микрорельефа  $\bar{A}_g = 0,0625$  и  $\bar{\eta} = 1$  точка (x) безразмерный коэффициент давления  $P_{(x)} = 0,5$ , а при относительной глубине  $\bar{A}_g = 1$  и  $\bar{\eta} = 1$  – точка (0),  $\bar{P}(0) = 2,5$  и т.д.

В профилированных подшипниках скольжения действительная величина в слое смазки над микрорельефом  $P = P_0 + P_x$ , где  $P_0$  - действительное и гидродинамическое давление между поверхностями 1 и 2 при этом значение  $P_x > 0$  при увеличении отношения  $f = (A_g + h)/h$  скорость смазочной среды возле подвижной поверхности вала в широкой части зазора уменьшается. При больших значениях  $f$  на участках несущей зоны с большой толщиной смазочного слоя появляется течение в противоположную сторону, как показано на рис. 3.5.

Граница между областью противотока и остальным течением смазки образуется точками, скорость  $\omega_x$  которых вдоль оси  $x$  равна нулю. Точки пересечения нулевой линии с нижней неподвижной плоскостью микрорельефа на конфузорном участке обозначим  $S_1$ , на диффузоре  $S_2$ .

Для определения координат точек  $S_1$  и  $S_2$  запишем уравнение установившегося движения смазки в координатах ХУ:

Интегрирование уравнения (3.3.46) дает:

$$\frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P_r}{\partial x} \quad (3.3.47)$$

$$\omega_x = \frac{1}{2\mu} y^2 \frac{\partial P_r}{\partial x} + A + B. \quad (3.3.48)$$

При граничных условиях (3.3.48) получим

$$B = -\omega_x A = \frac{h_0}{2\mu} \frac{\partial P_r}{\partial x} + \frac{\omega}{h_0}, \quad (3.3.49)$$

тогда

$$\omega_x = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P_r}{\partial x} (y^2 - hy) + \frac{\omega}{h_0} (y - h_0). \quad (3.3.50)$$

Из этого уравнения получим зависимость линии нулевого тока при  $\omega_x = 0$ :

$$\frac{1}{2\mu} \frac{\partial P_r}{\partial x} (y_0^2 - hy_1) + \frac{\omega}{h_x} (y_1 - h_0) = 0, \quad (3.3.51)$$

где  $y_1$  – ординаты линии нулевого тока.

Первое решение дает одно из принятых граничных условий  $y_1 = h_0$ , второе  $y_1 = -\frac{2\mu\omega}{h_0} \left( \frac{\partial P_r}{\partial x} \right)^{-1}$  является уравнением линии нулевого тока, которое можно решить, задаваясь уравнением неподвижной профилированной поверхности вкладыша  $h_x = h_0(1 + \beta x)$ :

$$\frac{\partial P_r}{\partial x} = -6 \frac{\mu\omega\beta}{h_0^2} \frac{x - x_1}{(1 + \beta x)^2}. \quad (3.3.52)$$

Получим для конфузорного участка

$$y_1 = \frac{-2\omega\mu h_0^2 (1 + \beta x)^2}{-h_x (1 + \beta x) 6\mu\omega\beta (x - x_1)} = \frac{h_0 (1 + \beta x)^2}{3\beta (x - x_1)}. \quad (3.3.53)$$

Приравняв значение  $y_1$  ординате  $h_x$  не подвижной спрофилированной или сдеформированной поверхности вкладыша, получим координату точки

$$x_{x1} = \frac{1 + 3\beta x}{2\beta}, \quad \text{при } x_1 = 0 \text{ значение } x_{x1} = \frac{1}{2\beta}.$$

Аналогично определим координату точки  $S_2$

$$x_{x2} = \frac{3\beta x_2 - 2\beta\alpha - 1}{2\beta}, \quad \text{при } x_2 = 2\alpha \text{ значение } x_{x2} = \frac{4\beta\alpha - 1}{2\beta}.$$

К точке  $S_2$  возникает условие, характерное для точки отрыва в пограничном слое с замедленным течением  $\frac{\partial \omega_x}{\partial y} \Big|_{y=h} = 0$ .

За точкой  $S_2$  по движению поверхности вала происходит отрыв частичного слоя смазки, образующего полускоростной вихрь. Гидродинамическая сила  $P_b$ , действующая на участке микрорельефа единичной ширины, определится:

$$P_b = \int_0^\alpha P_{x(1)} + \int_0^{2\alpha} P_{x(2)}. \quad (3.3.54)$$

Среднее давление на участке микрорельефа  $P_{b,cp} = P_b / 2\alpha$ .

Суммарная гидродинамическая сила от воздействия перепада давления на микрорельефе:

$$P_{\Sigma} = 2\alpha \left( \sum_{i=1}^n P_{b,cp} \cos \gamma_1 + \sum_{i=1}^n P_{b,cp} \cos \delta_1 \right). \quad (3.3.55)$$

Среднее давление  $P_{b,cp}$  в  $i, j$  микрорельефе является функцией от толщины смазочного слоя  $h_{0,i,j}$ . Тогда для конфузورного участка

$$P_{cp,i} = f_i(h_{0i}) = 3 \frac{\alpha \mu \omega}{A_b^2} \left( f_i - 2 \ln f_i - \frac{1}{f_i} \right), \quad (3.3.56)$$

$$f_i = \frac{h_{0i}}{h_0}, h_{0i} = r \psi (1 - \chi \gamma), \quad (3.3.57)$$

где  $r$  – радиус шейки вала;  $\chi$  – относительный эксцентриситет.

Если учесть, что микрорельеф расположен на несущей деформированной или профилированной поверхности вкладыша и их относительная площадь трения составляет  $f_{отн.} = \frac{F_{mp}}{F_6}$ , где  $F_{mp}$  – площадь трения,  $F_6$  – площадь, занимаемая микрорельефом, тогда

$$P_{\Sigma} = f_{отн.} \cdot P_{\Sigma}^1, \quad (3.3.58)$$

где,  $P_{\Sigma}^1$  – суммарная гидродинамическая сила от воздействия микроволновых изменений, вычисленная в предположении, что микрорельеф занимает всю несущую нагрузку площадь трения скольжения. Следовательно, гидродинамическая сила  $P_{\Sigma}^1$  определится из (3.3.58), в этом случае  $n$  и  $m$  вычисляются из соотношений:  $n = \frac{\alpha_1}{\beta_1}$ ;  $m = \frac{\alpha_2}{\beta_1}$ ;  $\beta_1 = \frac{2\alpha}{r}$ , здесь  $\alpha_1, \alpha_2$  – соответственно, углы от линии центров до начала и до конца нагруженной зоны;  $\beta_1$  – центральный угол протяженности одного микрорельефа.

Величина повышения несущей способности в зависимости от расположения микрорельефа на несущей поверхности вкладыша определится из:

$$F_{cm} = P_{\Sigma} \cdot B = F' f_{omn} \mu \omega B. \quad (3.3.59)$$

Отношение суммы безразмерных расстояний к их числу при расположении микрорельефа на симметричных расстояниях друг к другу характеризует увеличение площади, на которой развиваются гидродинамические давления:

$$f_{S_{cm}} = \frac{\sum_{i=1}^n 2(1-\eta_{S_{i,1}})}{n} + \frac{\sum_{i=1}^m 2(1-\eta_{S_{i,1}})}{m}. \quad (3.3.60)$$

При относительной площади  $f_{omn}$ , занимаемой микрорельефом условное уменьшение нагрузки на единицу площади несущей поверхности

$$f_{yn} = \frac{1}{1 - f_{omn} \cdot f_{S_{cm}}}. \quad (3.3.61)$$

При установившемся неизменном режиме работы и одинаковой нагрузке, воспринимаемой упругодемпфирующим подшипником скольжения, толщина смазочного слоя в подшипнике, имеющем микрорельеф, увеличивается перераспределяя пиковые давления, существенно повышая несущую способность, по сравнению с гладкими вкладышами. При этом относительный эксцентриситет автоматически увеличивается самоустанавливая протяженность несущей зоны настолько, что на вал действует суммарная гидродинамическая подъемная сила по величине превышающая уравновешивающую внешнюю нагрузку, прилагаемую к валу.

Для проведения численных расчетов необходимо конкретизировать значения:  $P_y$  – удельную внешнюю нагрузку на упругодемпфирующую опору при установившемся режиме работы  $P_y = 0,25 \text{ МПа}$ ;  $\omega$  – скорость скольжения вала  $\omega = 50000 \text{ с}^{-1}$ ;  $P_n$  – установившемся, в полостях опоры давления

смазывающе-охлаждающей среды  $P_n = 0,3 \text{ МПа}$ ;  $\mu$  – коэффициента динамической вязкости смазывающе-охлаждающей среды  $\mu = 0,76 \text{ Пас}$ ;  $d$  – диаметра вала  $d = 0,1 \text{ м}$ ;  $l$  – длины рабочей части вкладыша  $l = 0,12 \text{ м}$ ;  $\chi$  – относительного эксцентриситета  $\chi = 0,732$ ;  $\alpha$  – протяженность несущей зоны  $\alpha = 118^\circ$ ;  $j$  – коэффициента, учитывающего изменения жесткости микроизменения формы зазора на несущей нагрузки рабочей поверхности  $j = 0,333$ ;  $\Phi$  – коэффициента, учитывающего несущую способность  $\Phi = 0,92$ ; материал антифрикционного слоя вкладыша – пластмасса;  $\alpha$  – толщина пластмассового слоя  $\alpha = 0,004 \text{ м}$ ;  $R_{z\phi}, R_{z\psi}$  – высота микронеровностей поверхности цапфы  $R_{z\psi} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $R_{\psi\phi}$  – перекося осей цапфы и вкладыша  $R_{\psi\phi} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $h_\psi$  – погрешность формы цапфы  $h_\psi = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $h_\phi$  – погрешность формы вкладыша  $h_\phi = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $T$  – температура смазывающей среды при установившейся циркуляции в полостях опоры  $T = 65^\circ\text{C}$ ,  $338^\circ\text{K}$ ; смазочно-охлаждаемая среда, циркулирующая в полостях и нагруженной зоне опоры – масло турбинное 22;  $\rho_c$  – плотность смазки при  $65^\circ\text{C} = 338^\circ\text{K}$   $\rho_c = 897 \text{ кг/м}^3$ ;  $\alpha_1$  – вязкостный коэффициент  $\alpha_1 = 0,079 \text{ Па/с}$ ;  $\alpha_t$  – температурно-вязкостный коэффициент  $\alpha_t = 0,0289$ ;  $\beta_B$  – пьезокоэффициент вязкости  $\beta_B = 24,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2\text{Н}$ ;  $\nu_k$  – коэффициент объемного расширения  $\nu_k = 78,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1}^\circ\text{C}$ ;  $A_B$  – глубина микрорельефа  $A_B = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ;  $B_{\text{ш}}$  – ширина микрорельефа  $B_{\text{ш}} = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ ; По этой методике произведены расчеты для вкладыша, например для первого опыта  $P_{\text{max}} = 0,7 \text{ МПа}$ ;  $h_{\text{min}} = 18 \text{ мкм}$ ;  $\varphi = 22^\circ$  и так далее.

Наиболее интересные результаты проведенных расчетов и экспериментальных исследований сведены в таблицу 2.

Таблица 3.1. Сравнительные показатели рабочих характеристик и параметров фиксирующее-центрированных опор ПОДШИПНИКОВ

№ п/п	Удельная нагрузка на опору $P_y$ , МПа	Частота вращения вала $\omega$ , об/мин	Температура в несущей зоне, $T_{max}$ эксперим., °К		Угловая прогиб. несущ. зоны, $\alpha$ , °		Пиков. гидродинамич. давл. в несущ. зоне $P_{o,max}$ , МПа		Угол между линиями центров и линией действия нагрузки на опору $\varphi$ , °						Толщина смазочного слоя в рабочей зоне опоры $h_{min}$ , мкм							
			опытн.	расч.	опытн.	расч.	опытн.	расч.	опытн.		базовой		опытн.		базовой		опытн.		базовой			
									расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.		
1	4,0	10000	323	336	131	111	101	85	8,9	8,4	11,2	10,8	16	13	12	14	12	16	12	16	21	18
2	4,50	5000	321	335	133	117	105	88	9,3	8,8	12,6	12,4	15	11	11	13	11	15	11	15	20	16
3	5,0	4000	320	334	132	121	107	91	9,6	9,3	13,7	12,7	14	10	10	12	11	14	11	14	19	17
4	5,50	3000	317	329	135	132	108	95	10,3	9,7	15,1	15,3	13	10	9	11	11	13	11	13	18	15
5	6,0	2000	315	332	137	137	110	99	11,5	10,9	15,9	16,1	12	12	9	10	10	12	10	12	17	14
6	6,50	1000	316	329	140	142	112	97	12,4	12,0	18,1	17,2	11	13	8	9	10	11	10	11	16	12

Основным эффектом результатов исследований является повышение коэффициента полезного действия и значительное уменьшение акустической и вибрационной активности машин. До современного оборудования, характеризуемого высокими скоростными режимами, выдвигаются повышенные требования к материалу валов и вкладышей опор скольжения, их изготовления, точности и шероховатости несущей нагрузки профилированной или сдеформированной формы поверхности.

