

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

---

Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование  
Профиль подготовки Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов  
Отделение «нефтегазового дела»

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Крутильные колебания вала центробежного насоса при переходных процессах</b>

УДК 621.671-233.14.534.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е41	Кузнецов Николай Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Томилин Александр Константинович	д.ф.-м.н., проф.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле Александр Владимирович	к.м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Брусник Олег Владимирович	к.п.н.		

Запланированные результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки оборудования нефтяных и газовых промыслов.	Требования ФГОС (ПК-19, ПК-20, ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий нефтегазового производства для решения междисциплинарных инженерных задач.	Требования ФГОС (ПК-16, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.2, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой и эксплуатацией нефтегазопромыслового оборудования, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов нефтегазового производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3; ПК-10; ОК-2, ОК -6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2; п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование нефтяных и газовых промыслов, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6; ПК-9;
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий нефтегазового производства.	ПК -23, ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.3; п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать нефтегазопромысловое	Требования ФГОС (ПК-19; ПК-20; ПК-21, ПК-24, ОК-6; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.

	оборудование, обеспечивать его высокую эффективность работы, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на нефтегазовом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	5.2.4; п. 5.2.6; п. 5.2.7), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>Универсальные компетенции</b>		
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.12), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-9; ПК-7, ПК-25), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2; п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-5; ОК-Ю; ПК-6, ПК-17, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.	Требования ФГОС (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4, п. 5.2.5; п. 5.2.12), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.6; п. 5.2.15), согласованный с требованиями

		международных стандартов EUR-ACE и FEANI
--	--	---

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

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
 Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Брусник О.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Е41	Кузнецов Николай Сергеевич

Тема работы:

Крутильные колебания вала центробежного насоса при переходных процессах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 10.01.2018 №34/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<i>Объектом разработки является центробежный насос, работающий в условиях переходных процессов, в результате которых возникают силы инерции вызывающие крутильные колебания вала.</i>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание, характеристики и назначение центробежных насосов.</li> <li>2. Анализ динамики вала ЦН при разгоне двигателя.</li> <li>3. Анализ крутильных колебаний вала центробежного насоса, возникающие за счет изменения свойств жидкости.</li> <li>4. Финансовый менеджмент.</li> <li>5. Социальная ответственность.</li> <li>6. Выводы по работе.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	

<i>(если необходимо, с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Наталья Владимировна
Социальная ответственность	Штейнле Александр Владимирович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
-	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	22.01.2018
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Томилин Александр Константинович	д.ф.-м.н., проф.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е41	Кузнецов Николай Сергеевич		

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

Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование  
 Профиль подготовки Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов  
 Отделение «нефтегазового дела»  
 Уровень образования: Бакалавриат  
 Период выполнения: (весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

<b>БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА</b>
----------------------------

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19-20.06.2018 г.
--	------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.02.18	<i>Теоретическая часть работы</i>	10
8.03.18	<i>Расчет вала ЦН при разгоне двигателя</i>	20
22.03.18	<i>Расчет вала ЦН при смене свойств жидкости</i>	15
12.04.18	<i>Расчет крутильных колебаний вала</i>	15
26.04.18	<i>Выполнение части финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение</i>	10
10.05.18	<i>Выполнение части социальная ответственность</i>	10
24.05.18	<i>Проведение выводов о работе</i>	15
7.06.18	<i>Устранение недочетов в работе</i>	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Томилин Александр Константинович	д.ф.-м.н., проф.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

## Реферат

Дипломная работа включает в себя: 95 страниц, 26 рисунков, 14 таблиц, 31 источник.

Ключевые слова: центробежный насос (ЦН), колебания, собственные колебания, вал, крутильные колебания, переходный процесс, разгон, кавитация, смена свойств жидкости, рабочее колесо (РК).

Объектом исследования является центробежный насос, работающий в условиях переходных процессов.

Цель работы: определение частот и амплитудных функций собственных крутильных колебаний вала при некоторых типах переходных процессов.

Задачи исследования:

- проанализировать работу насоса Д200-36, определить источники возникновения переходных процессов;
- составить уравнения движения вала центробежного насоса, при некоторых переходных процессах;
- определить собственные частоты крутильных колебаний вала.

Результатом проведенной работы является:

1. Определены собственные частоты и амплитудные функции крутильных колебаний вала при разгоне.
2. Один из возможных переходных процессов связан с возникновением кавитации жидкости. Это приводит к изменению момента инерции рабочего колеса, заполненного жидкостью, и возникновению крутильных колебаний вала.
3. Полученные результаты можно использовать при расчете прочности и долговечности вала центробежного насоса.
4. Показано, что резкое изменение свойств жидкости вызывает крутильные колебания с большей амплитудой по сравнению с переходным процессом

разгона двигателя. Следовательно, в случае перекачивания жидкости с изменяющимися свойствами ресурс долговечности вала понижается.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016, в программе Компас3D.

### **Нормативные ссылки**

В данной выпускной квалификационной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 27409-97. Нормирование шумовых характеристик стационарного обо-рудования.

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требо-вания безопасности.

ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.011-78 ССБТ. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний.

ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

ГОСТ Р 51330.3-99. Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением р.

ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения.

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ Р 51364-99. Аппараты воздушного охлаждения, Общие технические условия.

РД 153–39.4–074–01 «Инструкция по ликвидации аварий и повреждений на подводных переходах магистральных нефтетрубопроводов»

ПОТ РМ-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (с изменениями и дополнениями).

СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Госстрой России, 1997. – с. 12.

СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.

СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.

СНиП 3.05.07-85. Системы автоматизации.

СНиП 2.05.06-85\*. «Магистральные трубопроводы».

СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты внутренних противопожарный водопровод требования пожарной безопасности.

СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

СН 433-71, ВНТП 01-81. Нормы технологического проектирования.

СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

### **Список обозначений:**

РК – рабочее колесо;

ЦН – центробежный насос;

НТИ – научно-техническое исследование;

ССБТ – система стандартов безопасности труда;

S1 – длительный режим работы;

S2 – кратковременный режим работы;

S3 – периодический повторно-кратковременный режим работы;

S9 – режим с неперiodическими изменениями нагрузки и частоты вращения электродвигателя;

$n$  – скорость вращения ротора;

$n_s$  – коэффициент быстроходности;

$J_0$  – момент инерции стержня;

$J_\phi$  – момент инерции диска;

$J_{IP}$  – момент инерции привода;

$J_{ДВ}$  – момент инерции ротора двигателя;

$J_{вал}$  – момент инерции вала;

$J_{PK}$  – момент инерции рабочего колеса без жидкости;

$J_{ж}$  – момент инерции жидкости в объеме рабочего колеса;

$J_{0д}$  – суммарный момент инерции жидкости и рабочего колеса насоса;

$J_p$  – полярный момент инерции поперечного сечения вала;

$M_J$  – момент сил инерции;

$M_{\text{сопр.}}$  – момент сил сопротивления;

$M_{\text{вр}}$  – вращающий момент двигателя;

$\omega(t)$  – функция угловой скорости;

$\alpha$  – константа, характеризующая степень возрастания или убывания момента инерции в результате изменения плотности жидкости;

$\beta_0$  – коэффициент сопротивления жидкости в отсутствие кавитации;

$t$  – время смены жидкости РК;

$\Delta\omega$  – изменение угловой скорости;

$t_{\text{П}}$  – время разгона привода;

$G$  – крутильная жесткость;

$\varepsilon$  – угловое ускорение;

$a$  – скорость распространения крутильных возмущений;

$\Phi_i(z)$  – собственные амплитудные функции;

$q_i(t)$  – обобщённые координаты;

$p_i$  – собственные частоты;

$\lambda$  – волновое число;

$R$  – внешний радиус рабочего колеса;

$r_1$  – посадочный радиус колеса на вал;

$r_2$  – радиус проточной части рабочего колеса;

$\rho_{\text{сч}}$  – плотность материала колеса СЧ20;

$\omega_0$  – угловая скорость установившегося режима;

$l$  – длина вала насоса;

$m_{pk}$  – масса рабочего колеса;

$m_{жс}$  – масса жидкости в рабочем колесе;

$A$  – площадь поперечного сечения вала;

$m_{вал}$  – масса вала;

$\omega_{неод}$  – угловая скорость после возникновения кавитации;

$\lambda_1$  – основное волновое число;

$p_1$  – основная собственная частота колебаний вала.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	16
1 Обзор литературы .....	17
2 Описание, характеристики и назначение центробежных насосов.....	20
2.1 Классификация центробежных насосов .....	21
2.2 Принцип действия ЦН .....	24
2.3 Устройство и принцип действия насоса типа Д .....	25
3 Динамика вала ЦН при разгоне двигателя .....	28
3.1 Дифференциальное уравнение вращения вала .....	28
3.2 Крутильные колебания вала.....	30
3.3 Численный расчёт .....	32
4 Крутильные колебания вала центробежного насоса, возникающие за счет изменения свойств жидкости.....	40
4.1 Вращение вала с переменным моментом инерции.....	42
4.2 Крутильные колебания вала с диском переменного момента инерции	47
4.3 Численный расчет .....	49
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	55
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	57
5.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	62
5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	68
5.4 Определение ресурсоэффективности проекта .....	71
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	73
6.1 Производственная безопасность .....	75

6.2 Анализ вредных факторов.....	76
6.3 Анализ опасных факторов.....	82
6.4 Защита окружающей среды .....	85
6.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий .....	87
Заключение .....	92
Список использованных источников: .....	93

## **ВВЕДЕНИЕ**

Центробежные насосы представляют собой наиболее распространенный тип машин, применяемый для перекачки жидкости. Они имеют ряд преимуществ такие, как: простота конструкции, небольшие размеры, низкая стоимость и широкий диапазон регулировки подачи [1].

В насосе благодаря вращению привода механическая энергия воздействия лопастей рабочего колеса на жидкость преобразуется в кинетическую энергию потока. Таким образом в центробежном насосе движение жидкости имеет в области рабочего колеса радиальное направление и перемещается в поле действия центробежных сил.

Центробежный насос относится к динамическим машинам и работает при высоких угловых скоростях. Это вызывает появление негативные явления. Знание особенностей процессов, возникающих при работе насоса, и их влияние на части агрегата, позволяет сократить количество отказов и точнее спрогнозировать время бесперебойной работы.

### **Актуальность**

При проектировании центробежных насосов, возникает проблема расчета прочности вала и его долговечности. На это влияет множество различных факторов, один из них связан с переходными процессами, при которых возникают моменты, вызывающие крутильные деформации и колебания вала. В связи с этим изучение крутильных колебаний вала представляется актуальной научно-технической задачей.

### **Цель**

Целью исследования является определение частот и амплитудных функций собственных крутильных колебаний вала при некоторых типах переходных процессов.

## 1 Обзор литературы

Приведем обзор научной и учебно-методической литературы по тематике исследования. Схема устройства, принцип действия, физические явления лежащие в основе работы и особенности конструкции центробежного насоса приведены в публикациях [1-3]. Особо значимыми представляются следующие труды известных ученых и конструкторов: А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко «Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование» [1], В.А. Зимницкий и В.А. Умов «Лопастные насосы. Справочник» [2], Е.В. Сошников, О.В. Акимов «Центробежные насосы. Испытание насосов» [3].

Изучены также работы по схожей тематике. Например, в монографии Б.М. Елисеева «Расчет деталей центробежных насосов» [4] проанализированы конструктивные особенности исполнения рабочих колес и проточных частей корпуса насоса, влияние конструкции на колебания вала, а также характеристики и процессы, влияющие на прочность и выносливость вала. А также, изложены современные технические решения, рекомендуемые к конструкции вала и рабочего колеса. Проанализированы воздействия на вал ЦН и срок его эксплуатации. Определена наибольшая опасность – воздействия возникающих вынуждающих колебаний, вследствие чего возможно возникновение резонансных эффектов и усталостного разрушения.

В книге М.Д. Айзенштейна «Центробежные насосы для нефтяной промышленности» [5] и В.Я. Карелин «Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах» [6] описаны источники возникновения кавитации, действия по уменьшению влияния этого явления и внешние воздействия на поверхность рабочего колеса от этого воздействия. Определена наибольшая опасность воздействия кавитации и необходимость создания подпора или контроль допустимой высоты всасывания.

Методы и средства вибродиагностики машин и механизмов подробно изучены в трудах В.В. Клюева «Неразрушающий контроль» том 7 [7]. Особое

внимание уделено вопросам анализа вибродиагностики узлов и механизмов: подшипников, валов, турбин, зубчатых передач, насосов и электрических машин. Проанализированы источники возникновения вибраций, форма и частота колебаний, влияющих на износ частей механизма.

Для анализа и расчета собственных крутильных колебаний вала центробежного насоса возникает необходимость составления и исследования дифференциальных уравнений движения системы. Теоретические основы колебаний упругих систем изложены в учебниках: В.Л. Бидерман «Прикладная теория механических колебаний» [8], В.Л. Бидерман «Теория механических колебаний» [9] и Н.И. Левитский. «Колебания в механизмах» [10]. В них проанализированы колебания стержней с распределенной массой. Задача об определении собственных частот и форм колебаний решается традиционными приемами, приводящих к алгебраическому частотному уравнению.

В ходе анализа дифференциальных уравнений и выполнения математических преобразований использовался справочник: Г.Б. Двайт «Таблицы интегралов и другие математические формулы» [11]. Он содержит подробные таблицы интегралов, а также большое число математических формул: разложения в ряды, тригонометрические и другие тождества, справочные материалы по специальным функциям.

Для моделирования колебательной системы и процессов, происходящих в ней, использована книга: Ф.М. Диментберг, К.Т. Шаталов и А.А. Гусаров «Колебания машин» [12]. При теоретическом анализе рассматриваются не сами реальные части машин и механизмов, а некоторые идеализированные схемы, отображающие основные свойства частей машин и механизмов с большей или меньшей точностью. Такая схематизация совершенно необходима, так как она дает возможность применить к изучению этих объектов законы механики и методы технического анализа. Вопросы, освещенные в книге, рассмотрены в основном относятся к линейным колебаниям, для чего использован элементарный аппарат механики – уравнения Лагранжа 2-го рода для упругих

систем. В связи с этим даны краткие сведения об обобщенных координатах и обобщенных силах, о принципе Даламбера и о дифференциальных уравнениях Лагранжа 2-го рода.