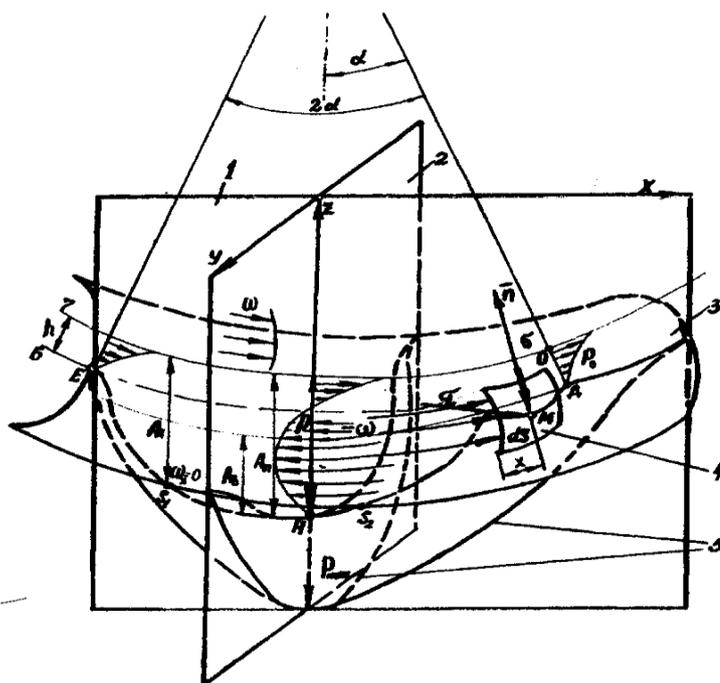


Рисунок 3.7 – Расчетная схема опорного агрегата ОЛПиБО

1 – ось плоскости; 2 – плоскость центров; 3 – нагруженная поверхность, 4 – опережающая волна, 5 – гидродинамическое давление, 6 – линия начального состояния нагруженной поверхности; 7 – линия профиля вала.

На рис. 3.7 изображена качественная картина равномерного состояния несущей нагрузки смазочной зоны. Для расчетов гидродинамической подъемной силы в профилируемой упругой смазочной зоне опоры, как и ранее используется уравнение Рейнольдса [7], которое имеет силу для какого-либо случая нестационарного движения вязкой сжимающейся среды.

Рассмотрим одиночный случай состояния скорости в точке М в координатной плоскости  $W_x, W_y, W_z$ , где частица жидкости массой  $V = dx * dy * dz$  элементарного объема двигается под действием поверхностной силы и силы тяжести. Если обозначить проекции весомой силы  $m_x = VX_\rho$ ;  $m_z = Z_\rho V$ ;  $m_y = Y_\rho V$ , а проекции поверхностной силы  $P_x v$ ;  $P_y v$ ;  $P_z v$ , где  $P_x$ ;  $P_y$ ;  $P_z$  – проекции вектора поверхностной силы, отнесенной к единице объема, то уравнение движения частицы в проекции на ось X будет иметь вид:

$$dW_x / dt = X + (1/\rho)P_x; \quad dW_y / dt = Y + (1/\rho)P_y; \quad dW_z / dt = Z + (1/\rho)P_z \quad (3.3.62)$$

Полные ускорения в направлениях соответствующей оси. Потому поверхностную силу необходимо выразить через напряжение, действующего на элементарную частицу в трех проекциях координатных осей, представленных в виде тензора напряжения [7]. Проекция поверхностной силы на каждую координатную ось, отнесенных к единице объема:

$$P_x = \partial \sigma_x / \partial x + \partial \tau_{zx} / \partial z + \partial z_{yx} / \partial y; \quad P_y = \partial \tau_{xy} / \partial x + \partial \sigma_y / \partial y + \partial z_{yz} / \partial z; \quad (3.3.63)$$

$$P_z = \partial \tau_{xz} / \partial x + \partial \tau_{yz} / \partial y + \partial \sigma_z / \partial z. \quad (3.3.64)$$

Для того, чтобы найти нормальное  $\sigma$  и касательное  $\tau$  напряжения используем формулу Ньютона для напряжения трения, возникающего при движении вязкой жидкости относительно твердой стенки опоры:

$$\tau_{zx} = \mu(\partial W_z / \partial x); \quad \tau_{yz} = 2\mu E_x; \quad \tau_{xy} = 2\mu E_z, \quad (3.3.65)$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической деформации смазочной среды;

$E_x = 0,5(\partial W_z / \partial x)$  – модуль деформации.

Относительная деформация, как и ранее для рассматриваемого случая:

$$C_k = (\sigma_x / E) - (1/k)(\sigma_y / E + \sigma_z / E); \quad (3.3.66)$$

где  $k$  – коэффициент поперечной линейной деформации;

$E$  – модуль продольной упругости смазочной среды.

По результатам исследований построена расчетная схема для установления фундаментальных зависимостей критериев вибрационных возбудителей быстрооборотных валов, установленных на профилируемых вкладышах. В силу того, что раньше не учитывались изменения течения масла на диффузорном и конфузорном участке опоры, образованном поверхностями микроволновых изменений, поэтому до настоящего времени при проектировании опорных агрегатов всех видов машин, используемых в отечественной промышленности, не учитывались погрешности от микровозбудителей вибрационных колебаний. Рис. 3.8 позволяет визуально следить за изменением микроволновых параметров.

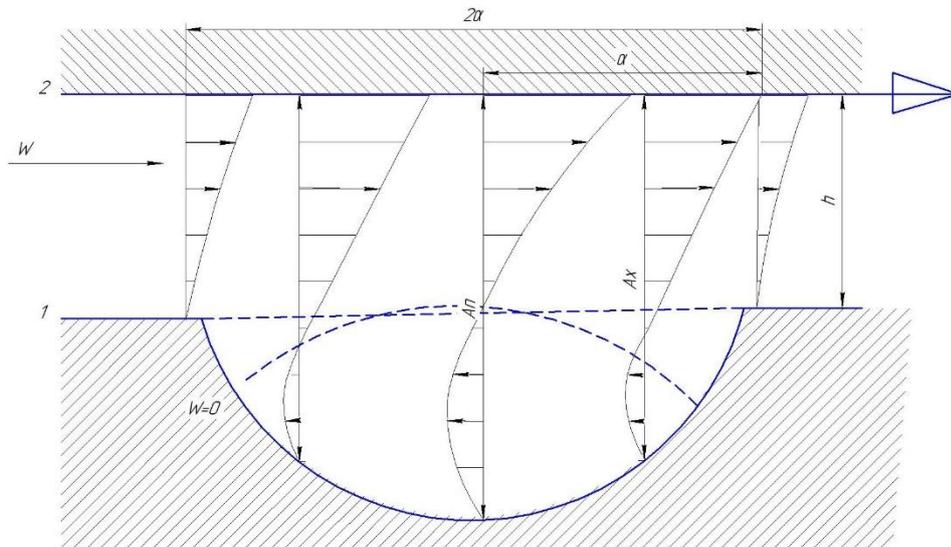


Рисунок 3.8 – Схема гидродинамического эффекта в нагруженной зоне опоре скольжения с микроволновыми профилируемыми вкладышами

На бесконечно широких поверхностях 1 и 2 смазочная среда со скоростью  $\omega$  перемещается вместе с подвижной поверхностью и под деформацией  $C_k$  формирует наибольший  $A_n$  профиль несущей нагруженной зоны, которая ограничена  $A_{CE}$ . Оси координат фиксированы относительно

поверхности 1. Толщину смазочного слоя на конфузорном участке, при  $0 \leq X \leq \alpha$  рассматриваем как  $A=h(1+2\beta X)$ , а на диффузорном при  $\alpha \leq X \leq 2\alpha$ , как  $A=h(1+2\beta\alpha-\beta X)$ , где  $\beta=(A_n-h)/h\alpha$ ;  $A_n$  - глубина микроволнового профиля;

$h$  – толщина между поверхностями 1 и 2 смазочного слоя без учета микроволнового профиля;

$\alpha$  и  $A_n$  – соответственно координаты самой глубокой точки микроволнового профиля;

$\beta$  – коэффициент характеризующий профиль микроволнового профилирования.

Давление на диффузорном участке:

$$Px_1 = (6\mu\omega\beta) / h^2 \int (x_1 - x) / (1 + \beta x)^3 dx; \quad (3.3.67)$$

на конфузорном

$$Px_2 = (6\mu\omega\beta) / h^2 \int (x - x_2) / (1 + 2\alpha\beta - \beta x) dx; \quad (3.3.68)$$

наибольшая толщина смазочного слоя:

$$A_n = C_k \delta (1 + \chi \cos \psi). \quad (3.3.69)$$

Учитывая внутренние частоты нагруженных зон, которые передают колебание на конструкции машин, были установлены передаточные звенья внутренних и внешних колебаний [9;10;11]. Для этого учли шесть степеней свободы, где находятся возбудители движения. При составлении уравнений движения, оси координат совпадают с главными центральными осями инерции, как близкими по направлению. В этом случае все подшипники любого оборудования, связанные координатными осями и выражаются уравнениями движения по всем шести координатам натуральной системы. Связанность отдельных форм колебаний корпуса в результате погрешностей

подшипников уменьшили конструктивными элементами нагруженных микро – профилируемых поверхностей опор, позволив демпфировать отдельные виды колебаний с другими формами:

$$\sum_i \mathcal{J}_z a_x = 0; \sum_i \mathcal{J}_z a_y = 0; \quad (3.3.70)$$

при условии:

$$\sum_i \mathcal{J}_z a_x = 0; \sum_i \mathcal{J}_z a_y = 0; \sum_i \mathcal{J}_x a_y = 0; \sum_i \mathcal{J}_y a_x = 0; \sum_i \mathcal{J}_z a_x a_y = 0. \quad (3.3.71)$$

Несвязанными будут координаты  $Z$  и  $Y$ . Связанными будут две пары координат в вертикальных плоских поверхностях -  $X, \beta$  и  $Y, \alpha$ , где  $\mathcal{J}_x, \mathcal{J}_y, \mathcal{J}_z$  – коэффициенты демпфирования в соответствующих направлениях;

$a_x, a_y, a_z$  – координаты опор;

$\alpha, \beta, \gamma$  – угловые координаты;

$i$  – номер опоры в текстильном оборудовании.

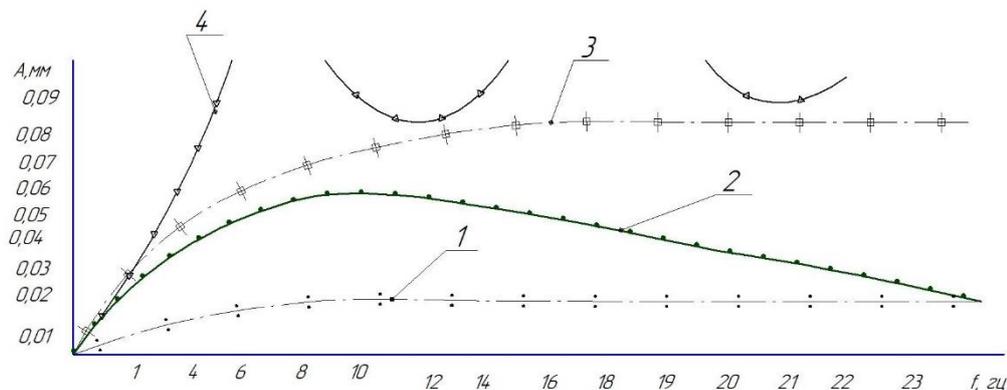


Рисунок 3.9 – Амплитудно-частотная характеристика

В лабораторных условиях были проведены исследования колебаний валов, установленных на подшипниках качения и подшипниках скольжения с профилируемыми микроволновыми поверхностями. На рис.3.9 приведена

амплитудно-частотная характеристика при  $\omega=100^{-1}\text{м}$ ;  $P=0,25\text{ Мпа}$ ;  $\mu=0,76\text{Пас}$ ;  
 $D=0,12\text{ м}$ ;  $l=0,14\text{ м}$ ;  $\chi=0,732$ ;  $\alpha=118^\circ$ ;  $j=1/C_k=0,33$ ;  $\Phi=0,92$ ;  $a=0,004\text{м}$ ;  $R_{zb}$   
 $=0,32\cdot 10^{-6}\text{ м}$ ;  $R_{zц}=0,16\cdot 10^{-6}\text{ м}$ ;  $R_{цб}=1,0\cdot 10^{-6}\text{ м}$ ;  $h_{ц}=1,0\cdot 10^{-6}\text{ м}$ ;  $h_{в}=2,0\cdot 10^{-6}\text{ м}$ ;  
 $T=27^\circ\text{С}$ ;  $T_n=22^\circ\text{С}$ ;  $\rho_c=897\text{ кг/м}^3$ ;  $a_i=0,079\text{ Па/с}$ ;  $a_l=0,079\text{ Па/с}$ ;  $\beta_B=24,1\cdot 10^{-9}\text{ м}^2\text{Н}$ ;  
 $\nu_k=78,2\cdot 10^{-5}\text{ 1/}^\circ\text{С}$ ;  $A_B=1,2\cdot 10^{-8}\text{ м}$ ;  $B_{ш}=0,5\cdot 10^{-5}\text{ м}$ ;  $h_{\text{min}}=16\text{ мкм}$ ;  $\varphi=22^\circ$ :

- 1 - теоретическая зависимость амплитудно-частотной характеристики валов, установленных на профилированной опоре скольжения;
- 2 – экспериментальная зависимость той же опоры;
- 3 – теоретическая зависимость вала, установленного на подшипнике качения;
- 4 - экспериментальная зависимость той же опоры качения.

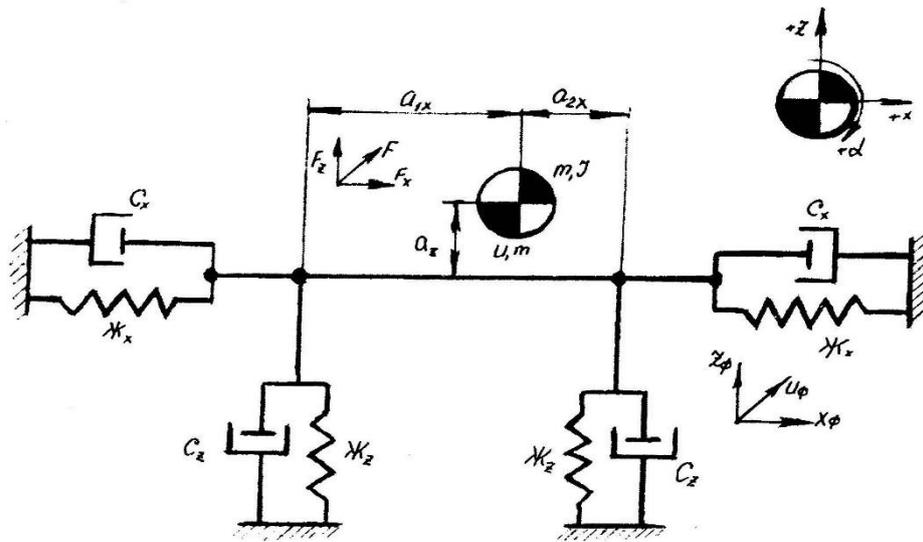


Рисунок 3.10 – Механическая схема демпфирования с тремя степенями свободы

Эти зависимости выполняются, если  $J_z$  пропорциональны массовым нагрузкам, которые приходятся на каждую опорную точку, по этому первые четыре условия выполняются, если для всех подшипников вала  $J_{zi}/J_{xi}=\eta_{xi}=\text{const}(i=1,2)$ ; условие выполняется, если система имеет хотя бы одну (вертикальную) плоскость симметрии. Последние условия выполняются,

когда все нагрузки поверхности вала находятся в плоскости, которая проходит через центр массы установки.

Из-за неминуемых погрешностей (расчетных и технологических), неточности определения центра массы оборудования, отклонений в распределении масс в середине оборудования и сложности динамического расчета полной системы уравнений рекомендуется проводить оценку на электромеханических аналогиях подвески вала с тремя степенями свободы (плоская система демпфирования), на рис.3.10 – электрическая схема замещения этой системы.

### **3.4. Подбор пар скольжения и смазки для обеспечения избирательного переноса**

Рабочие поверхности при трении, как правило, теряют свою форму и размеры, а продукты износа уносятся смазкой. Однако можно обеспечить, чтобы оторвавшиеся при изнашивании частицы схватывались с той же поверхностью или переносились на сопряженную. Тогда унос металлов со смазкой и износ резко уменьшаются (на 1-2 порядка) или практически исключаются [2].

Благодаря избирательному переносу в режиме граничной смазки можно резко снизить трение и почти полностью исключить износ трущихся поверхностей.

Процессы, происходящие в зоне контакта твердых тел при трении, образуют несколько стройных систем снижения износа и трения, которые обеспечивают:

- образование тонкой пластичной металлической пленки на трущихся поверхностях, защищающей основной металл от износа;

- удержание продуктов износа в зоне трения;
- снижение давления в зоне контакта;
- образование защитной полимерной пленки из продуктов деструкции смазочного материала.

Избирательный перенос рассматривается как трение с новым смазочным материалом и наличием в зоне контакта неокисляющейся тонкой пластичной металлической пленки, обладающей особой структурой и способной к самовосстановлению при разрушении.

Тяжелонагруженные трущиеся поверхности бронзовых подшипников самолетов, смазываемых металлоплакирующими смазочными материалами, в процессе работы покрываются тонкой пленкой свинца или меди. На самолете ТУ-104 бронзовые буксы, испытывая громадные давления, проработали около двух десятков лет практически без износа.

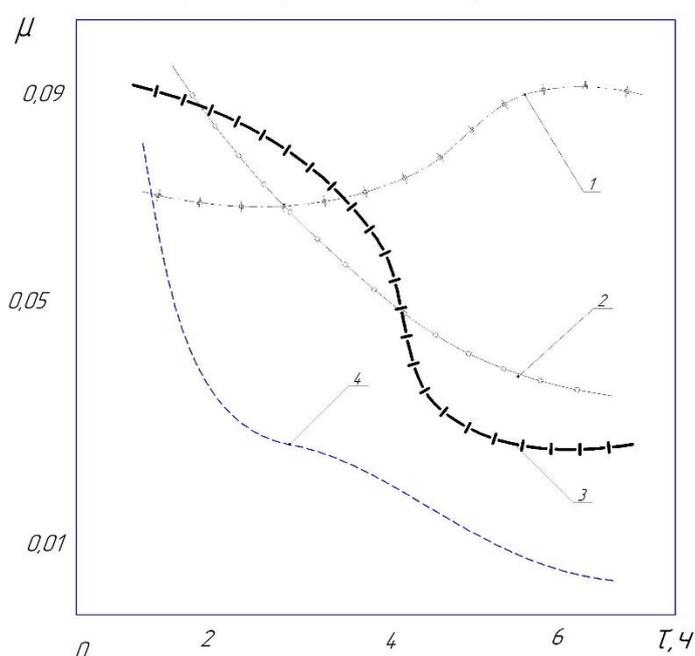


Рисунок 3.11 – Зависимость коэффициента трения  $\mu$  от времени работы  $\tau$  пары трения сталь 45 – бронза Бр0Ф6 при  $v=2,66$  м/с;  $P=8,7$  Мпа

1 – масло  $M - 6ГЗ$ ; 2 –  $M - 6ГЗ+0,5\%Х-3$ ; 3 –  $M - 6ГЗ+0,5\%Х-1$ ; 4 –  $M - 6ГЗ+0,5\%Х-17$

Наиболее подходящим металлом для использования в безызносных парах считается медь, так как она при надлежащей смазке достаточно стойка против окисления и не наклепывается, легко восстанавливается из окислов и прочно адсорбирует смазку. Распространенная фрикционная пара –сталь-бронза. Смазочная среда должна быть восстановительной по отношению к окислам меди и окислительной к другим компонентам бронзы. Оптимальной смазкой является глицерин, который, действуя как слабая кислота, растворяет цинк, свинец, железо. При этом поверхность обогащается медью и медь переносится на сопряженную поверхность. Таким образом, перенос является избирательным. Затем процесс растворения прекращается и происходит установившийся безокислительный процесс трения меди по меди с весьма малым коэффициентом трения (0,01-0,005). Прослойка меди сохраняется в состоянии, способном к схватыванию с частицами износа. Если медь не схватывается с сопряженной поверхностью, например, при покрытии ее электролитическим хромом, то частицы износа схватываются с поверхностью бронзовой детали, причем сохраняется тот же эффект.

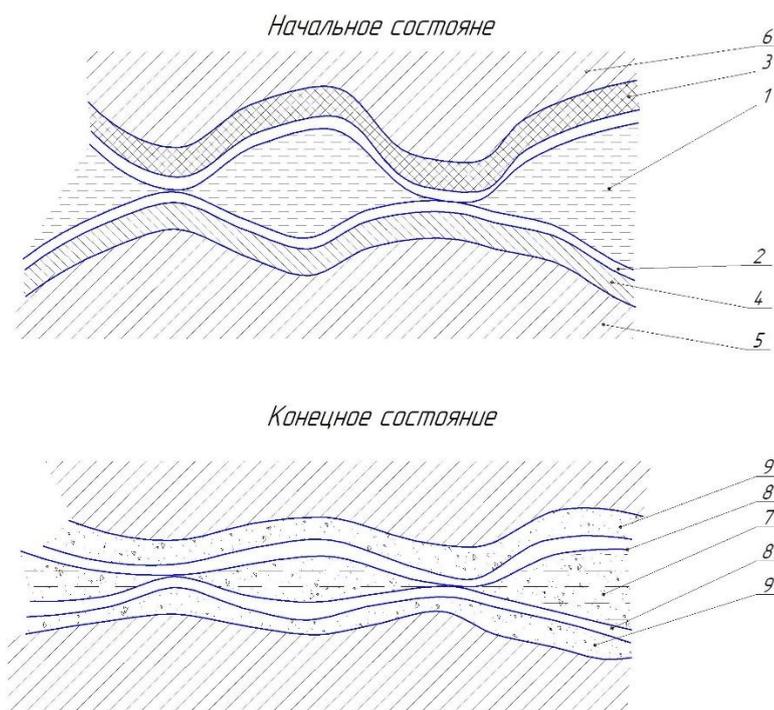


Рисунок 3.12. – Исследование реакционных слоев в паре трения бронза  
– сталь в среде глицерина

1 – чистый глицерин; 2 – абсорбционный слой; 3 – слой меди (1-2 мкм); 4 – слой окиси железа (1-2 мкм); 5 – область с нарушением решетки стали; 6 – область с нарушением решетки бронзы; 7 – глицерин с поверхностно-активным материалом и продуктами изнашивания; 8 – абсорбционный слой с поверхностно-активным материалом и продуктами превращения; 9 – слой меди точечными дефектами и смазочными составляющими.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ5Е	Фатееву Александру Вадимовичу

<b>Институт</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Транспорта и хранения нефти и газа</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

**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>Расчет затрат на монтаж профилированных упругодемпфирующих подшипников качения на опоры магистрального насоса НМ 1250-260,</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налоговый кодекс РФ ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ</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>Обоснование перспективности использования подобного рода материалов при изготовлении пар трения для подшипников качения в опорах нефтяных насосах.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование видов работ и бюджета на проведение мероприятия по модернизации подшипникового узла.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение экономической эффективности применения профилированных упругодемпфирующих подшипников качения.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

*Таблицы:  
Время проведения работ  
Необходимое оборудование и техника; стоимость материалов на проведение мероприятия  
Расчет заработной платы; расчет страховых взносов  
Затраты на проведение организационно-технического мероприятия  
Результаты расчётов экономической эффективности проекта*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры ЭПР	Шарф И.В.	к.э.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2БМ5Е	Фатеев Александр Вадимович		

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

В магистерской диссертации описывается целесообразность внедрения упругодемпфирующих профилированных материалов в изготовлении пар трения в подшипниках качения для использования в опорных узлах магистральных нефтяных насосах. Необходимо рассчитать эксплуатационные затраты по замене опорных узлов насоса типа НМ 1250-260. С этой целью необходимо рассчитать расчет времени на проведение мероприятий, количества необходимой техники и оборудования, затраты на амортизационные отчисления, затраты на материалы, затрат на оплату труда, затраты на страховые взносы.