В статье В.М. Логиновских, Д.А. Черданцова и С.П. Пирогова «Исследование крутильных колебаний валов насосных агрегатов» [13], опубликованной в трудах Всероссийской научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт углеводородов», используется слишком грубое приближение, не учитываются свойства вала, движение системы определяется с одной степенью свободы.

Задачей инженера является расчет безаварийного режима работы и ресурса долговечности механизма. Такая тема поднимается в статье М.А. Викулова, Н.П. Овчинникова «Динамический расчет ротора насоса» [14]. В этой работе постановка задачи максимально приближена к реальной работе и исследуются собственные колебания ротора, закрепленного в упругих опорах, с учетом присоединенной массы воды в рабочем колесе.

Такая же постановка вопроса содержится в статье: М.М. Закирничная, Т.Ф. Халитов «Использование высокочастотных составляющих спектра колебаний центробежного насоса для выявления трещин вала в процессе эксплуатации» [15]. В данной работе определяются дополнительные диагностические признаки усталостной поперечной трещины на валу роторной системы центробежного насоса на основе спектрального анализа вибросигнала в высокочастотном диапазоне. Проведен анализ роторной системы без дефектов и при наличии поперечной трещины, по результатам которого определен характер влияния глубины и местоположения трещины на собственные частоты системы.

## 2 Описание, характеристики и назначение центробежных насосов

Для приведения в движение центробежного насоса и других механизмов применяют электродвигатели. Для каждого механизма и его особенностей работы определены свои режимы работы, и исходя из этих условий осуществляете подбор электродвигателя. Во всем множестве режимов работы (**S1- S9**) по ГОСТу выделяют 3 основных вида: **S1, S2, S3**; остальные лишь детализируют частные случаи движения, в зависимости от особенностей работы и возникающих при этом процессах [20].

Режим работы электродвигателя центробежного насоса приближен к **S9** - Режим с неперiodическими изменениями нагрузки и частоты вращения электродвигателя.

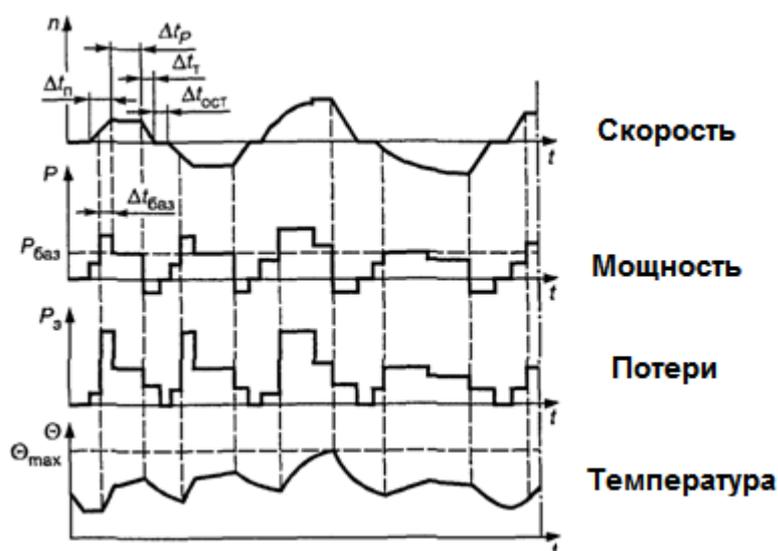


Рисунок 1 – График работы электродвигателя в режиме S9

Режим с неперiodическими изменениями нагрузки и частоты вращения (типовой режим S9) - режим работы, при котором нагрузка и частота вращения обычно изменяются по не перiodическому закону в пределах допустимого рабочего диапазона. Этот режим часто включает перегрузки, которые могут значительно превышать полную нагрузку (или полные нагрузки).

## 2.1 Классификация центробежных насосов

Для центробежных насосов выделяют несколько принципиальных схем [3-5].

Одноступенчатые центробежные насосы в вертикальном или горизонтальном исполнении (рисунок 2) – горизонтальное расположение вала (классический вариант исполнения), вертикальное расположение вала (характеризуется минимальным размером монтажной площадки).



Рисунок 2 – Центробежный насос с вертикальным и горизонтальным расположением рабочего колеса.

Многоступенчатые центробежные насосы (рисунок 3) – в корпусе насоса не одно, а несколько рабочих колес, такая конструкция позволяет получить значительно более высокие значения напора, перекачиваемой жидкости на выходе из насоса, производятся в вертикальном и горизонтальном исполнении.

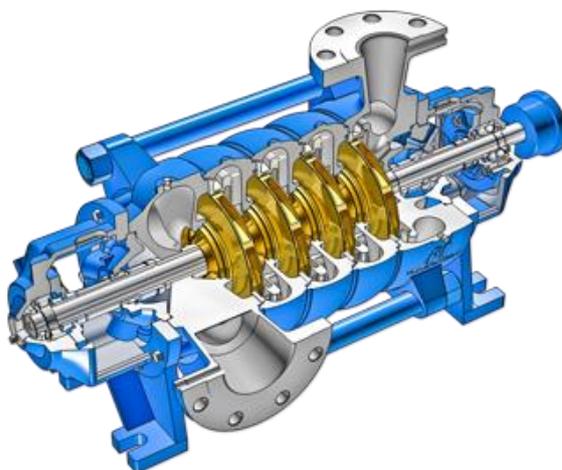


Рисунок 3 – Многоступенчатый центробежный насос

Полупогружные центробежные насосы (рисунок 4) – вертикальное исполнение насоса, при котором улитка и часть корпуса погружается в перекачиваемую среду, используется для установки в приямках.



Рисунок 4 – Полупогружной центробежный насос

Погружные центробежные насосы (рисунок 5) – исполнение, при котором насос и двигатель соединены в едином герметичном корпусе, насос на цепи погружается в перекачиваемую среду полностью, используется для откачки жидкостей из приямков и дренажных колодцев.



Рисунок 5 – Погружной центробежный насос

Центробежные насосы двустороннего входа с корпусом типа "in-line" (рисунок 6) - насосы, у которых всасывающий и нагнетательный патрубки находятся на одной оси, производятся в горизонтальном и вертикальном исполнении.



Рисунок 6 – Центробежный насос типа "in-line" с вертикальным и горизонтальным расположением рабочего колеса

Герметичные центробежные насосы (рисунок 7) – производятся с герметичной конструкцией корпуса, бывают двух вариантов исполнения, в первом, рабочее колесо насоса крепится на валу двигателя, во втором – насос соединен с двигателем посредством магнитной муфты, в обоих случаях корпус насоса абсолютно герметичен и возможные утечки перекачиваемой среды исключены, насосы данного типа в основном применяются на химических предприятиях для перекачки химически ядовитых, опасных, токсичных и легколетучих жидкостей.

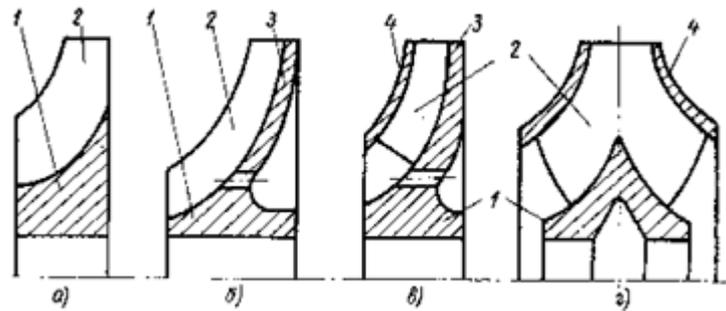


Рисунок 7 – Герметичный центробежный насос

Также насосы классифицируют [2]:

1. По конструкции рабочего колеса
  - Открытого типа (*a*)
  - Полуоткрытого типа (*б*)

- Закрытого типа (в)
- С двухсторонним входом (з)



1 - втулка; 2 - лопатка; 3 - несущий диск; 4 - покрывающий диск

Рисунок 8 – Типы конструкций рабочего колеса

## 2. По коэффициенту быстроходности

- Тихоходные  $n_s=50-80$
- Средней быстроходности  $n_s=80-150$
- Быстроходные  $n_s=150-350$
- Диагональные  $n_s=250-600$
- Осевые насосы  $n_s=400-1000$
- ОН повышенной быстроходности  $n_s=1000-3000$

## 2.2 Принцип действия ЦН

Рабочее колесо, закрепленное на валу, вращается с большой угловой скоростью и отбрасывает жидкость к периферии, соответствующий объем жидкости поступает к центру разряжения через подвод, затем жидкость, обладающая большой кинетической энергией, поступает в отвод, где тормозится при этом кинетическая энергия жидкости преобразуется в потенциальную энергию давления.

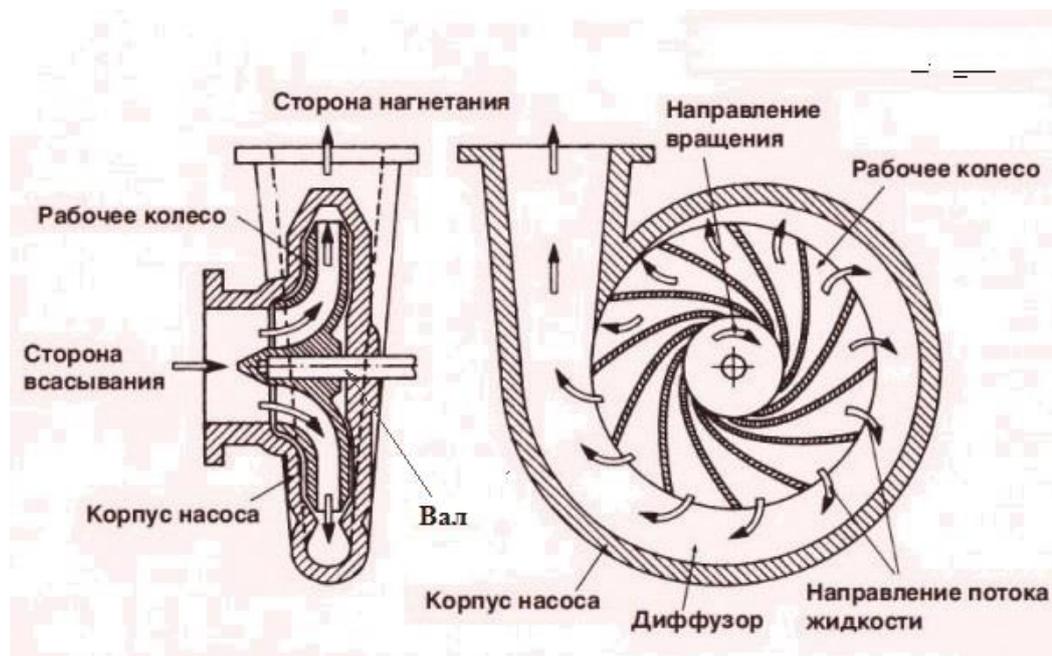


Рисунок 9 - Устройство центробежного насоса

Область применения центробежных насосов обширна: для бытового и промышленного водоснабжения, в циркуляционных, питательных, сетевых и других установках электростанций, в мелиорации, в теплофикации, в водоотливах, в горнодобывающей, металлургической, химической, нефтяной промышленности и т.д. Наиболее эффективно используются для перемещения значительных объёмов жидкости в нефтегазовой промышленности: технологический процесс связанный с подъемом пластовой жидкости, воздействие на призабойную зону пласта, транспортировка нефти и воды в систему поддержки пластового давления, в установках подготовка нефти для нефтеперерабатывающих предприятий.

### 2.3 Устройство и принцип действия насоса типа Д

Агрегат состоит из насоса и приводного двигателя, установленных на общей фундаментной раме и соединенных между собой при помощи муфты. [18]

Насос типа Д — центробежный двустороннего входа, горизонтальный одноступенчатый с двусторонним полуспиральным подводом жидкости к рабочему колесу двустороннего входа, со спиральным отводом и сальниковым

уплотнением вала. Принцип действия насоса заключается в преобразовании механической энергии привода в гидравлическую энергию жидкости.

Корпус и крышка насоса (рисунок 10) представляют собой чугунную отливку, которая имеет разъем в горизонтальной плоскости, проходящей через ось ротора. Всасывающий и нагнетательный патрубки насоса расположены в нижней половине корпуса 1, благодаря чему возможна разборка насоса без отсоединения трубопроводов и снятия двигателя.

Крышка корпуса 2 продолжает конфигурацию каналов корпуса. В верхней части крышки корпуса предусмотрено отверстие М16×1,5, закрытое пробкой 3 для присоединения вакуумного насоса или подключения системы вакууммирования, а также для выпуска воздуха при заполнении насоса «самотеком».