### **4.1. Расчет времени на проведение мероприятия**

Определим нормы времени для механизированной сварки в среде углекислого газа. Время на проведение мероприятия включает в себя основное время выполнения проходов, а также вспомогательное время, необходимое для подготовки кромок сварного соединения и их последующую обработку.

Согласно РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций» замена подшипников в магистральном насосе выполняется при текущем ремонте (выполняется без вскрытия насоса), на который отводится 8 часов.

Таблица 4.1 – Время на выполнение мероприятия

Операция	Время, час
Визуальный контроль герметичности стыков крышки с корпусом	0,2
Проверка состояния фланцевых и резьбовых соединений	0,3
Проверка технического состояния муфты	0,3
Контроль наличия и качества смазки	0,1
Замена смазки (масла)	0,8
Проверка состояния подшипников, натяга крышек подшипника скольжения, при необходимости, замена	1,8
Демонтаж узла торцовых уплотнений, очистка, визуально-измерительный контроль, установка в насос.	1,3
Опрессовка насоса и вспомогательных трубопроводов	0,7
Обкатка	1,6
<b>Итого:</b>	<b>8</b>

#### 4.2. Затраты на материалы

Стоимость материалов на проведение мероприятий со стандартным шарикоподшипником и подшипником из омедненного упругодемпфирующего материала указана в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2. Стоимость материалов при использовании шарикоподшипника.

Наименование материалов		Кол-во, шт./кг./л.	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Подшипник качения фирмы Skif Ду=172 мм	2	34100	68200
2	Смазка Литол-24	4	3315	13260
3	Масло турбинное ТП-30	20	1700	34000
<b>Итого:</b>				<b>115460</b>

Таблица 4.3. Стоимость материалов при использовании пружодемпфирующего подшипника.

Наименование материалов		Кол-во, шт./кг./л.	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Подшипник скольжения с омедненной втулкой Ду=172 мм	2	24780	49560
2	Смазка ЦИАТИМ-221	4	2950	11800
3	Масло турбинное ТП-30	20	1700	34000
Итого:				95360

Из таблиц следует, что замена опорного узла насоса с шарикоподшипника на подшипник скольжения из омедненной втулки, изготовленной из продуктов переработки металлургической промышленности, удешевит конструкцию на 20100 руб.

Благодаря своим износостойким характеристикам предложенный подшипник не потребует замены в течении 60000 часов наработки, тогда как подшипник качения меняется согласно РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05 через 20000 часов наработки.

#### 4.3. Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;
- надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

Таблица 4.4. Расчет заработной платы при производстве работ по текущему ремонту насоса типа НМ-1250-260

Профессия	Разряд	Количество	Тарифная ставка, руб./час	Время на проведение мероприятия, ч.	Тарифный фонд ЗП, руб.	ЗП с учетом надбавок, (рай.коф. 1,6, сев.над. 50%)
Мастер	8	1	165	8	1320	3168
Слесарь	5	1	132	8	1056	2534,4
Слесарь	5	1	132	8	1056	2534,4
<b>Итого</b>		3			3432	8236,8

#### 4.4. Затраты на страховые взносы

Затраты на страховые взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования и обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве при обслуживании насосов представлены в таблице 4.5.

Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс XII с тарифом 1,3 для предоставления услуг по монтажу, ремонту и техническому обслуживанию насосов и компрессоров (код по ОКВЭД – 29.12.9).

Таблица 4.6. Расчет страховых взносов при производстве работ по текущему ремонту насоса типа НМ-1250-260

Показатель	Мастер	Слесарь	Слесарь
Количество работников	1	1	1
ЗП, руб.	3168	2534,4	2534,4
ФСС (2,9%)	91,9	74,95	74,95
ФОМС (5,1%)	161,6	129,25	129,25
ПФР (22%)	696,96	557,55	557,55
Страховые от несчаст. случаев (тариф 1,3%)	41,18	32,95	32,95
Всего, руб.	991,64	794,7	794,7
Общая сумма, руб.	2581,04		

#### 4.5. Затраты на проведение мероприятия

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия (Таблица 4.7).

Таблица 4.7. Затраты на проведение организационно-технического мероприятия

Состав затрат	Сумма затрат, руб.	
	Подшипник скольжения	Подшипник качения
Затраты на материалы	95360	115460
Оплата труда	8236,8	8236,8
Страховые взносы	2581,04	2581,04
Накладные расходы (20%)	21235,57	25255,57
Всего затрат:	127413,41	151533,41

Затраты на установку подшипника скольжения из омедненного упругодемпфирующего материала на опору насоса типа НМ 1250-260 составляют 127413,41 руб., что на 24119,99 руб. меньше, чем затраты на установку классического подшипника качения фирмы Skif.

Экономический расчет показал, что применение омедненных упругодемпфирующих поверхностей позволяет снизить затраты на материалах, а также позволяют увеличить ресурс опор до 60000 часов наработки, против 20000 часов у подшипника качения, что позволит сократить затраты на материалы при дальнейших текущем, среднем и капитальном ремонтах.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Магистранту:

Группа 2БМ5Е	ФИО Фатееву Александру Вадимовичу
-----------------	--------------------------------------

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ТПМ
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) и области его применения</p>	<p><i>Рабочее место расположено в насосном цеху НПС “Раскино” на трассе магистрального нефтепровода “Александровское – Анжеро-Судженск” на севере Томской области.</i></p> <p><i>При проведении модернизации узлов насоса, а также текущего ремонта и обслуживания могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека.</i></p> <p><i>Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, экологического характера.</i></p>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><i>Вредные факторы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Нарушение микроклимата на производстве.</i></li> <li>2. <i>Превышение уровня шума.</i></li> <li>3. <i>Пары нефти.</i></li> <li>4. <i>Превышение уровня вибрации.</i></li> </ol>
<p><b>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды в следующей последовательности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><i>Опасные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Подвижные части производственного оборудования;</i></li> <li>2. <i>Электрический ток;</i></li> <li>3. <i>Пожароопасность;</i></li> <li>4. <i>Взрывоопасность.</i></li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><i>Источником возникновения пожара может стать разгерметизация, насосного оборудования, трубопровода или арматуры с последующей утечкой углеводородов в производственную зону. Нормативные документы регулирующие пожарную безопасность на предприятии, осуществляющим строительно-монтажные работы являются: ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования», «СНиП 21-01-97. Пожарная</i></p>

экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	<i>безопасность зданий и сооружений» и СНиП II-2-80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений».</i>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<i>Взрывы происходят по разным причинам, чаще всего при утечке нефти или из-за пренебрежения техники безопасности. Нормативным документом, регламентирующим безопасность при взрыве на предприятии, является ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования</i>
<b>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<i>Основными нормативными документами предприятия являются:</i> <i>1. СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования».</i> <i>2. СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы. Правила производства и приёмки работ».</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Фатеев Александр Вадимович		

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Конструирование, создание нового или модернизированного оборудования являются основой развития машиностроения. В то же время от машиностроения в решающей мере зависят темпы экономического роста страны.

Основные факторы, определяющие надежную и долговечную работу центробежного насоса:

1. Выбор оптимальной конструктивной схемы.
2. Обеспечение внешней герметичности.
3. Квалифицированный расчет проточной части и других элементов насоса.
4. Правильный выбор материалов основных деталей и качественное изготовление.
5. Квалифицированный монтаж.
6. Квалифицированная эксплуатация.

Порядок организации работы по обеспечению безопасных условий труда на НПС “Раскино” определяется законодательством о труде РФ, общегосударственными и отраслевыми нормативными документами в области охраны труда, а также системой организации работ по охране труда и промышленной безопасности на нефтепроводном транспорте, действующей в организации.

Насосные для перекачки нефти относятся к взрывоопасным помещениям, так как в них может образоваться взрывоопасная смесь паров с воздухом, особенно при неисправном технологическом оборудовании или при несоблюдении противопожарных правил.

Таблица 5.1. Опасные и вредные факторы при производстве работ по монтажу балластировочных конструкций магистральных газонефтепроводов

Факторы при выполнении работ		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
1.Нарушение микроклимата на производстве. 2.Превышение уровня шума. 3.Пары нефти. 4.Превышение уровня вибрации.	1. Подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток; 2. Пожароопасность; 3. Взрывоопасность.	<i>СНиП 3.05.05-84</i> <i>ГОСТ Р 51164-98</i> <i>СНиП 11-4-79.</i> <i>ГОСТ 12.1.003-83</i> <i>ГОСТ 12.1.004-91</i> <i>ГОСТ 12.1.005-88</i>

### 5.1. Описание рабочей зоны

Рабочей зоной является непосредственно магистральная насосная нефтеперекачивающей станции. Насосная оснащена насосными агрегатами с асинхронными электродвигателями во взрывонепроницаемой оболочке, технологическими обвязками для подачи нефти в насос и на выход в магистраль, сбора утечек с торцевых уплотнений, подачи масла на опорные подшипниковые узлы и сбора отработанного масла.

При проведении обслуживания, текущего ремонта, модернизации могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека. Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера.

## 5.2. Анализ вредных выявленных факторов на производстве

### 5.2.1. Нарушение микроклимата на производстве

Основными параметрами, формирующими микроклимат на предприятии по обслуживанию магистральных насосов для нефтегазовой промышленности, считаются: влажность воздуха в рабочей зоне, температура воздуха в рабочей зоне, скорость движения воздуха в рабочей зоне.

Местное действие холода может разносторонне влиять на организм человека, в зависимости от продолжительности охлаждения и глубины охвата тканей той или другой части тела. При низкой температуре, значительной скорости и влажности воздуха возникает переохлаждение организма (гипотермия). Вследствие воздействия низких температур могут возникнуть холодовые травмы. Параметры микроклимата оказывают также существенное влияние на производительность труда и на травматизм.

Нормы производственного микроклимата устанавливаются по ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.24.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Работы по техническому обслуживанию магистральных насосов относятся к категории III - тяжелые: с постоянной ходьбой, перемещением значительных тяжестей (свыше 10 кг) или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по техническому обслуживанию насосов типа НМ приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2.

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Тяжелая-III	12 – 20	40 – 75	0,3 – 0,5
Теплый	Тяжелая-III	13 – 26	40 – 75	0,2 – 0,5

Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха ниже допустимых величин представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3.

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания при категориях работ, ч, не более					
	Iа	Iб	II а	II б	III	
6	-	-	-	-	1	
7	-	-	-	-	2	
8	-	-	-	1	3	
9	-	-	-	2	4	
10	-	-	1	3	5	
11	-	-	2	4	6	
12	-	1	3	5	7	
13	1	2	4	6	8	

Мероприятия по устранению вредного воздействия микроклимата.

Мероприятия защиты от переохлаждения в производственных условиях предусматривают:

- создание защитных сооружений от ветра на открытых площадках;
- обогревание производственных помещений;
- адаптация человека к пребыванию в условиях низких температур

и введение регламентированных перерывов, оборудование комнаты отдыха

Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева.

## 5.2.2. Производственный шум

Появление шума при проведении технического обслуживания магистральных насосов связано с работой эксплуатируемых агрегатов по перекачке нефти, а также их электродвигателей.

Воздействие шума может привести к сочетанию профессиональной тугоухости (неврит слухового нерва) с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечно-сосудистой и других систем, которые могут рассматриваться как профессиональное заболевание – шумовая болезнь.

Работа по техническому обслуживанию магистральных насосов связана с постоянным нахождением в рабочей зоне, контролем за проведением выполняемых работ с соблюдением правил безопасности согласно нормативным документам. Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-83«ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

Согласно которому уровень шума должен находиться в пределах 70-80 Дб при заданных условиях работ.

Таблица 5.4. Классификация трудовой деятельности

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Методы борьбы с шумом:

- Уменьшение шума в источнике (замена ударных процессов на безударные, своевременный ремонт, замена металлических деталей на пластмассовые);
- Применение дистанционного управления шумными машинами;
- Применение средств индивидуальной защиты. (промышленные беруши, наушники).

### 5.2.3. Пары нефти

Химическим вредным фактором производственной среды при операции приема ОУ(Д) может быть загрязнение воздуха рабочей зоны парами нефти (ПДК<sub>рз</sub> = 7000 мг/м<sup>3</sup>) при недостаточной герметичности насосного оборудования и коммуникаций. Нефтяные пары относятся к веществам 4 класса опасности по ГН 2.2.5.1313-03 (Гигиенические нормативы).

Загрязнение рабочей зоны в процессе эксплуатации магистрального насоса происходит за счет технологически неизбежных выбросов нефти через торцевые уплотнения на опорных узлах насоса, согласно ГОСТ Р 53675-2009 не должна превышать 0,00025 м<sup>3</sup>/ч. Характеристика выбрасываемых загрязняющих веществ в насосном цеху, для которых установлены ПДК в воздухе рабочей зоны, представлена в таблице 5.5.

По эксплуатируемому газопроводу перекачивается газ следующего состава

Таблица 5.5. Состав природного газа

<b>Компонент</b>	<b>ПДК, мг/м<sup>3</sup> в воздухе рабочей зоны</b>	<b>Класс опасности</b>
Углеводороды предельные C1-C10	900/300	4

Защита органов зрения осуществляется с помощью различных предохранительных очков.

Защита органов дыхания обеспечивается применением вентиляционной системы в насосной, а также различного рода респираторов и противогазов.

#### **5.2.4. Превышение уровня вибрации**

В процессе выполнения технического обслуживания магистральных насосов постоянно задействованы эксплуатируемые в одном насосном зале нефтеперекачивающие агрегаты, создающие малые механические колебания, называются вибрацией. Причиной возбуждения вибраций являются возникающие неуравновешенные силовые воздействия при работе насосов и электродвигателей.

При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Вибрация является специфическим раздражителем для вестибулярного анализатора, причем линейные ускорения – для отолитового аппарата, расположенного в мешочках преддверия, а угловые ускорения – для полукружных каналов внутреннего уха.

Требования по ограничению неблагоприятного воздействия вибрации определены в ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»

Вибрационная нагрузка на машиниста нормируется для каждого направления действия вибрации. Для локальной вибрации норма вибрационной нагрузки на оператора обеспечивает отсутствие вибрационной болезни, что соответствует критерию «безопасность».

Для общей вибрации нормы вибрационной нагрузки на машиниста установлены для категорий вибрации и соответствующих им критериям оценки по табл. 5.6.

Для каждой категории вибрации с меньшим порядковым номером

могут быть использованы нормы вибрации, установленные для категории с большим порядковым номером.

Таблица 5.6.

Категория вибрации по санитарным нормам и критерий оценки	Характеристика условий труда	Источники вибрации
3 тип "а" граница снижения производительности труда	Технологическая вибрация, воздействующая на операторов стационарных машин и оборудования или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.	Литейные машины, электрические машины, насосные агрегаты, вентиляторы, буровые станки, оборудование промышленности строительных материалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности.

Санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч приведены в табл.5.7.

Таблица 5.7.

Вид вибрации	Категория вибрации по санитарным нормам	Направление действия	Нормативные, скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значения			
			виброускорения		виброскорости	
			$m \times c^{-2}$	дБ	$m \times c^{-2} \times 10^{-2}$	дБ
	2	$Z_0, Y_0, X_0$	0,1	100	0,2	92

Для защиты от вибрации широко используются вибропоглощающие и виброизолирующие материалы и конструкции.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума в соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 используют мягкие противозумные вкладыши, вставляемые в уши, тампоны из ультратонкого волокна или жесткие из эбонита или резины, эффективные при  $L=5-20$  дБ.

Для защиты рук от воздействия локальной вибрации, согласно ГОСТ 12.4.002-74, применяют рукавицы или перчатки следующих видов: со специальными виброзащитными упруго-демпфирующими вкладышами,

полностью изготовленные из виброзащитного материала (литьем, формованием и т.п.), а также виброзащитные прокладки или пластины, которые снабжены креплениями к руке (ГОСТ 12.4.046-78). Для защиты от вибрации, передаваемой человеку через ноги, необходимо использовать обувь на толстой резиновой или войлочной подошве.

### **5.3. Анализ опасных, выявленных факторов на производстве**

#### **5.3.1. Подвижные части производственного оборудования**

Источниками механических опасностей являются движущиеся части агрегатов и механизированные устройства.

Согласно ГОСТ 12.2.009-80 опасной скоростью перемещения подвижных частей оборудования, способных травмировать ударом, является скорость более 0,15 м/с.

Движущиеся части оборудования представляют опасность травмирования рабочего в виде ушибов, порезов, переломов и др., которые могут привести к потере трудоспособности.

В соответствии с ГОСТ 12.2.003-74 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» движущие части производственного оборудования, если они являются источником опасности, должны быть ограждены, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением.

Одним из важных условий безопасного труда является недоступность подвижных частей оборудования, для рабочего, в ходе технологического процесса.

Для этого проводят следующие мероприятия:

1. Устанавливают защитные устройства (местные ограждения, крышки, кожуха и др.).

2. На наружной стороне ограждений наносят предупреждающий знак опасности по ГОСТ 12.4.026-76.

3. Устанавливают предохранительные и блокирующие устройства.

### **5.3.2. Электрический ток**

При обслуживании агрегатов для перекачки нефти существует опасность поражения электрическим током.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током при пробое изоляции, защиты от опасного искрения, статического электричества и опасных воздействий молнии на НПС выполняется комплексное защитное устройство, состоящее из нулевых защитных проводников, уравнивающих проводников и заземляющих проводников, заземлителей согласно ГОСТ Р 50571.3-94. Около пусковой электроаппаратуры приводных насосов должны находиться резиновый коврик, резиновые боты, резиновые перчатки.

## **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1. Пожароопасность**

Источником возникновения пожара, как правило, является загазованность насосных залов, маслосистем, появление постороннего шума в работающем агрегате, перегрев подшипников, разгерметизация торцевого уплотнения и его перегрев, попадание посторонних предметов в насосный агрегат, разгерметизация трубопроводов на всасе и выкиде, возгорание ремонтных и огневых работ в нефтенасосных, возгорание силового кабеля/кабелей оперативных цепей.

К профилактическим мероприятиям по предотвращению

возникновения пожара могут быть:

- проверка систем вентиляции нефтенасосных;
- проведение своевременного текущего обслуживания нефтеперекачивающих агрегатов;
- Сварочные агрегаты и слесарские электроинструменты, задействованные в производстве работ, должны оснащаться не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10;
- на рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”;
- горючие отходы, мусор и т. д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить;
- проверка автоматической системы пожаротушения насосной.

К первичным средствам пожаротушения, которые должны присутствовать на месте проведения работ, относятся:

- асбестовое полотно размеров 2×2 м – 2 шт.;
  - огнетушители порошковые ОП-10 – 10 шт., или углекислотные;
  - ОУ-10 – 10 штук или один огнетушитель ОП-100 (ОП-50 2 шт.);
  - лопаты – 2 шт.;
  - ведра – 2 шт.;
- топор, лом – по 1 шт.

Нормативные документы регулирующие пожарную безопасность на предприятии, осуществляющим строительные-монтажные работы являются: ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования», «СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений» и СНиП II-2-80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений».

#### **5.4.2. Взрывоопасность**

Взрывы происходят по разным причинам, чаще всего из-за загазованности рабочей зоны и пренебрежения техники безопасности.

При взрыве на предприятии возможны повреждения внутренних органов, разрыв кровеносных сосудов, барабанных перепонок, сотрясение мозга, переломы и травмы. Кроме того, ударная волна может отбросить человека на значительное расстояние и причинить ему при ударе о землю (или препятствие) различные повреждения.

Меры по предупреждению возникновения пожара на предприятии и способы повышения устойчивости объекта к данной чрезвычайной ситуации;

1. Применение оборудования на предприятии, рассчитанного на давление взрыва

2. Применение огнепреградителей, инертных или паровых завес;

3. Чтобы исключить взрыв пылевоздушных смесей не допускать значительное скопление пыли на предприятии благодаря правильному расчету и монтажу вентиляционных установок.

4. Использование систем для вывода из предаварийного состояния потенциально опасных технологических процессов при нарушении регламентных параметров (температуры, давления, состава, скорости);

5. Использование специальной сигнализации и оповещения об аварийных ситуациях производственного процесса

6. Соблюдение правил техники безопасности на пожаро-взрывоопасных производствах.

Нормативным документом, регламентирующим безопасность при взрыве на предприятии, является ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования

Для того чтобы обеспечить безопасность от пожаров и взрывов на предприятии сотрудникам предприятия необходимо использовать средства индивидуальной защиты (противогазы, респираторы) так же они обязаны

регулярно проходить инструктаж и быть ознакомлены с техникой пожарной безопасности на предприятии.

## **5.5. Экологическая безопасность**

Экологическая характеристика предприятия предполагает оценку прогрессивности технологии, полноту использования сырья и топлива, применяемые схемы очистки сточных вод и аэровыбросов, характеристику потоков отходящих потоков воды и газа, отчуждаемой территории, общую экономическую оценку ущерба, наносимого предприятием окружающей среде и детализацию этой оценки по видам продукции и технологическим переделам.

В таблице 5.8 представлены объекты окружающей среды, а также воздействие на эти объекты со стороны предприятия транспорта нефти, а также методы предотвращения данных негативных воздействий и способы борьбы с ними.

Действующее предприятие оказывает воздействие на все компоненты окружающей среды - на атмосферу, территорию, поверхностные и подземные воды. На вышепоименованные компоненты окружающей среды оказывают влияние:

- масса и виды выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ;
  - количество сбрасываемых сточных вод, их состав, степень очистки, условия сброса в водные объекты и параметры разбавления сточных вод;
  - степень загрязнения поверхности земель;
  - наименование и количество отходов, способы их удаления, складирования или утилизации.
- В процессе эксплуатации любой объект потребляет определенное количество чистой воды, а также сбрасывает очищенные или неочищенные

сточные воды в окружающую среду, что приводит к загрязнению поверхностных вод. В общем случае, источниками загрязнения поверхностных и подземных вод являются неочищенные или недостаточно очищенные производственные и бытовые сточные воды; поверхностный сток с промплощадок.

- При эксплуатации промышленных объектов особую актуальность приобретают вопросы удаления и складирования, а в дальнейшем утилизации и захоронения отходов производства. Промышленные отходы требуют для складирования не только значительных площадей, но и загрязняют вредными веществами, пылью, газообразными выделениями атмосферу, территорию, поверхностные и подземные воды.

Таблица 5.8

Объекты окружающей среды	Способы воздействия на окружающую среду со стороны предприятия	Способы предотвращения негативных воздействий на окружающую среду
1. Атмосфера	<p>1. Выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ и иных веществ</p> <p>2. Сжигание природного топлива, в результате использования рабочей техники и как следствие выброс большого количества углекислого газа в атмосферу</p> <p>3. Не полное удаление отходов производства имеющих в своем составе вредные газы и примеси</p>	<p>1. замена источников энергии на безвредные, изменение технологии производства</p> <p>2. Использование альтернативной техники, переход на полностью автоматизированное производство</p> <p>3. Использование отстойников, замена сырья на экологически чистое</p>
2. Водные ресурсы	<p>1. Сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади</p>	<p>1. Переход на безотходное производство, использование систем очистки коммуникационных сточных вод, применение фильтрующих колодцев</p>
3. Земельные ресурсы	<p>1. Загрязнение недр, почв</p> <p>2. Размещение отходов производства и потребления</p> <p>3. Изменение почвенного состава в результате возможного строительства (расширения предприятия)</p>	<p>1. Контроль за производственными операциями по удалению отходов производства, воспроизводство плодородного почвенного слоя, плановая уборка территорий предприятия.</p> <p>2. Рациональное уничтожение или захоронение отходов производства</p>

## **5.6. Правовые и организационные вопросы безопасности**

Способ работы на предприятии транспорта нефти – работа по смене. Возраст сотрудников составляет от 18 до 55 лет. Продолжительность работы персонала в одну смену составляет 8 часов. Способ оплаты труда- по часовым тарифным ставкам. Классификация условий труда ко 2 классу (допустимые условия труда). То есть условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими нормативами) условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).