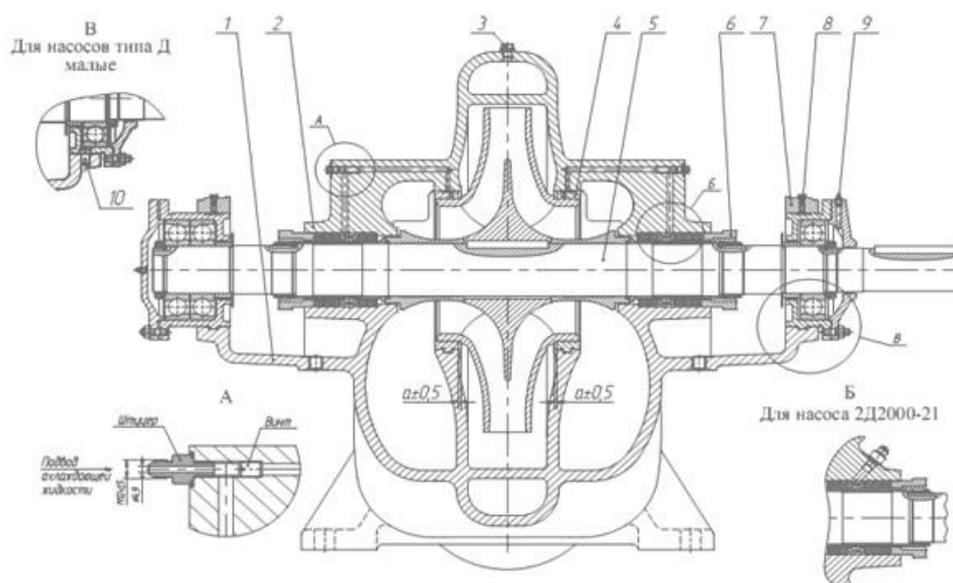


Рисунок 10 – Центробежный насос типа Д

Для предотвращения протечек жидкости по валу в корпусе насоса устанавливается сальниковое уплотнение. Гидравлический затвор сальника (для насосов 1Д) обеспечивается посредством подвода жидкости к кольцу сальника по каналу, выполненному в крышке насоса. При необходимости обеспечения

охлаждения и затвора подвод жидкости к сальнику производить от постороннего источника (рисунок 10, выноска А).

В корпусе насоса установлены уплотняющие кольца 4, защищающие корпус и крышку корпуса от износа и уменьшающие перетекание жидкости из напорной полости во всасывающую.

Рабочее колесо — двустороннего входа, что определяет устойчивую работу насоса, так как осевая сила уравнивается двусторонним входом жидкости в рабочее колесо.

Ротор насоса 5 приводится во вращение электродвигателем через соединительную муфту. Опорами ротора (Рисунок 11) служат радиальные подшипники 3 и 18, установленные в стаканах подшипников в корпус насоса.

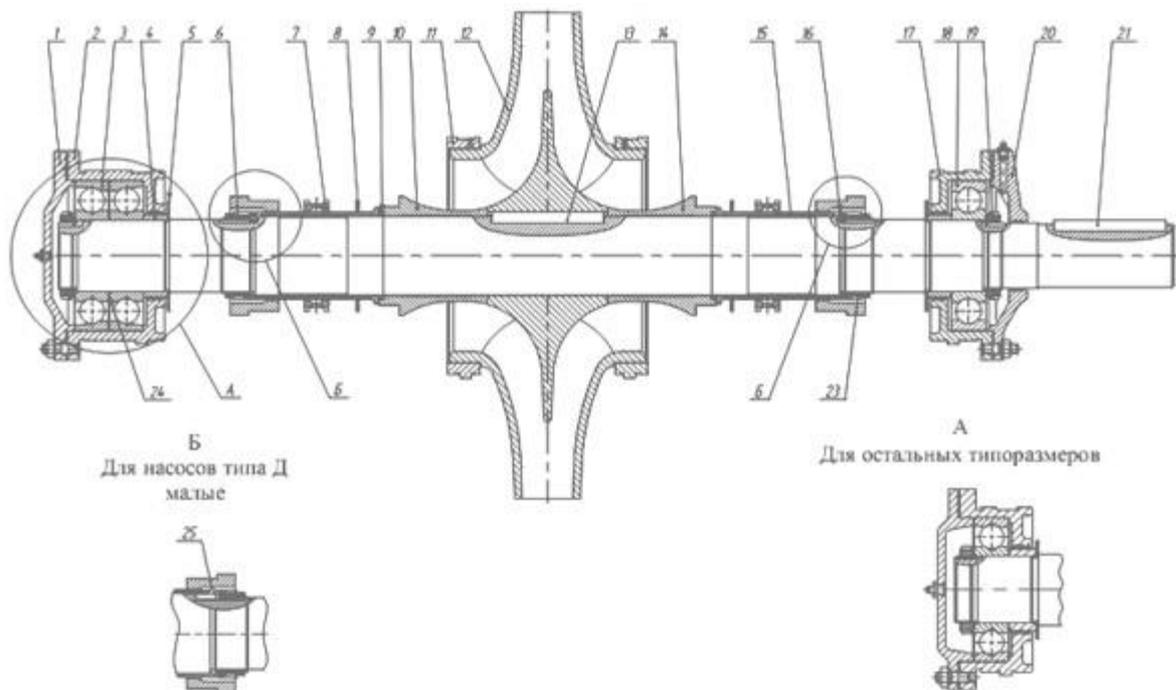


Рисунок 11 – Ротор насоса типа Д

### 3 Динамика вала ЦН при разгоне двигателя

Важным и в большинстве случаев неизбежным источником случайных переходных процессов является изменение скорости вращения привода. В случаях ускорения или замедления привода возникает инерционный или динамический момент, который двигатель должен преодолеть.

#### 3.1 Дифференциальное уравнение вращения вала

Один из переходных процессов возникает при разгоне центробежного насоса после включения электродвигателя. Исследуем динамические процессы, происходящие с приводом ЦН с учетом его упругих деформаций.

Определим собственные частоты и собственные функции упругого вала круглого сечения.

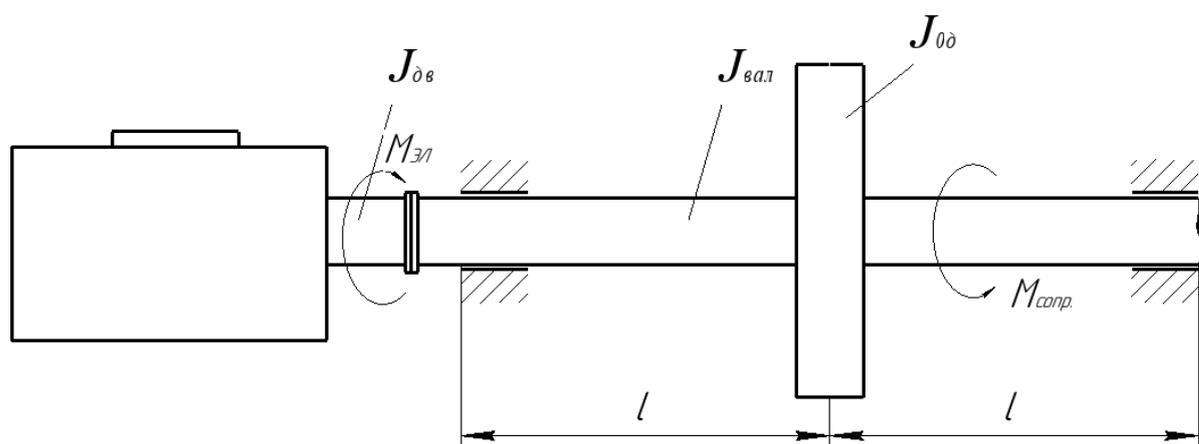


Рисунок 12 – Схема устройства привода центробежного насоса

Пусть имеется насос Д200-36 горизонтального типа с центральным расположением рабочего колеса и двусторонним подводом рабочей жидкости.

Обозначим крутящий момент двигателя  $M_{эл}$ , момент сил сопротивления  $M_{сопр}$ . Вал насоса, ротор двигателя и рабочее колесо имеют соответственно моменты инерции:  $J_{вал}$ ,  $J_{дв}$ ,  $J_{0д}$ .

Постановка нашей задачи, более совершенная чем модель [13]: привод насоса представлен как система с бесконечным числом степеней свободы.

Учтена упругая деформация вала, а рабочее колесо рассматривается как абсолютно твердое тело, так же учтено влияние диссипативных сил и внутреннее трение.

При выводе уравнения движения предположим, что при крутильных колебаниях вал деформируется так же, как и при статическом кручении: поперечные сечения его остаются плоскими и поворачиваются вокруг оси стержня как жесткие диски.

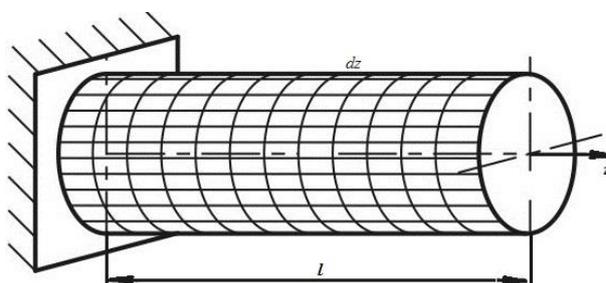


Рисунок 13 – Схема крутильных колебаний вала

Время переходного процесса определим из дифференциального уравнения движения. Составим дифференциальное уравнение вращательного движения привода:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{эл.}} - \beta \cdot \omega;$$

$$\int_0^{\omega} \frac{J_{\text{пр}} \cdot d\omega}{M_{\text{эл}} - \beta \cdot \omega} = \int_0^{\omega} dt, \quad (1)$$

где,  $J_{\text{пр}}$  - момент инерции привода насоса,  $M_{\text{эл}}$  - крутящий момент двигателя,  $\beta$  - коэффициент сопротивления, учитывающий свойства жидкости и параметры колеса.

При пуске нагруженного двигателя действует постоянный статический момент сопротивления, создаваемый механизмом  $M_{\text{сопр.}} = \text{const}$ , и поэтому

ЭД разгоняется за время -  $t_{II}$  до установившейся скорости -  $\omega_{CT}$ , из уравнения (1) найдем угловую скорость зависящую от времени пуска:

$$\omega_{CT} = \frac{M_{эл} - M_{эл} \cdot e^{-\frac{t_{II} \cdot \beta}{J_{II}}}}{\beta} \quad (2)$$

где  $J_{II}$  - момент инерции привода.

Из уравнения (2) найдем угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{d\omega_{CT}}{dt} = \frac{M_{эл} \cdot e^{-\frac{t_{II} \cdot \beta}{J_{II}}}}{J_{II}}, \quad (3)$$

### 3.2 Крутильные колебания вала

Упругие крутильные колебания вала накладываются на основное его вращательное движение. Предложим схему (рисунок 14), которая включает вал с моментом инерции  $J_{вал}$ , жестко закрепленный слева, на свободном правом конце которого расположен диск с моментом инерции  $J_0$ .

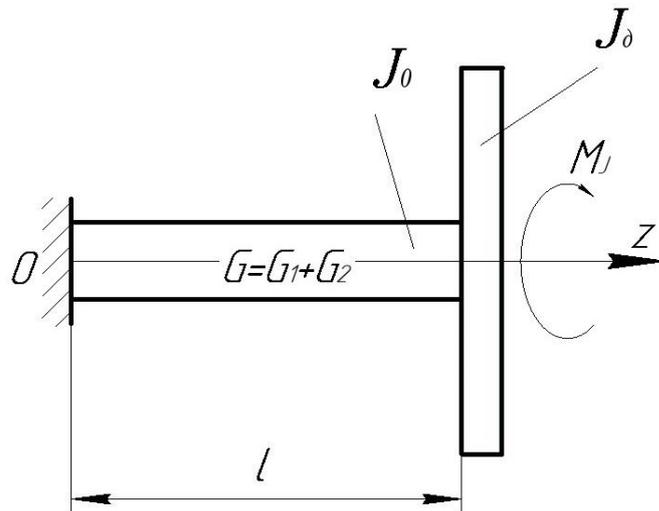


Рисунок 14 – Модель исследования крутильных колебаний

В процессе разгона ЦН на рабочее колесо действует момент сил инерции  $M_J$ , который вызывает крутильные деформации вала. Крутильная жесткость

вала равна  $G = G_1 + G_2$ . Такая схема учитывает жесткости двух участков вала (слева и справа от рабочего колеса).

Зададим граничные условия:

$$\varphi(0) = 0; \quad 2GJ_p \left( \frac{\partial \varphi(z, t)}{\partial z} \right)_l = J_{np} \varepsilon. \quad (4)$$

Запишем дифференциальное уравнение собственных крутильных колебаний [10]:

$$\frac{\partial^2 \varphi(z, t)}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 \varphi(z, t)}{\partial z^2} = 0, \quad (5)$$

где,  $a$  - скорость распространения крутильных возмущений

$$a = \sqrt{\frac{GJ_p}{J}} \Rightarrow \sqrt{\frac{2G}{\rho}}.$$

Произведем процедуру Фурье:

$$\varphi(z; t) = \sum_{i=1}^{\infty} \Phi_i(z) q_i(t),$$

где  $\Phi_i(z)$  – собственные амплитудные функции;  $q_i(t)$  – обобщённые координаты.

Применив к уравнению (5) процедуру Фурье, получим:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left( \Phi_i \ddot{q}_i + a^2 \frac{d^2 \Phi_i}{dz^2} q_i \right) = 0.$$

Приведем к системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\ddot{q}_i + a^2 q_i = 0, \quad (i = 1, 2, \dots). \quad (6)$$

Дифференциальные уравнения (6) являются независимыми, поэтому их решения представляются гармоническими функциями:

$$q_i = q_{0i} \cos(p_i t), \quad (i = 1, 2, \dots). \quad (7)$$

С учетом (7) из (6) получим:

$$\frac{d^2 \Phi_i}{dz^2} + \lambda_i^2 \Phi_i = 0 \Rightarrow \Phi_i(z) = C_1 \cos \lambda_i z + C_2 \sin \lambda_i z;$$

$$\lambda_i^2 = \frac{a^2}{p_i^2},$$

где  $p_i$  - собственные частоты,  $\lambda_i$  - волновые числа.

Применим граничные условия (4):

$$\Phi(0) = 0; \quad 2GJ_p \left( \frac{\partial \Phi(z, t)}{\partial z} \right)_l = J_{\text{ПП}} \frac{d\omega}{dt}.$$

Из условия  $C_1 = 0$ , пусть  $C_2 = 1$ :

$$\Phi = \sin \lambda_i z; \quad 2GJ_p \lambda_i \cos(\lambda_i l) = J_{\text{ПП}} \frac{d\omega}{dt}.$$

Получаем уравнение часто в виде:

$$\cos(\lambda_1 l) = \frac{J_{\text{ПП}} \varepsilon}{2GJ_p \lambda_1}. \quad (8)$$

Решение уравнения (8) находим графически.

### 3.3 Численный расчёт

Произведем численный расчет поставленных задач.

Исходные значения:

$$R = 0.175 \text{ м} - \text{внешний радиус рабочего колеса насоса};$$

$r_1 = 0.024\text{ м}$  - посадочный радиус колеса на вал;

$r_2 = 0.032\text{ м}$  - радиус нижней границы сечения входа жидкости;

$V = 0.00187\text{ м}^3$  - объем металла из которого состоит рабочее колесо;

$\rho_{сч} = 7100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - плотность металла колеса СЧ20;

$\beta = 1.6$  - коэффициент сопротивления, учитывающий свойства жидкости и параметры колеса;

$\omega_0 = 148.5\text{ с}^{-1}$  - угловая скорость установившегося режима работы;

$M_{вп} = 240\text{ Н} \cdot \text{м}$  - момент вращения от двигателя;

$l = 1.5\text{ м}$  - длина вала насоса;

$\rho_{ст} = 7826 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - плотность металла вала Сталь 45;

$m_{ж} = 3\text{ кг}$  - масса жидкости в рабочем колесе;

$J_{дв} = 0.27\text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент инерции ротора мотора;

Найдем массу вращающихся элементов насоса:

$m_{рк} = V \cdot \rho_{сч} = 13.277\text{ кг}$  - масса рабочего колеса без жидкости;

Для расчета массы вала, найдем площадь поперечного сечения и умножим на длину:

$A = \pi \cdot r_1^2 = 0.00181\text{ м}^2$  - площадь поперечного сечения вала;

$V_B = l \cdot A = 0.002714\text{ м}^3$  - объем вала круглого сечения;

Рассчитаем массу вала для этого умножим полученный объем на плотность стали:

$$m_{вал} = V_B \cdot \rho_{ст} = 21,242\text{ кг}$$

Найдем момент инерции подвижной системы:

$$J_{вал} = \frac{1}{2} m_{вал} \cdot r_1^2 = 0,006 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{ момент инерции вала};$$

$$J_{PK} = \frac{1}{2} m_{PK} \cdot (R^2 - r_1^2) = 0,199 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{ момент инерции рабочего колеса};$$

$$J_{Ж} = \frac{1}{2} m_{Ж} \cdot (R^2 - r_2^2) = 0,044 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{ момент инерции жидкости в рабочем колесе};$$

$$J_{ПР} = J_{вал} + J_{ДВ} + J_{PK} + J_{Ж} = 0,52 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{ суммарный момент инерции привода};$$

Определим время разгона вала.

Проанализировав уравнение (2), мы видим, что угловая скорость бесконечно приближается к скорости установившегося движения. Поэтому, произведем числовой расчет, полагая, что процесс разгона заканчивается, когда  $\omega$  отличается от угловой скорости установившегося режима на 1%. Получим значение  $\omega = 148,5 \text{ с}^{-1}$ .

Определим время за которое угловая скорость изменилась до  $\omega$ . В момент времени  $t = 1,5 \text{ с}$  привод достигает поставленной скорости:

$$\omega_{СТ} = \frac{M_{ЭЛ} - M_{ЭЛ} \cdot e^{-\frac{t \cdot \beta}{J_{ПР}}}}{\beta} = 148,5 \text{ с}^{-1}.$$

Для наглядности составим таблицу значений угловой скорости от времени и построим график.

Таблица 1- Зависимость  $\omega$  от  $t$ .

$t_{\text{пр}}$	$\omega$	$t_{\text{пр}}$	$\omega$	$t_{\text{пр}}$	$\omega$	$t_{\text{пр}}$	$\omega$
0	<b>0</b>	0,7	<b>132,5</b>	1,4	<b>147,98</b>	2,1	<b>149,77</b>
0,1	<b>39,7</b>	0,8	<b>137,2</b>	1,5	<b>148,5</b>	2,2	<b>149,8</b>
0,2	<b>68,9</b>	0,9	<b>140,6</b>	1,6	<b>148,91</b>		
0,3	<b>90,4</b>	1	<b>143,1</b>	1,7	<b>149,2</b>		
0,4	<b>106,1</b>	1,1	<b>144,9</b>	1,8	<b>149,4</b>		
0,5	<b>117,8</b>	1,2	<b>146,3</b>	1,9	<b>149,6</b>		
0,6	<b>126,3</b>	1,3	<b>147,3</b>	2	<b>149,7</b>		

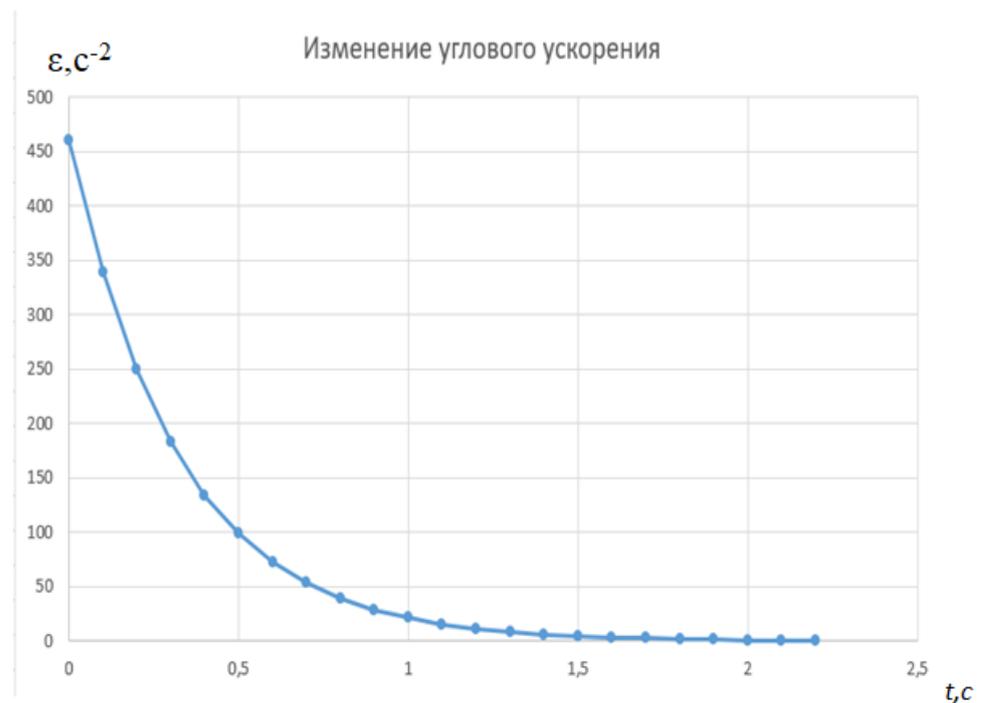


Рисунок 15 – График изменения угловой скорости

Рассчитаем угловое ускорение. Подставим значения времени из таблицы 1 в уравнение (3), получим:

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{эл}} \cdot e^{-\frac{t_{\text{пр}} \cdot \beta}{J_{\text{пр}}}}}{J_{\text{пр}}}$$

Таблица 2- Зависимость  $\varepsilon$  от  $t_{\text{пр}}$ .

$t_{\text{пр}}$	$\varepsilon$	$t_{\text{пр}}$	$\varepsilon$	$t_{\text{пр}}$	$\varepsilon$	$t_{\text{пр}}$	$\varepsilon$
0	<b>461</b>	0,7	<b>53,5</b>	1,4	<b>6,2</b>	2,1	<b>0,72</b>
0,1	<b>339,3</b>	0,8	<b>39,4</b>	1,5	<b>4,6</b>	2,2	<b>0,5</b>
0,2	<b>249,4</b>	0,9	<b>28,9</b>	1,6	<b>3,36</b>		
0,3	<b>183,4</b>	1	<b>21,3</b>	1,7	<b>2,5</b>		
0,4	<b>134</b>	1,1	<b>15,64</b>	1,8	<b>1,84</b>		
0,5	<b>99,1</b>	1,2	<b>11,5</b>	1,9	<b>1,3</b>		
0,6	<b>72,8</b>	1,3	<b>8,5</b>	2	<b>0,98</b>		

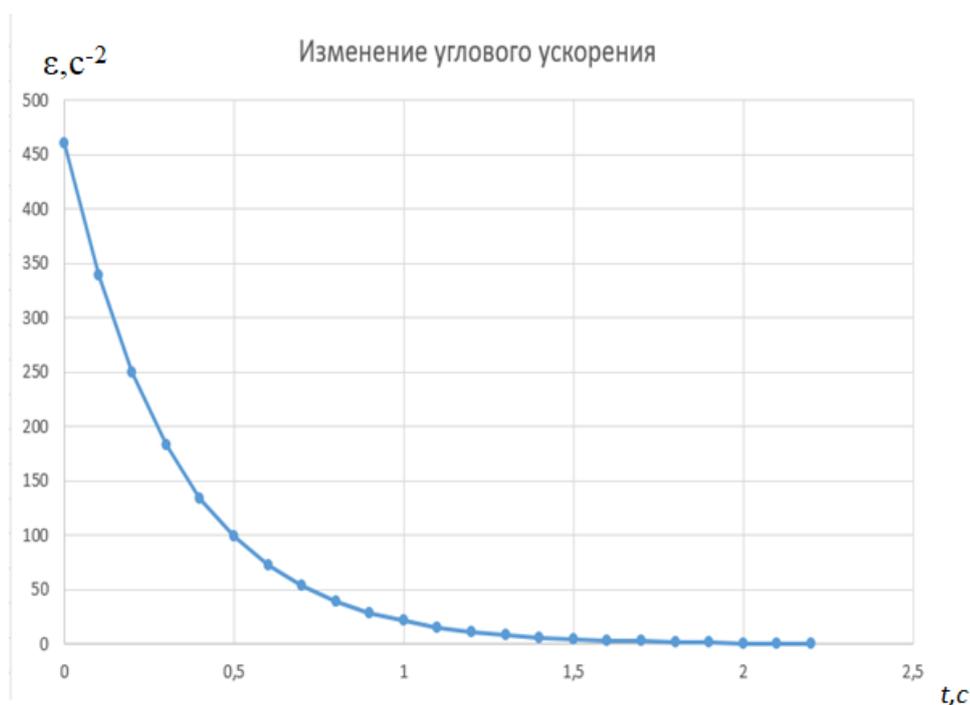


Рисунок 16 – График изменения углового ускорения

Проанализировав уравнение (3) и полученный график зависимости, мы видим, что функция углового ускорения уменьшается и стремится к нулю. Оценим интервал времени, за который произошел максимальный скачек угловой скорости привода. Получим  $t_{\text{пр}} = 0,5c$ . Определим среднее значение углового ускорения за это время:

$$\varepsilon = 244\text{с}^{-2}$$

Найдем скорость распространения крутильных возмущений вдоль вала:

$$a = \sqrt{\frac{2G}{\rho}} = 4465\text{м/с}.$$

Рассчитаем полярный момент инерции поперечного сечения вала

$$J_P = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{м}^4,$$

где  $d = 0.48\text{м}$ .

Из уравнения частот (8) графически найдем основное волновое число.

$$f_1(\lambda) = \sin(\lambda \cdot 0.7); \quad f_2(\lambda) = \frac{J_{IP} \varepsilon}{2GJ_p \lambda}$$

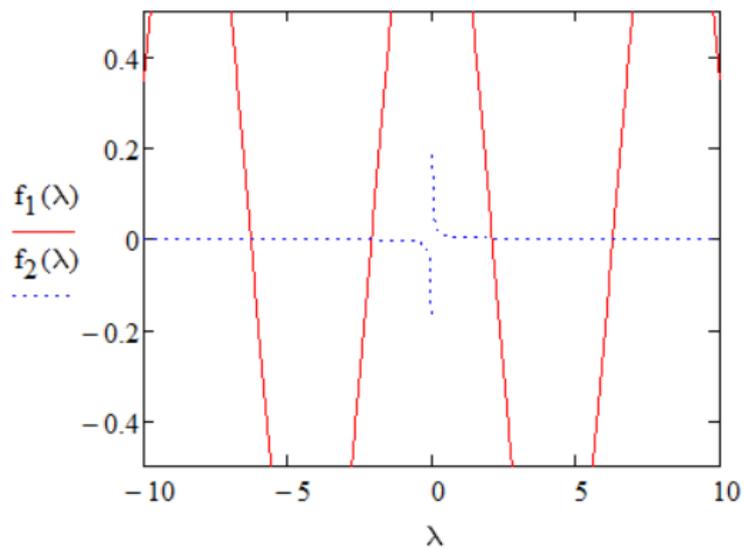


Рисунок 17– Графическое решение

В результате получим:  $\lambda_1 = 2,1\text{м}^{-1}$ , ему соответствует основная частота  $p_1 = 2126\text{с}^{-1}$ .

Используя полученные данные найдем максимальное угловое смещение стержня на его свободном торце. Произведем квазистатический расчет используя схему на рисунке 18.

Используем известный метод сопротивления материалов и рассчитаем вал ЦН на кручение с известным приложенным моментом и заданной жесткостью.

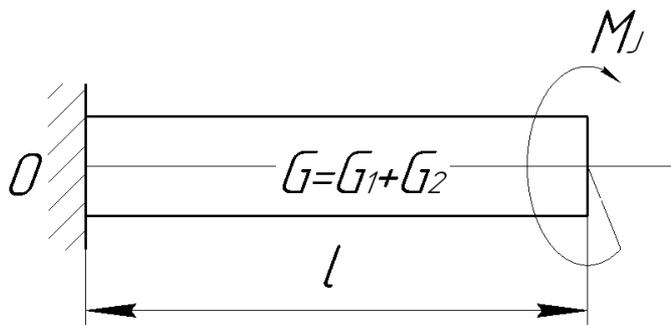


Рисунок 18 – Модель вала с присоединенным моментом сил инерции

Найдем момент инерции сечения вала:

$$J_p = 2\pi \int_0^r r^3 dr = \frac{\pi d^4}{32} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Полярный момент сопротивления сечения вала:

$$W_p = \frac{J_p}{r} = \frac{\pi d^3}{16} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Момент действующий на вал в этом участке будет равен приложенному моменту сопротивления:

$$\sum m_x = M_0 - M_j = 0$$

$$M_0 = M_j = 66 \text{ Нм}.$$

Зная максимальный момент инерции, действующий на этот участок найдем взаимный угол поворота сечений на расстоянии  $l$ . Эюра угловых смещений приведена на рисунке 19.

$$\varphi = \frac{M_j l}{GJ_p} = 9,1 \cdot 10^{-7} \text{ рад}$$



Рисунок 19 – Эпюра угловых смещений стержня

Таким образом, полученные характеристики процесса крутильных колебаний вала можно в дальнейшем использовать для расчета прочности вала и его долговечности.