Каждый работник предприятия должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты: спецодежда, защитные очки, защитная маска и перчатки. Сотрудники предприятия обязаны проходить плановый инструктаж по технике безопасности на предприятии и быть ознакомлены с нормативно-трудовой базой, а также нормативными документами, регулирующими деятельность данного предприятия. Работники предприятия обязаны иметь квалификацию, соответствующую виду выполняемых работ.

Основными нормативными документами предприятия являются:

*1. РД 153-39.4-113-01 «Нормы технологического проектирования магистральных трубопроводов».*

*2. ГОСТ Р 53675-2009 «Насосы нефтяные для магистральных трубопроводов. Общие требования».*

*3. СНиП III-42-80\* «Магистральные трубопроводы. Правила производства и приёмки работ».*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рынка нефтяных насосных установок показал, что большинство установок на данном этапе со временем могут столкнуться с целым рядом проблем, которые касаются вопросов надежности, экономической целесообразности и экологической безопасности.

В выпускной квалификационной работе был использован целый ряд, кардинально новых решений, которые в перспективе дадут возможность ему конкурировать на рынке с большинством современных установок. Данная работа показала, что использование профилированных упругодемпфирующих поверхностей в опорных агрегатах насосных установок повышает их технико-экономические характеристики, уменьшая шумовые и вибрационные характеристики, улучшая тем самым условия труда персонала, а также увеличивая межремонтный период.

При изготовлении профилированных упругодемпфирующих поверхностей используются отходы химической и металлургической промышленности. Рынок сбыта модернизированных установок насосных установок значительно возрастает, поскольку использование трибологических научных достижений, как доказано, значительно улучшает рабочие характеристики оборудования. В результате использования предложенных пар трения шумовые характеристики насоса удастся снизить на 15%, вибрационные характеристики на 20% и безремонтный период увеличится на 200%

Так же была рассмотрена промежуточная нефтеперекачивающая станция Стрежевской линейной производственно-диспетчерской станции.

Поскольку нефтеперекачивающая станция с неравномерной подачей нефти, то должна рассчитываться на восприятие резких колебаний давления нефти и в качестве повышения эффективности её работы предложена установка системы сброса ударной волны. С помощью предложенной системы

гашения ударной волны давления защита нефтепровода будет осуществляться отводом части нефти в безнапорную ёмкость, что позволит существенно снизить затраты на электроснабжение насосов, выплату штрафов и устранение разливов нефти, а также окажет положительное влияние на окружающую среду, так как практически будет исключена возможность разлива нефти.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Осадченков С.О. Проблемы нефтепроводного транспорта [Текст] / С. О. Осадченков, А.Г. Нестеренко // Трубопроводный транспорт нефти. – 2002. - №2. – С. 14-16. – Библиогр.: с. 2-3.
2. Пригожин, Ю.Я. Показатели качества магистральных нефтепроводов [Текст] / Ю. Я. Пригожин, О. П. Шавшин // Трубопроводный транспорт нефти. – 2003. - №4. – С. 12-16. – Библиогр.: с. 8-14.
3. Багосян, Р. С. О контроле качества трубопроводы АК «Транснефть» [Текст] / Р. С. Багосян, А. В. Арзиев, В. В. Базажи // Трубопроводный транспорт нефти. – 2004. - №11. – С. 14-15. – Библиогр.: с. 2-3.
4. Бухаленко Е.И. Справочник по нефтепромысловому оборудованию. – М.: Недра, 1983. - 399 с. 3.Вагапов С.Ю. Скважинные насосные установки для добычи нефти: Учеб. пособие / Ю.Г.Матвеева. – М.: Изд-во УГНТУ, 2003. - 166 с.
5. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования: Учеб. пособие для вузов / Л.Г. Чичеров, Г.В. Молчанов, А.М. Рабинович и др. – М.: Недра, 1987. - 422 с.
6. Бирюков, А. И., Князева Е. Г., Руденко А. А., Твердохлеб И. Б., Беккер Л. М. О способах эффективной эксплуатации магистральных насосов при переменных режимах работы нефтепровода // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. № 4 (12). с. 26–28.
7. Леванов И.Г. Методика расчета гидромеханических характеристик тяжело нагруженных подшипников скольжения поршневых и роторных машин, смазываемых неньютоновскими маслами // Вестник ЮУрГУ, Серия «Машиностроение». – 2011. – № 18. – С. 34–44.
8. Прокопьев В.Н., Задорожная Е.А., Караваев В.Г. и др. Совершенствование методики расчета тяжело нагруженных подшипников

скольжения, смазываемых неньютоновскими маслами. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 1 – С. 63–67.

9. Максимов В.А., Баткис Г.С. Трибология подшипников и уплотнений жидкостного трения высокоскоростных турбомашин. – Казань, ЭН, 1998–428 с.

10. Воскресенский В.А., Дьяков В.И. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.

11. Савин Л.А. Теоретические основы расчета и динамика подшипников скольжения с парожидкостной смазкой: Дисс... докт. техн. наук. – Орел, 1998. – 352 с

12. Гидростатические опоры роторов быстроходных машин / Н.П. Артеменко, А.И. Чайка, В.Н. Доценко и др. – Харьков: «Основа», 1992. – 198 с.

13. Крамин В.В., Лапшина Л.В. Конические газодинамические подшипники с винтовыми канавками // Создание компрессорных машин и установок, обеспечивающих интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса: Тез. докл. 8-ой Всесоюз. научно-техн. конф. – Сумы, 1989. – Ч.2. – М. – 1989. – С.28 – 29.

14. Исследование высокоскоростных гидростатических подшипников турбодетандерных агрегатов / Н.П. Артеменко // Отчет о НИР. Тема № 207–120/80. – 362 Харьков, 1980. – 40 с.

15. Промышленные испытания конических гидростатических подшипников в составе турбодетандерного агрегата / Н.П. Артеменко, В.К. Кривонос, А.И. Поддубный и др. // Исследование гидростатических опор и уплотнений двигателей летательных аппаратов: Сб. науч. тр. – Харьков: ХАИ, 1986. – Вып. 2. – С.3 – 6.

16. Корнеев А.Ю., Савин Л.А., Соломин О.В. Математическая модель неизотермического турбулентного течения смазочного материала в

конических опорах жидкостного трения // Вестник машиностроения, №7, 2005 – С.37 – 42.

17. Токарь И.Я. Проектирование и расчет опор трения. – М.: Машиностроение, 1971. – 168 с.

18. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1978. – 736 с.  
Кельзон А.С., Циманский Ю.П., Яковлев В.И. Динамика роторов в упругих опорах. – М.: Наука, 1982. – 280 с.

19. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.

20. Соломин О.В. Колебания и устойчивость роторов на подшипниках скольжения в условиях вскипания смазочного материала: Дисс. канд. техн. наук. – Орел, 2000. – 259 с.

21. Максимов В.А., Баткис Г.С. Высокоскоростные опоры скольжения гидродинамического трения. Казань: изд-во «Фэн», 2004. – 406 с.

22. Подшипники скольжения: расчет, проектирование, смазка / Типей Н., Константинеску В.Н. и др. – Бухарест: Изд-во АН РНР, 1964. – 458 с.

23. Савин Л.А., Соломин О.В. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 444 с.

24. Иванова Н.Г. Влияние сил инерции смазки на характеристики подшипников скольжения // Развитие гидродинамической теории смазки подшипников быстроходных машин: Сб. науч. тр. – М.: АН СССР, 1962. – С. 174 – 206.

25. Проблемы трения и смазки / Труды Американского общества инженеров-механиков (пер. с англ.), 1968 – 1975. – Сер.Ф. № 90 – 97.

26. Расчет характеристик высокоскоростных гидростатодинамических опор, смазываемых чистым шлицерином / Соломин О.В., Корнеев А.Ю. // Аэродинамика, механика и технологии авиастроения: Межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГТУ, 2001 – С. 69 – 78.

27. Программа расчета характеристик подшипников скольжения «Подшипник-криоген»: Информационный листок №53-040-02 / Л.А. Савин, О.В. Соломин, А.Ю. Корнеев и др. – Орел: ЦНТИ, 2002.
28. Позняк Э. Л. Колебания роторов // Вибрации в технике. В 6 т. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. М.: Машиностроение, 1980. С. 130 – 189.
29. Равикович Ю. А. Конструкции и проектирование подшипников скольжения агрегатов двигателей летательных аппаратов. М.: Изд. МАИ, 1995. – 58 с.
30. Эскин И.Д. Исследование обобщенных упруго-фрикционных характеристик демпферов и амортизаторов авиационных двигателей: дисс.канд.техн. наук. – Куйбышев: КуАИ, 1973. – 150 с.
31. Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. – М.: Физматгиз, 1960. – 193 с.
32. А.с. СССР № 665151 / Устройство для исследования упругофрикционных характеристик кольцевых демпферов сухого трения / Авторы: Пономарев Ю.К., Антипов В.А. Опубликовано 30.05.76. Бюлл. № 20.
33. А.с. СССР № 690350 / Способ определения упругофрикционных характеристик кольцевых демпферов сухого трения / Авторы: Пономарев Ю.К., Антипов В.А. Опубликовано 05.10.79. Бюлл. № 37.
34. Олимпиев В.И. Экспериментальное исследование вибрации роторов на подшипниках скольжения / Тр. ЦКТИ им. И.И.Ползунова. – Л.: Машиностроение, 1964, № 44, с. 97 – 108.
35. Кальменс В.Я. Исследование автоколебаний гибкого ротора на подшипниках скольжения / Сб.: Колебания валов на масляной пленке. – М.: Наука, 1968. – . 48– 61.
36. А.с. 649898 СССР, МКИ F 16C 17/08. Упругий самоустанавливающийся сегмент подшипника / Д.С. Коднир, Ю.И. Байбородов, А.В. Терещенко и др. Заявл. 22.12.76, опубл. 28.02.79.

37. А.с. 486156 СССР, МКИ F 16C 17/16. Опора скольжения со смазкой под давлением / А.И. Белоусов, А.Н. Брагин, В.Г. Воронин, В.В. Никулин. Заявл. 16.03.73, опубл. 29.12.75.
38. Экспериментальная установка и методика исследования динамических характеристик роторно-опорных узлов / О.В. Соломин, Д.Е. Устинов, А.Ю. Корнеев и др. // Вестник науки: Сб. науч. тр. ученых Орл. обл. – Орел: ОрелГТУ, 1998. – Вып. 4. – Т. 1. – С. 357 – 365.
39. Бузицкий В.Н., Сойфер А.М. Цельнометаллические упругодемпфирующие элементы, их изготовление и применение // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. КУйбышев: КуАИ, 1965. С. 259 – 266.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Обзор работ, посвященных проблематике эксплуатации нефтяных  
магистральных насосов

Overview of works devoted to the problems of oil trunk pump operation

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Фатеев Александр Вадимович		

Консультант кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.ТиПМ	Зиякаев Григорий Ракитович	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ИЯПР	Баранова Анастасия Викторовна			

## 1. The Arkron-1000 pressure regulator system.

Technical requirements.

The Grove pressure wave smoothing system, type Arkron 1000, is designed to protect oil pipelines from emerging pressure surge waves when the aggregates of pumping stations of main pipelines are disconnected. Part of the oil flow, at the same time, is discharged into a special non-pressure tank.

The system consists of several Flex-Flo valves, DN 300 mm, installed in parallel at each pump station, to control the rate of pressure increase in the range from 0.1 to 0.3 kg/cm<sup>2</sup> per second.