#### **4 Крутильные колебания вала центробежного насоса, возникающие за счет изменения свойств жидкости**

Изучение и знание природы потерь энергии необходимо для правильного выбора мощности и типа привода, а также для расчетного построения графика подачи жидкости от её расхода:  $H = f(Q)$ , где  $H$  – напор;  $Q$  – расход. Знание природы потерь помогает найти путь их уменьшения. Потери в лопастных насосах разделяют на гидравлические, объемные и механические. Из всех потерь в лопастном насосе о гидравлических потерях известно меньше всего, но именно они оказывают наибольшее значение на крутильные колебания вала. Это объясняется многими неучтенными фактами, значение которых сложно точно определить.

Гидравлические потери – это суммарные потери при движении жидкости по водопроводящим каналам [2]. Их условно можно разделить на несколько категорий: потери на трение, потери на вихреобразование и кавитацию.

Существует несколько причин возникновения крутильных колебаний вала. Некоторые из них связаны с гидродинамическими источниками [5-7]:

1. Вихреобразование (срыв вихрей за лопастями рабочего колеса)
2. Неоднородность потока (либо кромочные следы при обтекании неподвижных частей насоса, в том числе направляющего аппарата, либо отсутствие угловой симметрии градиента скорости потока в плоскости рабочего колеса, вследствие изгиба трубопровода на входе). Лопастей рабочего колеса, при взаимодействии с неоднородным потоком, испытывают импульсные нагрузки.
3. Турбулентные пульсации давления в потоке. (возникают в пристеночном слое потока, участвует в высокочастотных колебаниях стенок)
4. Газовая и паровая кавитация жидкости:
  - Профильная (на обтекаемых поверхностях лопастей);

- Срывная (за плохо обтекаемыми элементами).
5. Дефекты лопастей:
- Не симметрия нагрузок на лопасти;
  - Пульсация давления жидкости;
  - Пульсация скорости потока.

Вихревые потери делятся на ударные и диффузорные. Возникновение вихревых ударных потерь зависит от отрывного обтекания входных кромок лопастей насоса в режимах работы насоса, отличных от безударных. На рисунке 20 показано отрывное обтекание лопастей на перегрузочных и недогрузочных режимах. Это явление вызывает поперечные колебания вала.

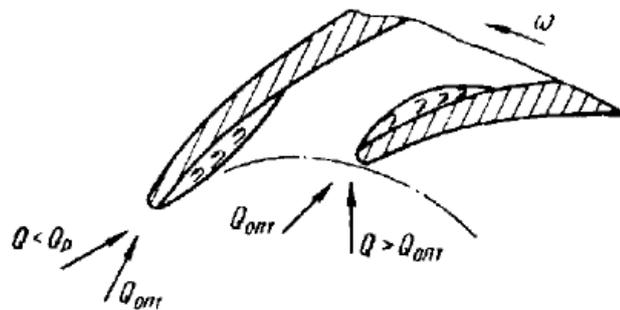


Рисунок 20 – Образование вихревых зон на входных элементах лопасти рабочего колеса

Кавитация зависит от гидродинамических качеств рабочих органов насоса и физических свойств жидкости. Кавитация обычно начинается при падении давления до значения, равного или меньшего давления упругости насыщенного пара и сопровождается нарушением сплошности потока с образованием полостей, насыщенных паром и растворенными в жидкости газами [4]. Она возникает так же при снижении местного давления по разным причинам динамического характера: увеличение скорости жидкости из-за увеличения частоты вращения, отрыва или сжатия потока, отклонение линии тока от нормальной траектории.

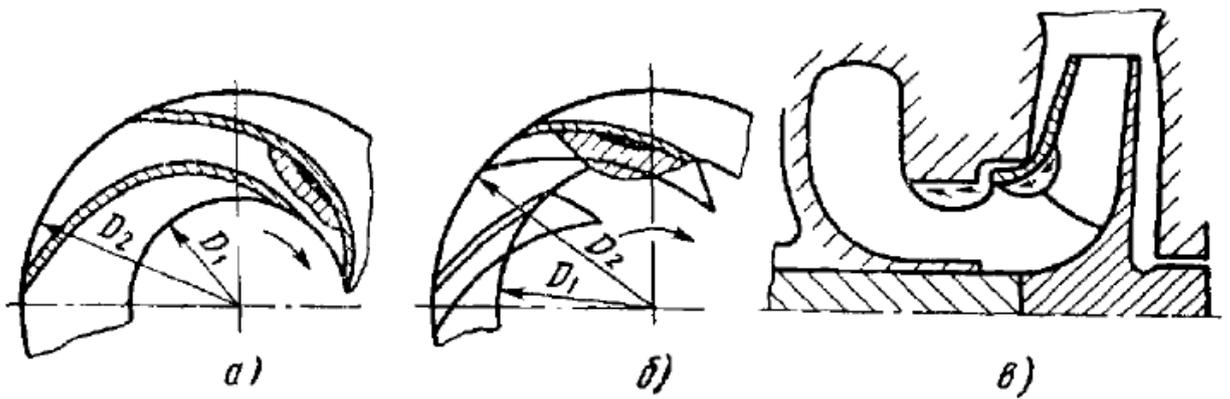


Рисунок 21 – Зоны местного снижения давления

На рисунке 21 показаны виды местного понижения давления на входе в насос с цилиндрическими лопастями (Рисунок 21, а) с пространственными лопастями (Рисунок 21, б) и в меридианном сечении рабочего колеса (рисунок 21, в).

#### 4.1 Вращение вала с переменным моментом инерции

Во время работы центробежного насоса через рабочее колесо за короткий промежуток времени проходит значительное количество жидкости состав и давление которой может резко изменяться. Эти изменения происходят во всем рабочем объеме насоса и за счет большой скорости протекания, становятся главной причиной возникновения крутильных колебаний вала в установившемся режиме работы. В этих случаях происходит изменение момента инерции рабочего колеса с присоединенной жидкостью, что приводит к возникновению дополнительного динамического момента, действующего на вал.

Исследуем происходящие процессы, определим: собственные частоты, собственные амплитудные функции.

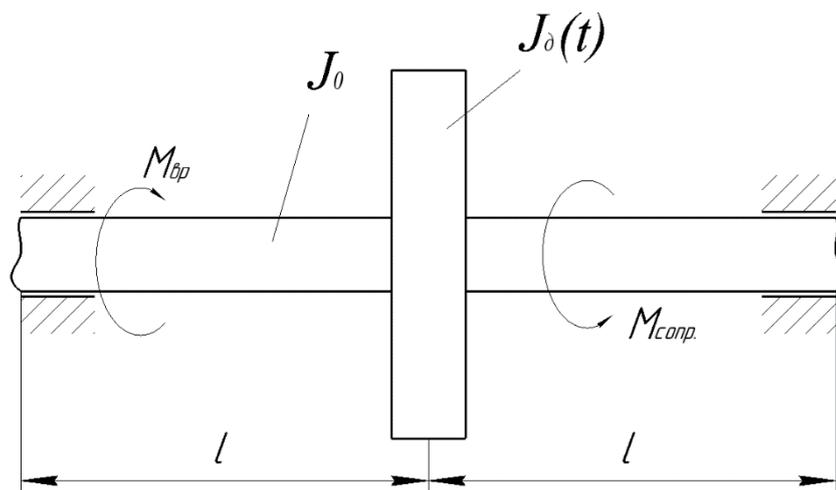


Рисунок 22 – Схема, моделирующая центробежный насос

Рассмотрим твердое тело (рисунок 22), состоящее из стержня с моментом инерции  $J_0$  и насаженным на него диском, имеющим переменный момент инерции  $J_d(t)$ . Такая система моделирует вал центробежного насоса, который перекачивает жидкость с изменяющейся плотностью. Случай имеет место, когда в жидкости случайным образом возникают кавитационные процессы.

Пусть вал на концах закреплен в подшипниках, а диск находится по середине вала и жестко на нем закреплен. К валу приложен вращающий момент двигателя  $M_{дв}$ . Кроме того на вал действует момент сил сопротивления  $M_{сопр}$ . Определим функцию угловой скорости  $\omega(t)$  вращения вала в этих условиях.

Составим дифференциальное уравнение вращательного движения вала как твердого тела в соответствии с теоремой об изменении кинетического момента:

$$\frac{d(J_d(t) + J_0)\omega}{dt} = M_{дв} - M_{сопр}, \quad (9)$$

где  $J_0$  - момент инерции стержня,  $J_d(t)$  - момент инерции диска.

В результате преобразования уравнения (8), получим:

$$\frac{dJ_d(t)\omega}{dt} + \frac{dJ_0\omega}{dt} = M_{дв} - M_{сопр}. \quad (10)$$

Пусть момент инерции диска, заполненного жидкостью, изменяется по линейному закону:

$$J_{\delta}(t) = J_{0\delta}(1 \pm \alpha t), \quad (11)$$

где  $\alpha$  - константа, характеризующая степень возрастания или убывания момента инерции в результате изменения плотности жидкости. Пусть, например  $\alpha = -1,8c^{-1}$

Подставим (10) в уравнение (9):

$$\pm J_{0\delta} \alpha \omega + \frac{d\omega}{dt} J_{0\delta} (1 \pm \alpha t) + J_0 \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{вр}} - M_{\text{сопр.}}. \quad (12)$$

Пусть момент сил сопротивления аппроксимируется линейной зависимостью:

$$M_{\text{сопр.}} = \beta_0 \omega, \quad (13)$$

где  $\beta_0$  - коэффициент сопротивления жидкости в отсутствие кавитации.

Используя угловую скорость рабочего режима  $\omega_0 = 150c^{-1}$  и приложенный момент вращения двигателя  $M_{\text{вр}} = 240H \cdot м$ , получим значение  $\beta_0 = 1,6H \cdot м \cdot c$

За счет кавитации свойства смеси изменяются. Рассмотрим случай возникновения кавитации и примем значение  $\beta = 1H \cdot м \cdot c$

Подставим закон (12) в уравнение (11) и преобразуем:

$$\frac{d\omega}{dt} (J_{0\delta} (1 \pm \alpha t) + J_0) + \omega (\pm J_{0\delta} \alpha + \beta) = M_{\text{вр}}. \quad (14)$$

Решения неоднородного дифференциального уравнения (13) складывается из общего решения соответствующего однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения:

$$\omega = \omega_{\text{одн.}} + \omega_{\text{частн.}}$$

Рассмотрим однородное уравнение:

$$\frac{d\omega}{dt}(J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0) + \omega(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta) = 0. \quad (15)$$

Оно приводится к дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными:

$$\frac{d\omega}{dt}(J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0) = -\omega(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta),$$

или

$$\frac{d\omega}{\omega} = -\frac{(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta)}{J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0} dt.$$

Предположим, что момент сил сопротивления, приложенный к ротору со стороны жидкости остается постоянным в течение переходного процесса.

В результате интегрирования [11] имеем:

$$\ln|\omega| = -\frac{\pm J_{0\partial}\alpha + \beta}{\pm J_{0\partial}\alpha} \ln|J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0| + \ln C. \quad (16)$$

Обозначим

$$-\frac{\pm J_{0\partial}\alpha + \beta}{\pm J_{0\partial}\alpha} = \gamma. \quad (17)$$

$$\ln|\omega| = \ln|J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0|^\gamma + \ln C;$$

$$\ln|\omega| = \ln C |J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0|^\gamma.$$

В результате получим общее решение однородного уравнения (14) в виде:

$$\omega_{одн} = C [J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0]^\gamma. \quad (18)$$

Ищем частное решение неоднородного уравнения в виде:

$$\omega_{частн.} = \psi = const. \quad (19)$$

Подставляем (19) в (14):

$$\psi(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta) = M_{ep};$$

$$\psi = \frac{M_{ep}}{\pm J_{0\partial}\alpha + \beta}.$$

Получим общее решение неоднородного уравнения (14) в виде:

$$\omega = C[J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0]^\gamma + \frac{M_{ep}}{\pm J_{0\partial}\alpha + \beta}.$$

Определим константу  $C$  из начального условия. В момент начала изменения момента инерции диска  $J_\partial(t)$  угловая скорость вала равна:

$$\omega = \omega_0,$$

тогда,

$$\omega_0 = C(J_{0\partial} + J_0)^\gamma + \frac{M_{ep}}{\pm J_{0\partial}\alpha + \beta}.$$

Получим:

$$C = \frac{\omega_0(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta) - M_{ep}}{(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta)(J_{0\partial} + J_0)^\gamma}. \quad (20)$$

Окончательно получаем закон изменения угловой скорости вала в виде:

$$\omega_{неод.} = \frac{\omega_0(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta) - M_{ep}}{(\pm J_{0\partial}\alpha + \beta)(J_{0\partial} + J_0)^\gamma} [J_{0\partial}(1 \pm \alpha t) + J_0]^\gamma + \frac{M_{ep}}{\pm J_{0\partial}\alpha + \beta}. \quad (21)$$

Произведем числовой расчет. Исходя из времени полного изменения объема жидкости примем  $t = \frac{1}{18} c$ . Получим  $\omega = 184 c^{-1}$ . Следовательно, угловая скорость изменилась на величину  $\Delta\omega = 34 c^{-1}$ .

## 4.2 Крутильные колебания вала с диском переменного момента инерции

При исследовании крутильных колебаний будем использовать модель, представленную на рисунке 23. Эта модель учитывает деформации смещения вала в системе отсчета связанной с основным вращением.

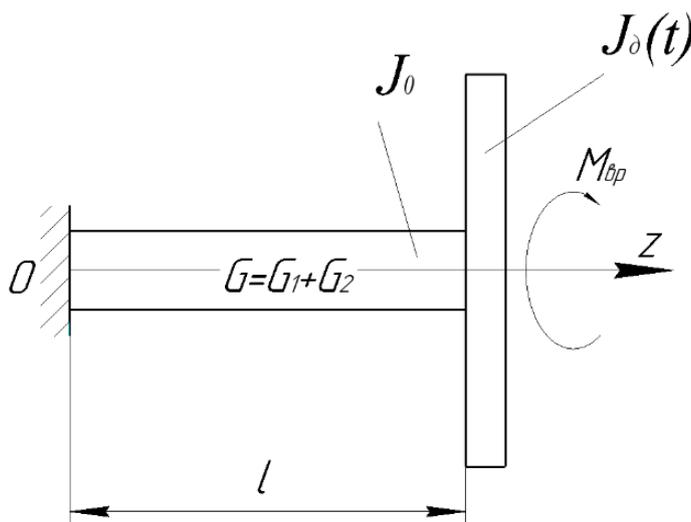


Рисунок 23 – Модель исследования крутильных колебаний

Представим вал с крутильной жесткостью  $G = G_1 + G_2$ , один конец закреплен жестко, а на другом находится диск, момент инерции которого изменяется  $J_0(t)$ . К свободному концу вала приложен вращающий момент  $M_{\text{впр}}$ .

Запишем граничные условия задачи:

$$\varphi(0) = 0; \quad 2GJ_p \left( \frac{\partial \varphi(z, t)}{\partial z} \right)_l = J_0^* \varepsilon. \quad (22)$$

В данном случае момент инерции  $J_0(t)$  является функцией времени, и его изменение происходит за  $1/18\text{с}$ . Во втором условии (22) учтено усредненное по

времени значение момента инерции  $J_{\partial}^* = 0,232 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . В результате расчета получено значение углового ускорения  $\varepsilon = 610 \text{ с}^{-2}$ .

Запишем дифференциальное уравнение собственных крутильных колебаний вала:

$$\frac{\partial^2 \varphi(z,t)}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 \varphi(z,t)}{\partial z^2} = 0, \quad (23)$$

где  $a$  - скорость распространения крутильных возмущений

$$a = \sqrt{\frac{GJ_p}{J}} \Rightarrow \sqrt{\frac{2G}{\rho}}.$$

Применим процедуру разложения в ряд Фурье:

$$\varphi(z;t) = \sum_{i=1}^{\infty} \Phi_i(z) q_i(t),$$

где  $\Phi_i(z)$  – собственные амплитудные функции;  $q_i(t)$  – обобщённые координаты.

Дифференциальное уравнение (22) сведем к виду:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \left( \Phi_i \ddot{q}_i + a^2 \frac{d^2 \Phi_i}{dz^2} q_i \right) = 0.$$

Получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\ddot{q}_i + a^2 \frac{d^2 q_i}{dz^2} = 0, \quad (i = 1, 2, \dots). \quad (24)$$

Дифференциальные уравнения (23) являются независимыми, поэтому их решения представляются гармонической функцией:

$$q_i = q_{0i} \cos(p_i t), \quad (i = 1, 2, \dots). \quad (25)$$

Для собственных амплитудных функций получим уравнение:

$$\frac{d^2\Phi_i}{dz^2} + \lambda_i^2\Phi_i = 0 \Rightarrow \Phi_i(z) = C_1 \cos \lambda_i z + C_2 \sin \lambda_i z;$$

$$\lambda_i^2 = \frac{a^2}{p_i^2},$$

где  $p_i$  - собственные частоты.

Применим граничные условия (21):

$$\Phi(0) = 0; \quad 2GJ_p \left( \frac{\partial \Phi(z, t)}{\partial z} \right)_l = J_\delta^* \frac{d\omega}{dt}.$$

Из первого условия  $C_1 = 0$ , пусть  $C_2 = 1$ , тогда

$$\Phi = \sin \lambda_i z; \quad 2GJ_p \lambda_i \cos(\lambda_i l) = J_\delta^* \frac{d\omega}{dt}.$$

Из второго условия получаем уравнение частот:

$$\cos(\lambda_1 l) = \frac{J_\delta^* \varepsilon}{2GJ_p \lambda_1}. \quad (26)$$

Решение этого уравнения находим графически.

### 4.3 Численный расчет

Произведем численный расчет вращения вала с переменным моментом инерции:

Воспользуемся уже имеющимися исходными значениями:

$R = 0,175 \text{ м}$  - внешний радиус рабочего колеса насоса;

$r_1 = 0,024 \text{ м}$  - посадочный радиус колеса на вал;

$r_2 = 0,032 \text{ м}$  - радиус нижней границы сечения входа жидкости;

$V = 0,00187 \text{ м}^3$  - объем металла из которого состоит рабочее колесо;

$$\rho_{сч} = 7100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность металла колеса СЧ20};$$

$\alpha = -1,8$  - константа, характеризующая изменения свойств жидкости;

$\beta = 1H \cdot m \cdot c$  - коэффициент, учитывающий свойства жидкости и параметры колеса;

$$\omega_0 = 150 \text{с}^{-1} - \text{угловая скорость установившегося режима работы};$$

$$M_{вр} = 240H \cdot m - \text{момент вращения от двигателя};$$

$$l = 1,5\text{м} - \text{длина вала насоса};$$

$$t = \frac{1}{18} \text{с} - \text{время полной смены объема жидкости в колесе};$$

$$\rho_{ст} = 7826 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность металла вала Сталь 45};$$

$$m_{ж} = 3\text{кг} - \text{масса жидкости в рабочем колесе};$$

Найдем массу вращающихся элементов насоса:

$$m_{PK} = V \cdot \rho_{сч} = 13,277\text{кг} - \text{масса рабочего колеса без жидкости};$$

Для расчета массы вала, найдем площадь поперечного сечения и умножим на длину:

$$A = \pi \cdot r_1^2 = 0,00181\text{м}^2 - \text{площадь поперечного сечения вала};$$

$$V_B = l \cdot A = 0,002714\text{м}^3 - \text{объем вала круглого сечения};$$

Рассчитаем массу вала для этого умножим полученный объем на плотность стали:

$$m_{вал} = V_B \cdot \rho_{ст} = 21,242\text{кг}.$$

Найдем момент инерции подвижной системы:

$$J_{вал} = \frac{1}{2} m_{вал} \cdot r_1^2 = 6118 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции вала};$$

$$J_{PK} = \frac{1}{2} m_{PK} \cdot (R^2 - r_1^2) = 0,199 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции рабочего колеса};$$

$$J_{Ж} = \frac{1}{2} m_{Ж} \cdot (R^2 - r_2^2) = 0,044 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент инерции жидкости в рабочем}$$

колесе;

$$J_{0\partial} = J_{PK} + J_{Ж} = 0,244 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{суммарный момент инерции жидкости и колеса};$$

$$J_{\partial}^* = 0232 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{усредненный по времени момент инерции рабочего колеса с жидкостью}.$$

Рассчитаем изменение угловой скорости при возникновении кавитации.

Для этого подставим полученные выше значения в уравнения (16) и (20):

$$\gamma = - \left( \frac{\pm J_{0\partial} \alpha + \beta}{\pm J_{0\partial} \alpha} \right) = 1,278$$

$$\omega_{неод.} = \frac{\omega_0 (\pm J_{0\partial} \alpha + \beta) - M_{сп}}{(\pm J_{0\partial} \alpha + \beta)(J_{0\partial} + J_0)^\gamma} [J_{0\partial} (1 \pm \alpha t) + J_0]^\gamma + \frac{M_{сп}}{\pm J_{0\partial} \alpha + \beta} = 184 \text{ с}^{-1}$$

В результате возникновения кавитации, момент инерции колеса уменьшился, за счет уменьшения массы присоединенной жидкости. При этом угловая скорость вращения вала достигает значения  $\omega_{неод.} = 184 \text{ с}^{-1}$ . Она изменилась на величину  $\Delta\omega = 34 \text{ с}^{-1}$ .

Исходя из изменения угловой скорости за известный промежуток времени, рассчитаем возникшее угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{t} = 615 \text{ с}^{-1}.$$

Исследуем собственные крутильные колебания вала с диском, имеющим переменный момент инерции.

Найдем скорость распространения смещения сечения вала:

$$a = \sqrt{\frac{2G}{\rho}} = 4465 \text{ м/с}.$$

Рассчитаем полярный момент инерции поперечного сечения вала:

$$J_P = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^4$$

Графически найдем основное волновое число.

$$f_1(\lambda) = \sin(\lambda \cdot 0.75); \quad f_2(\lambda) = \frac{J_d^* \varepsilon}{2GJ_p \lambda}$$

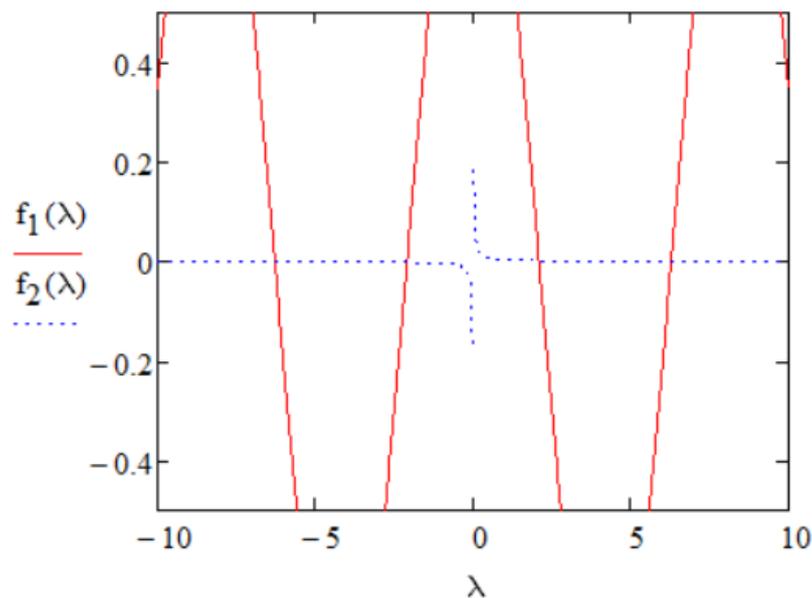


Рисунок 24 – Графическое решение

В результате графического решения находим основное волновое число  $\lambda_1 = 2.1 \text{ м}^{-1}$ , ему соответствует основная частота  $p_1 = 2126 \text{ с}^{-1}$ . Эти характеристики собственных крутильных колебаний вала зависят только от его свойств, поэтому остались такими же, как и в предыдущем случае. Отличие этих задач

заключается в причинах, вызывающих эти колебания, что должно отразиться на амплитудах колебаний.

Решим задачу на кручение вала ЦН заданной жесткости и с известным крутящим моментом, приложенным к его свободному торцу.

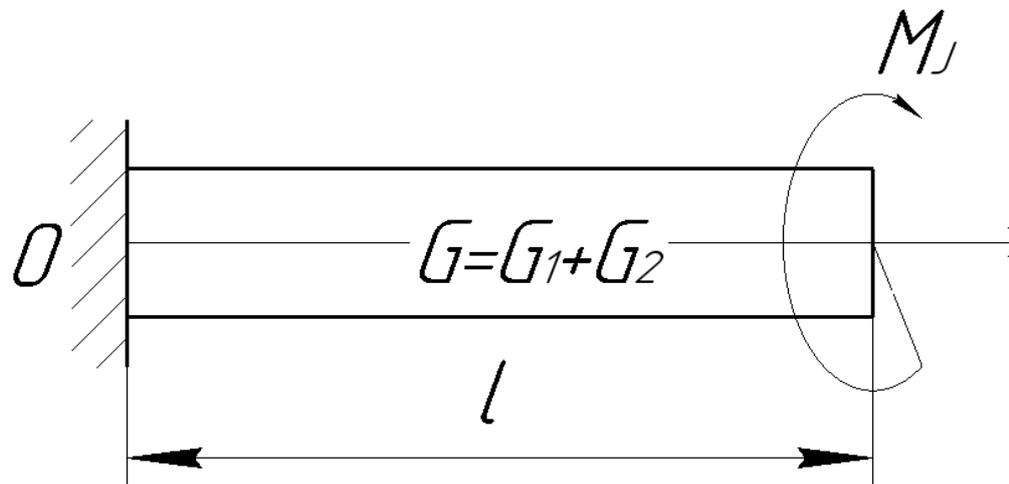


Рисунок 25 - Модель вала с присоединенным моментом сил инерции

Найдем момент инерции сечения вала:

$$J_P = 2\pi \int_0^r r^3 dr = \frac{\pi d^4}{32} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Полярный момент сопротивления сечения вала:

$$W_P = \frac{J_P}{r} = \frac{\pi d^3}{16} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Момент действующий на вал в этом участке будет равен приложенному моменту сопротивления:

$$M_J = \varepsilon \cdot J_\delta^* = 141 \text{ Нм}$$

$$\sum m_x = M_0 - M_J = 0$$

$$M_0 = M_J = 141 \text{ Нм}$$

Зная максимальный момент инерции, действующий на этот участок найдем взаимный угол поворота сечений на расстоянии  $l$ .

$$\varphi = \frac{M_J l}{GJ_P} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ рад.}$$



Рисунок 26 - Эпюра угловых смещений стержня

В данном случае максимальное угловое смещение более чем в два раза превышает значение, полученное в первом случае. Следовательно, воздействие кавитации приводит к большим деформациям, что способно уменьшает долговечность работы вала в большей степени.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4E41	Кузнецову Николаю Сергеевичу

<b>Инженерная школа</b>	Природных ресурсов	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Нефтегазовое дело
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	<b>15.03.02</b> <b>«Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»</b>

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады: - руководителя – 36800 руб. - проектировщика – 17000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент 30%; коэффициент дополнительной заработной платы 15%; коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%; районный коэффициент 130%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 30%.