The system is designed to work with crude oil, which has the following characteristics:

- |  |  |
|--|--|
| - viscosity                            | from 0,05x10 <sup>-4</sup> to 1,0x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s |
| - specific gravity                     | from 0,7 to 0,9 t/m <sup>3</sup>                                     |
| - paraffin content                     | up to 7%   |
| - content of mechanical impurities     | max 0,06%  |
| - sulfur content in the non-free state | up to 6,5%   |
| - temperature                          | from -5 <sup>0</sup> C to +60 <sup>0</sup> C                         |
| - maximum pressure                     | up to 40 kg/cm <sup>2</sup>  |

Environment:

- a closed room with a temperature of -10<sup>0</sup>C to +40<sup>0</sup>C.

In the ambient air, the presence of oil vapors in an explosive concentration is permissible.

Reset is performed with a smooth maintenance of a constant rate of pressure increase in the protected pipeline. Before shutting down the pumping station units and at the end of the Grove Arkron 1000 system operation, there will be no leakage of oil from the receiving pipeline into the non-pressure tank. [16]

The performance of the wave smoothing system is evaluated according to the instructions of the manufacturing plants, in addition, the liquid level in the separation tank is monitored (the liquid level is considered acceptable if, at a pressure in the receiving pipeline below 1.5 MPa, antifreeze will flow from the open middle valve), and Also checking the serviceability of the oil relief valves and the retaining device, which ensures that the valve sleeves are pressed into the closed position.

#### Theory of functioning.

Each Flex-Flo valve consists of a cylindrical core containing a plurality of elongated parallel slots, on which a synthetic rubber chamber with a defined tension is stretched. Outside, it is surrounded by an air tank called a "casing". The casing is usually under pneumatic pressure.

If the pressure in the casing is less than the oil pressure at the outlet, then the oil stretches the elastic chamber to the maximum external limit of the casing, letting the oil flow through the slots of the core.

When the pressure in the casing rises, the chamber gradually approaches the core and the flow is throttled. When the pressure in the casing is equal to or greater than the oil pressure at the outlet, the chamber tightens the core and the oil discharge stops. [29]

In order to respond to the steepness of increasing the pressure of oil in the protective pipeline, the Flex-Flo valve casing is connected to the pneumatic side of the battery equipped with an elastic separation bubble. The other side of the battery contains the separation liquid, which is under the pressure of the oil pipeline (in the collector line).

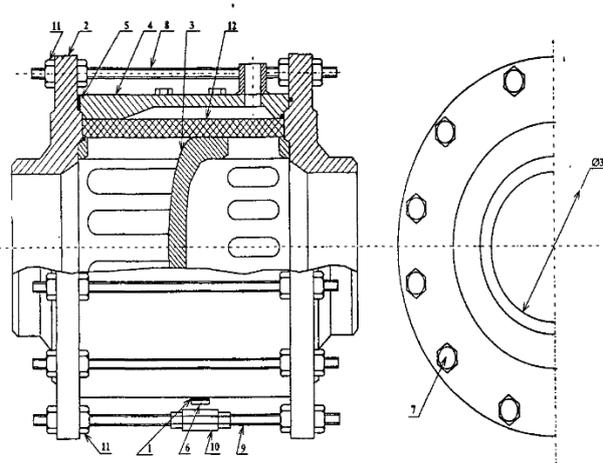


Figure 1 – Safety Valve Flex-Flo

1 – a ring lining of an inlet plug; 2 – cover; 3 – the core; 4 – housing; 5 – annular gasket; 6 – trigger plug; 7 – hairpin (775mm); 8 – hairpin (838mm); 9 – hairpin (419mm); 10 – coupling; 11 – the nut; 12 – the elastic chamber.

Under normal operating conditions, the battery is open to full oil pressure in the pipeline, allowing the transfer of line pressure directly to the gas in the Flex-Flo reactive valve housing. The valve remains closed.

The restrictor nozzle or throttling valve in the control circuit connects the oil pipeline to the accumulator, so that the pressure in the pipeline rises faster than the set speed, and the differential between the Flex-Flo valve inlet and the casing is sufficient to expand the throttling chamber.

A non-return valve installed in parallel with the throttling valve ensures a free flow of fluid back from the battery circuit.

Description of the equipment.

The system consists of several Flex-Flo DN 300 mm class 300 valves mounted on a block box with weld ends. Each tap is controlled by a separate air accumulator. The system includes one tank of separation fluid, a throttling valve

with a fluid reservoir, a pump and a collection of manifold pipes with valves and valves for overlapping settings.

The Flex-Flo pressure control valve consists of a core in which are located elongated slots, on which an elastic chamber is stretched. Around this chamber a hermetically sealed perimeter encloses a gas jacket called a "casing". The pressure difference between the casing and the liquid in the chain entails the expansion or contraction of the elastic chamber, passing or blocking the flow of oil.

The battery type of the mobile separator consists of a 150-liter cylindrical body containing a thin-walled bubble made of synthetic rubber. Mounted from above, this bubble is opened by its opening to the upper air side of the battery. The underside of the battery is the side of the separation liquid. With the inflow of fluid under pressure from the lower side, air is compressed and the elastic bubble decreases in volume. When the liquid leaves the battery, the expansion of air causes an increase in the bubble, the limit of which is the full volume of the body. The lower liquid window of the battery contains a large number of small holes inside it, forming a sieve-like device, which ensures easy penetration of the separation liquid. This device protects the separation bubble from rupture due to excessive stretching under pressure.

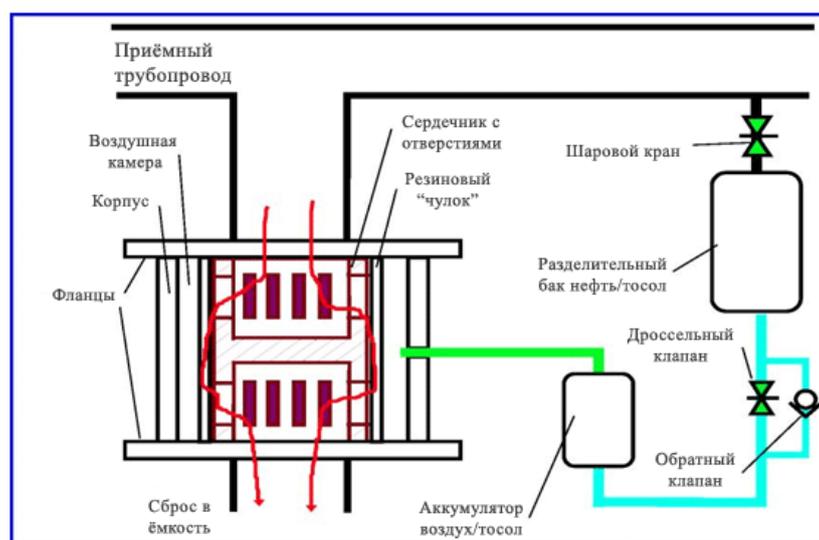


Figure 2 – Flow diagram of the Flex-Flo valve

The body of the separation tank is made of steel and has a capacity of 1480 liters. The separating tank is filled with antifreeze (ethylene glycol). This separating liquid has a higher specific gravity than oil. During the operation of the system, oil reaches the surface of ethylene glycol and, without mixing, "floats" on its surface. The difference in their specific weight contributes to this non-mixing. Batteries, as necessary, are fed by liquid through two special holes located on the underside of the tank. Mechanical impurities coming from the pipeline to the tank are deposited in the sediment bowl and are subject to periodic removal through a special hole mounted on the bottom. In the tank are installed valves for purging and checking the liquid level at different heights.

The valve with a rectangular flow hole serves as a throttle valve. The throttle valve body is equipped with two holes for connecting it to the control circuit of the system. One of the holes is connected to the separating tank, and the other one is connected to the bottom side of the battery. Adjustment of the restriction of a one-way flow of liquid from the separation tank to the battery is made with the help of a flywheel. This flywheel has a position indicator with a scale and graduation indicating the throughput. The numbers on the scale indicate the number of turns of the flywheel from zero (6.35 mm hole) to any position in 1/20 turn. The flywheel can be locked in any position.

The assembly consists of a pump, a reservoir and a four-way valve. The tank capacity 530 liters, the indicator of a level of a liquid of visual type is established. This device is used to determine the change in the liquid level according to the indices obtained before and after the test. Any change in the level in this tank is directly proportional to the volumetric changes in the batteries. The four-way valve can be rotated in such a way as to connect the separation fluid system to the pump (FILL) or to the tank (SPOT), as necessary.

Factory assembled pipe collectors for liquids and pneumatics consist of the appropriate sizes of pipes, fittings and overlap valves with the necessary manometers and check valves.

The electric pump is started up by pressing the button of the magnetic starter, which is mounted on the tank wall.

To remove air trapped in the liquid part of the batteries, temporarily close the valves on each battery in turn. Open the 1/4-inch plug on the lower coupling, then slowly open one of the ball valves until the liquid flows out of the screwdriver in the plug with a continuous jet. Close the 1/4 "plug and open the valves again. Open the valve of the separation tank, located on the control panel. Continue pumping oil.

Check the position of the switching valve on the "Separating tank". Then close the drain valves of the batteries.

To check the piping for leaks, start the pump and open the drain valve 30 closest to the tank. Then proceed to pumping the separating liquid, to about a pressure of 14 kg/cm<sup>2</sup>, according to the manometer.

Stop the pump, allowing the system to stabilize for 15 minutes, adjusting the pressure, if necessary.

Check all fluid connections of pipes and fittings for leaks.

Compare the pressure readings on both manometers. Their indicators should be the same. Adjust the calibration if necessary. Track the system pressure for one hour, recording the pressure gauge reading every 15 minutes.

Check the pneumatic part of the system for leakage in the following order:

A) check the following sealed connections using a liquid soap solution: pipe fittings; Valves and valves, including covers; Hose connections of batteries;

B) to visually inspect all tubes to detect possible damage during shipment or installation;

C) The battery. In case no leakage is detected, all the batteries can be checked as follows: close the valves, open the valve of the battery to be tested by turning the valve handle up to the "release" position to drain the liquid. Start the test with the

battery closest to the fluid reservoir. Since the liquid then descends back to the reservoir, it should be ensured that the reservoir is not overfilled. If the level of the liquid in the tank is higher than necessary, then connect a hose to the ½ "hole on the valve, which is normally damped, and drain the liquid from the tank to the desired level using a pump for this purpose. If liquid removal from the system is not desirable, then, by closing the valve on the battery under test and opening the remaining valves on the other batteries, pump the liquid from the tank into them. Do not exceed the pressure above 21 kg / cm<sup>2</sup>. Close all valves. After emptying the battery under test, unscrew the plug valve located opposite the drain valve. Covering the formed hole with soap foam, check the inner bubble of the battery for air leakage. At the end of this check, put the screwed plug in place and close the valve. Go to the next battery. In this case, if the excess antifreeze was added to the remaining batteries, open all the valves to redistribute the fluid before proceeding to test the next battery.

Check for leaks of all external connections of the Flex-Flo valve with a soap solution.

If the system leaks, losing pressure, and no leakage is detected by the tests described above, then it should be concluded that the leakage occurs at the inlet or outlet pipes.

If leaks are found or damaged parts are found, replace the part with a defect from the available spare parts. Switch the valve to the "down" position and open all the valves and any of the valves in order to transfer the liquid to the tank.

## **2. The use of rolling bearings in large-sized support assemblies**

The use of rolling bearings in bearing units significantly increases the already bulky dimensions and mass of the equipment. In addition, rolling bearings have such disadvantages as vibration activity, abrupt friction of rolling elements with significant heat generation, lowering of durability, reliability, limitation of damping ability, there is axial displacement during assembly due to the

absence of a joint of the axial plane and other disadvantages which in a number Cases limit the possibilities of their application. [8]

In large-sized support units with high speeds, spindle mechanisms of metal-working equipment use modernized support units with controlled loading (Figure 3).

The considered support (figure 3) is a half-shell (figure), oriented with the help of pins on a sliding fit.

At the joints between the liners there is a guaranteed gap. The top liner contacts the diaphragm 6, and the bottom 3 is fixed in the body. The radial movement of the upper liner 4 is limited to a spring-loaded diaphragm 6. The support is technological in manufacture, installation and disassembly.