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений SWOT-анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение трудоемкости выполнения работ, разработка плана и графика выполнения проекта Формирование бюджета затрат ан проектирование: материальные затраты, заработная плата (основная и дополнительная), отчисления на социальные цели, накладные расходы, амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта.

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

1. *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений*
2. *Календарный план график*
3. *Сравнительная оценка характеристик разработки*
4. *Бюджет затрат НИ*

**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	Черепанова Н.В.	к.ф.н.		
--------	-----------------	--------	--	--

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е41	Кузнецов Николай Сергеевич		

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель финансового менеджмента заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности научной исследовательской работе «Крутильные колебания вала центробежного насоса при переходных процессах». Разработка и создание конкурентных решений, технологий, должно отвечать требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели необходимо решить задачи такие как:

- анализ конкурентных технических решений
- планирование научно-исследовательских работ;
- расчет бюджета затрат;
- определение ресурсной эффективности исследования.

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

Анализ конкурентных технических решений:

Из-за постоянного развития рынка конкурирующие разработки совершенствуются. Для того, чтобы разработка могла противостоять конкурентам, нужно регулярно проводить их анализ, а также изучать сильные и слабые стороны.

На основе анализа конкурентных технических решений можно сказать, насколько данная разработка «крутильные колебания вала центробежного насоса при переходных процессах» эффективна и конкурентоспособна по сравнению с другими аналогичными разработками.

Для данного анализа стоит оценочная карта, для которой отобраны два конкурентных товара критерии для оценки и сравнения ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. КПД	0,13	4	5	5	0,52	0,65	0,65
2. Энергоэкономичность	0,08	5	4	5	0,40	0,32	0,40
3. Самовсасывание	0,10	4	5	4	0,40	0,50	0,40
4. Прочность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Простота эксплуатации	0,09	3	5	5	0,27	0,45	0,45
6. Малогабаритность	0,06	5	3	3	0,30	0,18	0,18
7. Регулирование характеристик	0,08	5	4	3	0,40	0,32	0,24
8. Перекачка загрязнённых жидкостей	0,10	5	3	3	0,50	0,30	0,30
9. Регулировка мощности	0,11	5	3	4	0,55	0,33	0,44
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	5	5	0,21	0,35	0,35
3. Стоимость	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
4. Долговечность	0,08	4	3	3	0,36	0,24	0,24
Итого	1	56	50	50	4,88	4,46	4,53

Эти критерии основаны на выбранных объектах сравнения на основе их экономических и технических характеристиках разработки, создания и эксплуатации.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,13 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 + \dots + 0,08 \cdot 4 = 4,88 \quad (27)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Исходя из данного анализа конкурентоспособность разработки равна 4,88, а у других двух аналогов 4,46 и 4,53 соответственно. В результате полученных значений можно сказать, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной в таких показателях, как малогабаритность, регулирование характеристик, перекачка загрязненных жидкостей, энергетический показатели, предполагаемый срок эксплуатации.

### SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Применение для многих типов центробежных насосов;  С2. Наличие бюджетного финансирования;  С3. Низкая стоимость исследования;  С4. Квалифицированный персонал ТПУ.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие возможности проверки результатов исследования с помощью практических опытов;  Сл2. Допущения, производимые при расчетах насоса;  У3. Недостаточная точность расчетов, обусловленная упрощениями при их проведении;

		Сл4. Аналитические исследования
<p><b>Возможности:</b></p> <p><b>В1.</b> Широкое использование центробежных насосов;</p> <p><b>В2.</b> Износ и большая потребность в ремонте;</p> <p><b>В3.</b> Слишком большой запас прочности некоторых элементов;</p> <p><b>В4.</b> Сотрудничество с предприятием, эксплуатирующим исследуемый центробежный насос.</p> <p><b>В5.</b> Получение гранта для дальнейших исследований;</p>	<p>Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для проведения научного исследования предполагает возможности для реализации бюджетного финансирования с вовлечением квалифицированного персонала.</p> <p>Сотрудничество с предприятием эксплуатирующим насос, подразумевает практическое подтверждение или опровержение результатов расчетов.</p>	<p>Предприятие, эксплуатирующее насос, может не быть заинтересованно в исследовании проблемы, причины которой неоднозначно обозначены, допускающем некоторые упрощения при расчетах и исключаящем учет некоторых факторов. Оценки важности этих факторов мной и предприятием могут не совпадать.</p> <p>Получения гранта важны возможности практического применения результатов исследования, следовательно, исходные данные для расчетов должны</p>

		соответствовать условиям эксплуатации центробежного насоса.
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Применимы при создании новых конструкций;</p> <p>У2. Отсутствие спроса на результаты исследования;</p> <p>У.3 Развитая конкуренция технологий.</p> <p>У4. Отсутствие у потребителя квалифицированных кадров.</p>	<p>Конкурентные исследования могут обладать более точными данными по анализу, что может позволить провести более глубокий анализ и точно определить влияние колебаний.</p>	<p>Отсутствие спроса на результаты исследования может быть обусловлено влиянием на точность расчетов упрощений и допущений, а также проблемы проверки потенциальными потребителями результатов исследования на своих насосах.</p>

Вывод: в результате исследования представляется возможным выявить проблемы, стоящие перед разработкой проекта, а также определить направление использования существующего потенциала для их разрешения. С учетом слабых и сильных сторон проекта, можно сказать, что благодаря квалифицированному персоналу ТПУ и связями с предприятиями, эксплуатирующими такие насосы реализация проекта существенно упрощается, с учетом всех нюансов, однако для этого нужно практическое применение полученных результатов на реальных

агрегатах. Заключение реальных испытаний помогут однозначно убедиться в точности проекта, что снизит необходимость наличия у предприятий наличия квалифицированного персонала в этой области.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования:

Для планирования научно-исследовательской работы ставятся следующие задачи:

- установление участников каждой работы;
- обозначение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для проведения научного исследования на тему «крутильные колебания вала центробежного насоса при переходных процессах» формируется перечень основных этапов и работ, проводится распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и инженер. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
Расчеты и разработка имитационной модели крутильных колебаний вала	3	Изучение объекта исследования	Студент
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель

центробежного насоса при переходных процессах	5	Составление расчетной схемы	Студент
	6	Составление уравнения движения	Студент
	7	Нахождение функции угловой скорости и ускорения	Студент
	8	Составление модели исследования крутильных колебаний	Студент, научный руководитель
	9	Нахождение и решение уравнения частот	Студент, научный руководитель
	10	Анализ наработанного материала	Студент, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	12	Составление пояснительной записки	Студент
	13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель

### Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула [22]:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5} \quad (28)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (29)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Разработка графика проведения научного исследования:

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Для наиболее удобной и наглядной реализации данного проекта строится ленточный график исполнения научных работ в виде диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальную ленточную диаграмму, в которой работы по теме представлены протяженными во времени отрезками, характеризующиеся датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для более удобного построения графика, длительность каждого из этапов работ переводится из рабочих дней в календарные. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [22]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (30)$$

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

Определим коэффициент календарности на 2018 год:

при шестидневной рабочей неделе для руководителя:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 68} = 1,23,$$

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

при пятидневной рабочей неделе для студента:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Тогда длительность первой работы в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ (чел-дни)			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	науч. рук-ль	инж-р	науч. рук-ль	инж-р
1. Составление и утверждение технического задания	1	2	2	2	-	2,5	-
2. Изучение и подбор материалов и нормативных документов	6	8	7	-	7	-	10

3. Изучение объекта исследования	7	9	8	-	8	-	12
4. Календарное планирование работ	1	2	2	2	-	2,5	-
5. Составление расчетной схемы	3	5	3	-	3	-	4
6. Составление уравнения движения	2	3	3	-	3	-	4
7. Нахождение функции угловой скорости и ускорения	3	5	4	-	4	-	6
8. Составление модели исследования крутильных колебаний	6	8	7	2	7	9	10
9. Нахождение и решение уравнения частот	5	8	7	2	7	9	10
10. Обработка полученных результатов	3	5	3	3	3	4	4
11. Экономические расчеты	3	4	4	-	4	-	6
12. Безопасность и экологичность проекта	2	3	3	-	3	-	4
13. Составление пояснительной записки	2	3	3	-	3	-	4
Итого	44	66	56	11	45	27	74

На основании таблицы 5.3 строим календарный план-график, представленный в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Календарный план-график

№	Вид работы	Исполнители	T <sub>кi</sub> (кал. дн.)	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	▨											
2	Подбор и изучение материалов и нормативных документов	Студент	10		■										
3	Изучение объекта исследования	Студент	12			■									
4	Календарное планирование работ	Руководитель	3				▨								
5	Составление расчетной схемы	Студент	4					■							
6	Составление уравнения движения	Студент	4						■						
7	Нахождение функции угловой скорости и ускорения	Студент	6							■					
8	Составление модели исследования крутильных колебаний	Руководитель, Студент	10							▨	■				
9	Нахождение и решение уравнения частот	Руководитель, Студент	10								▨	■			
10	Обработка полученных результатов	Руководитель, Студент	4								▨	■			
11	Экономические расчеты	Студент	6										■		
12	Безопасность и экологичность проекта	Студент	4											■	
13	Составление пояснительной записки	Студент	4												■

▨ - руководитель      ■ - студент

Для упорядочения и систематизации технических работ был разработан график занятости для научного руководителя и студента, а также была составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе планирования бюджета НТИ в полной мере должны быть рассчитаны все виды расходов, связанные с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используются следующие затраты по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на амортизацию оборудования;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Полная и дополнительная заработная плата исполнителей темы:

Величина основной зарплаты исполнителей рассчитывается из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов.

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (31)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (32)$$

где  $Z_{дн}$  - среднедневная заработная плата;  $T_p$  - суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Месячная зарплата научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{нр} + k_D) \cdot k_p \quad (33)$$

где  $Z_{окл}$  - заработная плата по тарифной ставке;  $k_{нр}$  - премиальный коэффициент, равный 0,3;  $k_D$  - коэффициент доплат и надбавок, равный 0,35;  $k_p$  - районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя НТИ:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{нр} + k_D) \cdot k_p = 36800 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,3 = 78936 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M}{T_k} = \frac{78936}{26} = 3036 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 3036 \cdot 11 = 33396 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 33396 = 5009 \text{ руб.}$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = 33396 + 5009 = 38405 \text{ руб.}$$

По аналогии рассчитаем заработную плату инженера за данную исследовательскую работу:

$$Z_M = Z_{окл} \cdot (1 + k_{нр} + k_D) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,3 = 36465 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M}{T_k} = \frac{36465}{22} = 1657 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1657 \cdot 45 = 74565 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 74565 = 11185 \text{ руб.}$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = 74565 + 11185 = 85750 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления):

Страховые отчисления рассчитываются по установленным законодательством Российской Федерации нормам органами государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,30 \cdot (74565 + 11185) = 25725 \text{ руб.}$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 01.01.2017 гл.34 НК РФ размер страховых взносов равен 30% [21].

В таблице 5.7 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 5.7 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	33396	5009
Студент	74565	11185
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
<b>Отчисления во внебюджетные фонды</b>		
Руководитель	11521	
Студент	25725	

Накладные расходы:

Накладные расходы включают в себя другие затраты, не включенные в предыдущие статьи расходов. Они определяются по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{нр} \cdot Z_{проч} = 0,16 \cdot (Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) = 0,16 \cdot (107961 + 16194 + 37246 + 4359) = 26522 \text{ руб.}$$

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

Формирование бюджета затрат НИИ:

Бюджет затрат проекта защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции, который основывается на величине затрат научно-технического исследования.

В таблице 5.8 приведен бюджет затрат на научно-техническое исследование по каждому варианту исполнения.

Таблица 5.8 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля в %
1. Материальные затраты	1070	0,55
2. Затраты на основную заработную плату исполнителей темы	107961	55,8
3. Затраты на дополнительную заработную плату исполнителей темы	16194	8,4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	37246	19,3
5. Амортизация	4359	2,25
6. Накладные расходы	26522	13,7
7. Бюджет затрат НТИ	193352	100

#### 5.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность научной разработки можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (34)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, определяется экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Сравнительная оценка характеристик разработки

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки

1. Простота эксплуатации	0,10	3
2. Надежность	0,21	5
3. Энергосбережение	0,14	4
4. Безопасность	0,15	5
5. Быстродействие	0,18	4
6. Долговечность	0,22	4
<b>Итого</b>	<b>1,00</b>	<b>25</b>

Интегральный показатель ресурсоэффективности для исследуемой разработки:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,10 \cdot 3 + 0,21 \cdot 5 + 0,14 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,18 \cdot 4 + 0,22 \cdot 4 = 4,26$$

Рассчитанная оценка ресурсоэффективности разработки является достаточно высокой (4,26), что говорит об эффективности реализуемой разработки с позиции ресурсной эффективности.

В итоге была доказана конкурентоспособность исследования крутильных колебаний центробежного насоса при переходных процессах по сравнению с другими аналогичными разработками, был разработан график занятости, который ограничил выполнение работы в 74 дня. Также был посчитан бюджет НТИ равный 193352 руб, большая часть которого тратится на зарплаты исполнителей проекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Е41	Кузнецову Николаю Сергеевичу

<b>Инженерная школа</b>	Природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.02 «Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <p>1.1. <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p>1.2. <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></p> <p>1.3. <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i></p> <p>1.4 <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p>Территория перекачивающего цеха насосной станции с главным объектом рассмотрения исследования – центробежный насос. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. <i>Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</i></p> <p>1.2. <i>Нормативных мер обеспечения пожаробезопасности, защиты при низких температурах и загрязнении рабочей зоны.</i></p> <p>1.3. <i>Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия.</i></p> <p>1.4. <i>Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), нарушение целостности несущей конструкции, природные воздействия. Их последствия.</i></p>
<p>2. <i>Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</i></p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</p>

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

1. Производственная безопасность	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Токсичные вещества;</li> <li>2. Шум;</li> <li>3. Вибрации;</li> <li>4. Недостаток естественного света;</li> <li>5. Возможные ненормативные метеоусловия;</li> <li>6. Полярный день и ночь.</li> </ol>
2. Экологическая безопасность	<p>По п.3.1.: разработать или описать систему обращения с выбросами платформы.  По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами.  По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами платформы в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11 2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).</p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, внешние воздействия.  Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, внешних воздействий и других ЧС и ликвидации их последствий.</p>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>Описать правовые и организационные вопросы обеспечения труда.</p>
<b>Перечень графического и инструктивного материалов:</b>	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

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

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле Александр Владимирович	К.М.Н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е41	Кузнецов Николай Сергеевич		

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность – это сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости. При разработке новых решений должно обеспечиваться: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду; экономное расходование невозобновляемых природных ресурсов.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники производственной, экологической безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICSSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

### 6.1 Производственная безопасность

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Сливоналивные операции в насосной; 2. Установка и снятие заглушек; 3. Ремонтные и профилактические работы. 4. Дебаланс вала насоса или привода;	1. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу; 2. Превышение уровней шума и вибрации; 3. Недостаточная освещенность	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток; 3. Загорание.	ГОСТ 12.1.038-82[23] ГОСТ 12.1.005-88[24] СанПиН 2.2.4.548-96[25] ГОСТ 12.1.004-91[26] ГОСТ 12.1.007-76[27]

5. Нарушение целостности изоляции.	естественным светом;		ГОСТ 12.1.003-83[28] ГОСТ 12.1.012-90[29]
------------------------------------	----------------------	--	--

## 6.2 Анализ вредных факторов

Наличие токсичных и вредных веществ:

Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования при проведении сливноналивных операций, что может вызвать отравление парами углеводородов [27].

Таблица 6.1 – Свойства сырья, готовой продукции и отходов производства

<b>Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства</b>	<b>Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)</b>	<b>Предельно-допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны мг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 12.1.005-88)</b>
Нефть	Пары обладают наркотическим действием; вызывают отравление; при контакте с кожей возможна пигментация	10 - при перекачке 300 – при хранении
Нефтяной газ	Оказывает физиологическое воздействие, напоминающее опьянение	300
Дизельное топливо	Мало токсично; раздражает слизистую оболочку и кожу человека	300
Масло промышленное	Раздражает кожу и слизистую оболочку глаз	300
Тосол А-65	Не представляет опасности ингаляционных отравлений. Опасен при попадании вовнутрь.	9,6

Ингибитор коррозии СНПХ	Оказывает отравляющее воздействие на организм	40
Деэмульгатор-сепарол	Оказывает отравляющее воздействие на организм	40
Метанол	Оказывает отравляющее воздействие на организм	5

Безопасность при сливноналивных работах обеспечивается применением различных технических и организационных мер:

1) К проведению сливноналивных операций допускаются лица, прошедшие в установленном порядке медицинский осмотр, обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда.

2) Работники, производящие сливноналивные операции, должны быть обеспечены:

- костюмом брезентовым;
- сапогами кирзовыми;
- рукавицами брезентовыми;
- плащом непромокаемым.

на наружных работах зимой дополнительно:

- курткой хлопчатобумажной на утепляющей прокладке;
- брюками хлопчатобумажными на утепляющей прокладке;

3) Рабочее место должно быть обеспечено фильтрующим противогазом на случай аварийной ситуации.

4) На рабочем месте должны быть предусмотрены первичные средства пожаротушения.

5) Железнодорожные пути, эстакады, трубопроводы, сливноналивные шланги с наконечниками должны быть заземлены.

6) Работы во взрывоопасных и пожароопасных местах должны производиться инструментом, исключая образование искр.

7) Освещение резервуарных парков и эстакад должно быть прожекторное. Для местного освещения допускается применение взрывобезопасных аккумуляторных фонарей напряжением 12 В, включение и выключение которых должно производиться вне взрывоопасной зоны.

Защита от шума и вибрации:

Шумом называют комплекс звуков, воспринимаемых органом слуха человека вне зависимости от характера и природы возникновения. Величина шума характеризуется двумя показателями: уровнем звукового давления и эквивалентным (по энергии) уровнем звука. Уровень звукового давления является показателем постоянного шума на рабочем месте и измеряется в децибелах (дБ). Эквивалентный уровень звука является показателем прерывистого, импульсного шума на рабочем месте и измеряется в децибелах по шкале «А» (дБА).

Длительное воздействие интенсивного шума может вызывать понижение чувствительности слухового аппарата. Через слуховую систему шум оказывает вредное влияние на весь организм и в первую очередь на нервную систему человека. Кроме того, производственный шум мешает рабочему сосредоточиться при выполнении работы и снижает его работоспособность. [28]

Эффективным мероприятием по борьбе с шумом является снижение его в источнике образования.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Одним из наиболее вредных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

При длительном воздействии вибрации на человека страдают отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека, а также это приводит к профессиональным заболеваниям, основной из которых является – виброблезнь, признаки которой: головокружение, онемение нижних конечностей и потеря ориентации в пространстве.

Гигиенические нормы вибрации представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Гигиенические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Недостаточная освещенность естественным светом:

Недостаточная освещенность рабочего места ускоряет наступление усталости, снижает внимательность, значительно снижает производительность труда.

Причиной недостаточной освещенности рабочего места может быть и неудовлетворительный уход за светильником, загрязненность ламп, что снижает освещенность на 30 % и более.

Для достижения благоприятных условий труда нужно позаботиться и о правильном освещении, так как недостаточная освещенность рабочего места либо чрезмерные световые контрасты вызывают напряжение зрения и способствуют развитию общего утомления.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03 [25].

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а также зависит от погодных условий. Необходимо обеспечить комнату дополнительным искусственным освещением. В качестве источников искусственного освещения применяются люминесцентные лампы.

В таблице 6.4 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 6.4 - Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3

периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

Микроклимат:

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СанПиН 2.04.05 – 91\* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

### **6.3 Анализ опасных факторов**

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки центробежного насоса. Основными опасными факторами являются: образование пожароопасных смесей газов, опасность загорания (пожара) и возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [26].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

**Пожаровзрывобезопасность:**

Главным источником формирования данного фактора является возможностью возникновения заряда статического электричества вследствие трения слоев нефти (конденсата) друг о друга или со стенкой трубы (оборудования). Электрические заряды при перекачке нефтепродуктов

возникают как в самом нефтепродукте, так и на стенках сосудов, трубопроводов, в которых она находится. Величина возникающего заряда статического электричества в некоторых случаях достаточна для возникновения мощного электрического разряда, который может послужить источником зажигания и возникновения пожара.

Технологические операции с нефтепродуктами, являющимися хорошими диэлектриками, сопровождаются образованием электрических зарядов – статического электричества. Для устранения опасности разрядов статического электричества при технологических операциях необходимо предусматривать следующие меры:

- заземление резервуаров, цистерн, трубопроводов;
- снижение интенсивности генерации зарядов статического электричества путем уменьшения скорости налива при правильном подборе диаметра трубопровода.

Заземляющие устройства для защиты от статического электричества объединены с заземляющими устройствами для электрооборудования и молниезащиты. Ручной отбор проб допускается не ранее, чем через 10 минут после прекращения налива. Пробоотборник должен иметь токопроводящий приваренный к его корпусу медный тросик. Перед отбором пробы пробоотборник должен быть надежно заземлен путем подсоединения медного тросика к клеммному зажиму, расположенному преимущественно на перильном ограждении резервуара.

Осмотр и текущий ремонт заземляющих устройств защиты от проявлений статического электричества должны проводиться одновременно с осмотром и текущим ремонтом технологического и электротехнического оборудования. Измерения электрических сопротивлений заземляющих устройств должны проводиться не реже одного раза в год.

Электропоражение:

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76 [28].

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью.

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

1. Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
2. Электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
3. Механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
4. Биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основными техническими средствами защиты, согласно Правилам устройства электроустановок, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания (зануление), устройства защитного отключения. В целях

профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

Защита от случайного прикосновения:

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в цехах завода обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту. Ограждения применяются как сплошные, в виде кожухов и крышек, применяемые в электроустановках до 1000 В, так и сетчатые, которые имеют двери, запирающиеся на замок.

В электроустановках до 1000 В ограждаются – неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением части оборудования, пусковая аппаратура, открытые плавкие вставки.

В электроустановках выше 1000 В – все без исключения токоведущие части (изолированные и неизолированные) должны быть надежно ограждены сетками, закрыты металлическими дверями, заключены в металлические ящики или расположены на недоступной высоте.

Блокировки применяются в электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях и электрических аппаратах. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях кожух

#### **6.4 Защита окружающей среды**

Работа в насосном цеху сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед

выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившие потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно

закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

### **6.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий**

Чрезвычайна ситуация - опасное природное явление. Она постоянно сопровождают человека, угрожают его жизни, приносят боль, страдания, травмы, гибель людей, повреждают и уничтожают материальные ценности, наносят ущерб окружающей природной среде, обществу, цивилизации.

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при эксплуатации центробежного насоса может быть возникновение пожара. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага. Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в ряде случаев вызывают тяжелые травмы и гибель людей. основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы "О

пожарной безопасности" и "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" определяющие общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации [29].

К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара, организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический

потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [28] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [28].

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Пожар (загорание) – как источник ЧС:

Пожары – неконтролируемый процесс горения. Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного помещения, где используется аккумулятор, например, медицинское оборудование. Класс пожароопасности

таких помещений относят к категории Д. Категория Д - производства, связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в холодном состоянии.

Согласно [24], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания; применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины. [24]

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. В соответствии с требованиями главы СНиП 2.01.02-85 эвакуационные пути должны обеспечивать эвакуацию всех людей, находящихся в помещениях зданий и сооружений, в течение необходимого времени эвакуации. Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий определяют исходя из протяженности эвакуационных путей и скорости движения людских потоков на всех участках пути от наиболее удаленных мест до эвакуационных выходов. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара.

Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

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 [30]: 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.

## **Заключение**

В заключение сформулируем основные результаты, полученные в работе и вытекающие из них выводы:

5. Определены собственные частоты и амплитудные функции крутильных колебаний вала при разгоне.
6. Один из возможных переходных процессов связан с возникновением кавитации жидкости. Это приводит к изменению момента инерции рабочего колеса, заполненного жидкостью, и возникновению крутильных колебаний вала.
7. Полученные результаты можно использовать при расчете прочности и долговечности вала центробежного насоса.
8. Показано, что резкое изменение свойств жидкости вызывает крутильные колебания с большей амплитудой по сравнению с переходным процессом разгона двигателя. Следовательно, в случае перекачивания жидкости с изменяющимися свойствами ресурс долговечности вала понижается.
9. В итоге финансового расчета была доказана конкурентоспособность исследования крутильных колебаний центробежного насоса при переходных процессах, был разработан график занятости. Также был посчитан бюджет НИИ.

## Список использованных источников

1. А.К. Михайлов и В.В. Малюшенко. «Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование» – Москва «Машиностроение», 1977.
2. В.А. Зимницкий и В.А. Умов «Лопастные насосы»: Справочник – Ленинград Машиностроение Ленинградское отделение, 1986.
3. Е.В. Сошников, О.В. Акимов «Центробежные насосы. Испытание насосов». Хабаровск. Издательство ДВГУПС, 2013.
4. Б.М. Елисеев «Расчет деталей центробежных насосов». Москва Машиностроение, 1975
5. М.Д Айзенштейн «Центробежные насосы для нефтяной промышленности». Гостоптехиздат, 1957.
6. В.Я. Карелин. «Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах». Издание 2-е, переработ. и доп. М., «Машиностроение», 1975.
7. В.В. Ключева «Неразрушающий контроль» том 7. Машиностроение, 2005.
8. В.Л. Бидерман. «Прикладная теория механических колебаний». Издательство «Высшая школа», Москва 1972.
9. В.Л. Бидерман. «Теория механических колебаний». Издательство «Высшая школа», Москва 1980.
10. Н.И. Левитский. «Колебания в механизмах». МОСКВА «НАУКА» Главная редакция физико-математической литературы, 1988.
11. Г.Б. Двайт. «Таблица интегралов и других математических формул». Издательство «Наука» главная редакция физико-математической литературы, Москва 1966.
12. Ф.М. Диментберг К.Т Шаталов «Колебания машин». Издание «Машиностроение», Москва 1964.
13. В.М. Логиновских, Д.А. Черданцова и С.П. Пирогова «Исследование крутильных колебаний валов насосных агрегатов» УДК 621.65.03 2017год.
14. Викулова, Н.П. Овчинникова «Динамический расчет ротора насоса» УДК 621.671, 2014год.

15. М.М. Закирничная, Т.Ф. Халитов «Использование высокочастотных составляющих спектра колебаний центробежного насоса для выявления трещин вала в процессе эксплуатации» УДК 621.65:681.518.5, 2011 год.
16. В.Н. Челомей. «Вибрации в технике». Справочник в 6 томах, 1 том. Колебания линейных систем - Москва «Машиностроение», 1978.
17. И.М. Бабаков. «Теория колебаний». Издание третье. Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, Москва 1968.
18. Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе. Руководство по эксплуатации Н03.302.00.00.000 РЭ.
19. Р.Ф Ганиев, В.О Кононенко. «Колебания твердых тел.» Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, Москва 1976.
20. ГОСТ Р 52776-2007 (МЭК 60034-1-2004) «Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики»
21. Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» ред. от 29.12.2016.
22. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы бакалавров и магистров Института природных ресурсов /Сост. С.В. Романенко, Ю.В.Анищенко, – Томск: Изд-во ТПУ, 2016
23. ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность».
24. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
25. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
26. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования».

27. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества.»
28. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности».
29. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования».
30. ГОСТ Р 22.0.02-94 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях».
31. ГОСТ 12.0.230.1-2015 ССБТ Система управления охраной труда.