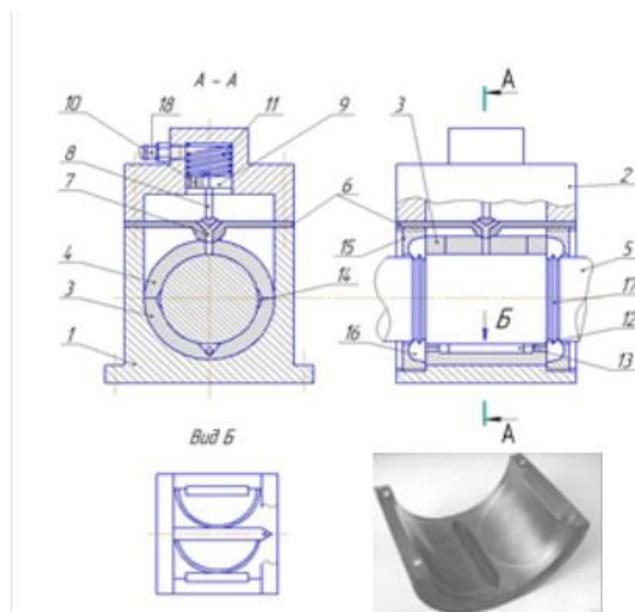


Figure 3 – Support with controlled loading

1 – housing; 2 – support cover; 3 – the liner-bushing; 4 – loading movable insert; 5 – shaft; 6 – membrane; 7 – connecting holes; 8 – stem; 9 – the piston; 10 – calibration holes; 11 – a spring; 12 – fridge-groove; 13 – connecting holes from the drain reservoir of the lubricant for feeding the bearing zone through the fridge-groove; 14 – refrigerators; 15 – the nut; 16 – grease draining capacity; 17 – grease-discontinuous sharp grooves; 18 – choke

Runs support follows. Lubricating fluids that constant pressure from the power source through the fitting 18, the calibrated holes 10 in the piston 9, the cavity above the diaphragm, the connection holes 7 is fed into the upper zone unloaded between the insert 4 and the mandrel 5. By rotating the spindle lubricant through the hole 7 and is interested in the forces of left pocket hydrodynamic pressure is distributed loaded support surface and fills the right pocket 12 and the refrigerator 14 and the spindle rotation direction 5. Then, along the shaped grooves directed to the middle of the liner, the lubricating medium circulates due to the forces of the hydrodynamic effect. [17]

Because of the frequent changes in the operating mode of the spindle 5, under the action of variable rotational speed, cyclic loading, the temperature field, the axis of the spindle tends to occupy an unstable position, as the eccentricity is beyond tolerances, accompanied vibration activity. This causes an instantaneous change, i.e., an increase in the outflow of the lubricating medium from the carrier zone, which leads to a sudden change in the pressure of the lubricating medium in the cavity above and below the piston 9. Since the calibrated holes are instantly balanced due to the limited cross-section, 9, a spherical protrusion loads the upper bearing 4, preventing unbalanced position and aligning spindle axis 5. Such a controlled loading prevents and eliminates vibration activity in whole rotating mechanism, of wear and destruction. After such instantaneous loading spindle 5 is included in the stable operation and the piston, overcoming the pressure difference by the spring takes its estimated position.

Because of the frequent changes in the operating mode of the spindle 5, under the action of variable rotational speed, cyclic loading, the temperature field, the axis of the spindle tends to occupy an unstable position, as the eccentricity is beyond tolerances, accompanied vibration activity. This causes an instantaneous change, i.e., an increase in the outflow of the lubricating medium from the carrier zone, which leads to a sudden change in the pressure of the lubricating medium in the cavity above and below the piston 9. Since the calibrated holes are instantly balanced

due to the limited cross-section, 9, a spherical protrusion loads the upper bearing 4, preventing unbalanced position and aligning spindle axis 5. Such a controlled loading prevents and eliminates vibration activity in whole rotating mechanism, of wear and destruction. After such instantaneous loading spindle 5 is included in the stable operation and the piston, overcoming the pressure difference by the spring takes its estimated position. And since the spindle 5 operates in an alternating mode, automatic adjustment of the gap and a stable position of its axis are always maintained within the optimal eccentricity. The lubricating film flowing out of the ends of the support is torn on the sharp edges 17 made as recesses on the spindle 5. Under the centrifugal force of the spindle 5, the lubricant is thrown onto the walls of the settler 16 through which it flows through the calibrated opening 13 into the lower pocket refrigerator 12, Providing circulation movement. Whence, on the shaped grooves on the working surface of the liner, it is pumped out at the expense of the rarefied pressure behind the carrier zone. The design of the settling tanks 16 allows to retain various solid deposits and contamination of the lubricant, preventing the exhausted particles from entering the bearing support zone. The rotating spindle picks up the lubricating medium from the pocket cooler 12, providing a circulating process and constant support of the hydrodynamic operation mode of the support. At the same time, the gap is not impoverished by the lubricating medium at all operating modes of the support, as the spindle constantly pumps and pumps lubricant out of the left and right pockets of the refrigerators 12 and 14. The excess lubricant flows into the hydraulic system sump through the nuts of the nuts 15. [17]

The load-bearing capacity and rigidity of the lubricating layer is increased due to the automatic adjustment of the thickness and self-stabilization of the loading of the spindle.

In the gap zone, a constant optimum temperature is maintained - due to the fact that in the working gap there is a circulation of the lubricating medium, which is provided, on the one hand, by its pumping into the refrigerators - the pockets by the hydrodynamic effect when the spindle rotates, and, on the other hand, by

pumping it out Refrigerators - pockets. Lubrication, flowing from the ends of the support through the spindle and liners, carries with it excess heat generated as a result of hydrodynamic friction in the working area of the support.

### **3. Application of sliding bearings with controlled voltage**

The noisiness of the support is reduced by ensuring smooth operation. This is a consequence of the convergence of load-bearing working surfaces of the inserts during the change in the operating mode of the support, wear of the liner surfaces during the start-up and stopping of the support unit, that is, the thickness of the lubricating layer is automatically controlled. The most noticeable positive effect is a self-adjusting adjusting hydrodynamic effect, which suppresses vibration-vibration activity by automatically loading the upper liner freely matched with the surface of the membrane. [23; 27]

The use of modernized sliding bearings with controlled loading in ship assemblies has removed a number of problems in terms of vibro-acoustic effect, durability, reliability, etc.

Figure 4 shows an embodiment of intermediate support bearings with automatic loading. A device for filling the working surfaces of the liners with antifriction material has been developed and patented for the manufacture of lower liners with micro-profiled bearing surfaces and also with resiliently damping bearing zones.

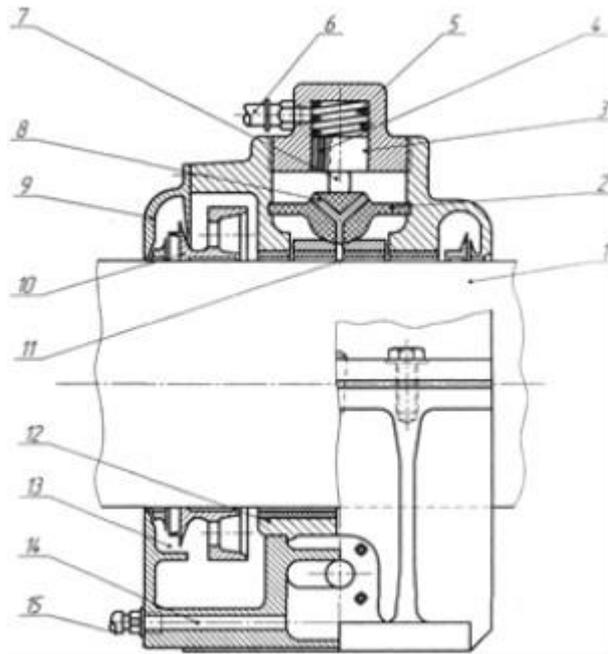


Figure 4 – Version of the intermediate bearing with automatic immersion

1 – an intermediate shaft, 2 – a membrane, 3 – the piston; 4 – calibrated orifice-throttles, 5 – spring; 6 – fitting; 7 – stem, 8 – connecting holes; 9 – cover, 10 – grease-resistant ring; 11 – movable liner, 12 – bearing, 13 – capacity, 14 – drain hole; 15 – fitting.

The development of ultrasonic technology has made it possible to solve a complex of problems connected both with the creation of new composite materials with wasteless technology, and with a qualitative control of the density, hardness, and structural surface layer of the material of the liners of supporting units. This is one of the methods that provides resource-saving and material-saving technology.

For these purposes, a chill device has been developed, which is implemented and widely used at Yuzhelektromash.

A feature of the proposed restoration of worn out liners is the transition to a chill molding method of antifriction material by using the method of directed ultrasonic action on the process of crystallization of babbitt, resulting in a significant increase in the quality and accuracy of the execution surfaces, reducing the overall labor intensity and cost of machining the restored support units.

The principle of the device is based on the penetration of flows into the boundary layer of molten metal without loss of acoustic energy in the thickness of the chill mold. This is due to the fact that in this case the acoustic energy passes through the thickness of the chill, and bypassing it, falls into the places of the protrusions contacting the magnetostrictive transducer directly on a thin metal plate. As a result, the controlled concentrated energy of the distributed power is transferred to the melt in the form of controlled acoustic vibrations. This leads to a sharp increase in the growth of crystals of the chemical compounds of the components in the zones of thickening of the plate.

And since the crystals of the  $\beta$ -phase (Fig. 5) essentially differ in size, concentration, arrangement and structure of the working surface of the liner, these zones respectively differ in both microhardness and internal stresses. This property of babbitt crystals allows the technological working methods to obtain the working surfaces of inserts of a given intensity, shape and size. [23; 25] And since the surface relief can be set to any, the process of restoring the worn working surface of not only the liner but also any part of the machine becomes manageable.

Application of the proposed chill casting method, using ultrasonic technology, allows to obtain bearing surfaces of liners with given structural and tribotechnical characteristics. This reduces the wear of the loaded surfaces, which predetermines one of the main criteria of reliability and durability. In addition, this technique has become not only acceptable in solving the problem of machine longevity, but also the only one applicable when solving the problem of longevity of machines whose aggregate supports are subject to active destruction due to work in corrosive environments: sea water, dyes, acid, etc.

In the process of operation of such support units, self-regulation of the optimum sizes of lubrication flows and redistribution of maximum hydrodynamic pressures occur.

The die-casting device (Fig. 5) is able to ensure not only the non-waste production of the bearing surfaces of the parts, but also to achieve the given geometry. [23]



Figure 5 – Microstructure of Babbitt's thin section B16 (1: 500)

on the left - crystallized under the influence of ultrasound; on the right - not exposed to ultrasound.

A feature of the device (Figure 6) is that it is equipped with a removable plate of variable cross-section, profiled from the side of the connection with the magnetostrictive converter. The outer side of the plate corresponds to the shape of the working surface to be obtained. [23]

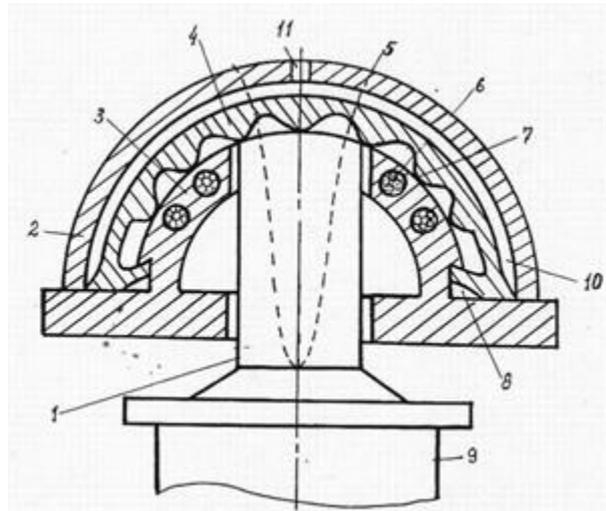


Figure 6 – Chiller for filling large-sized liners of supporting units

- 1 – magnetostrictor; 2 – case of the liner; 3 – chill mold; 4 – profiled metal plate;  
5 – directed acoustic vibrations; 6 – heating elements; 7 – profiled projections; 8  
– locks; 9 – ultrasonic generator; 10 – working space; 11 – hole for pouring.