

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Отделение нефтегазового дела

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы  |
|--|
| <b>Повышение эффективности блочной кустовой насосной станции путем модернизации насосного агрегата</b> |

УДК 621.67-83-027.45-048.35

Студент

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 2Б6Е   | Дао Куанг Дат |         |      |

Руководитель

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

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|------------------------|---------|------|
|           |     |                        |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность   | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН | Якимова Т.Б. | К.Э.Н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Черемискина М.С. | -                      |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент           | Брусник О. В. | К.П.Н                  |         |      |

*Планируемые результаты обучения ООП*

| <i>Код результата</i>               | <i>Результат обучения<br/>(выпускник должен быть готов)</i>   | <i>Требования ФГОС, критериев<br/>и/или заинтересованных сторон</i>  |
|-------------------------------------|---|--|
| <b>Общекультурные компетенции</b>   |   |  |
| P1                                  | Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности.   | <i>Требования ФГОС (ОК-1; ОК-9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОП (п.5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                                      |
| P2                                  | Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.  | <i>Требования ФГОС (ОК-7; ОК-11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОП (п. 5.2.2, п. 5.2.8, п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i> |
| P3                                  | Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.   | <i>Требования ФГОС (ОК-5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОП (п.5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                                     |
| P4                                  | Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность.   | <i>Требования ФГОС (ОК-4; ПК-9; ПК-10), Критерий 5 АИОП (п.5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                                      |
| P5                                  | Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах.   | <i>Требования ФГОС (ОК-2; ОК-3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОП (п. 5.2.12; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                     |
| P6                                  | Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, нефтегазового комплекса и в отраслевых научных организациях.                                   | <i>Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОП (п.5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                                    |
| <b>Профессиональные компетенции</b> |   |  |
| P7                                  | Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в нефтегазовой отрасли, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной продукции. | <i>Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОП (п. 5.2.1; п.5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                                    |
| P8                                  | Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции,   | <i>Требования ФГОС (ПК-1; ПК-3; ПК-26), Критерий 5 АИОП (п.5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с Требованиями международных</i>   |

| <i>Код результата</i> | <i>Результат обучения<br/>(выпускник должен быть готов)</i>  | <i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>   |
|-----------------------|--|---|
|                       | применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций.  | <i>стандартов EUR-ACE и FEANI</i>   |
| P9                    | Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.   | <i>Требования ФГОС (ПК-2; ПК-4; ПК-16), Критерий 5 АИОР (п.5.2.7, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                |
| P10                   | Умение проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.  | <i>Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                            |
| P11                   | Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий нефтегазового производства.              | <i>Требования ФГОС (ПК-6; ПК-12; ПК-14; ПК-15; ПК-24), Критерий 5 АИОР (п.5.2.3; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i> |
| P12                   | Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования.                           | <i>Требования ФГОС (ПК-21; ПК-22; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п.5.2.1; п. 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>              |
| P13                   | Готовность составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.                                 | <i>Требования ФГОС (ПК-11; ПК-13), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7; п.5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                    |
| P14                   | Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.   | <i>Требования ФГОС (ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-25), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4; п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>     |
| P15                   | Умение применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, умение применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в нефтегазовом производстве. | <i>Требования ФГОС (ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.8; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</i>                           |

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

Инженерная школа природных ресурсов \_\_\_\_\_

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» \_\_\_\_\_

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:

| Группа | ФИО           |
|--------|---------------|
| 2Б6Е   | Дао Куанг Дат |

Тема работы:

|  |                       |
|--|-----------------------|
| <b>Повышение эффективности блочной кустовой насосной станции путем модернизации насосного агрегата</b> |                       |
| Утверждена приказом директора  | 28.02.2020, №59-103/с |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 18.06.2020 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |   |
|---|---|
| <b>Исходные данные к работе</b>   | Объектом исследования является центробежный насос типа ЦНС180-1422.   |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор научной литературы по теме;</li> <li>2. Анализ методик расчета;</li> <li>3. Расчет и анализ центробежного насоса ЦНС;</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>5. Социальная ответственность;</li> <li>6. Выводы;</li> <li>7. Список использованной литературы.</li> </ol> |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>                       |   |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>  |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»                       | Доцент Якимова Т. Б.  |
| «Социальная ответственность»  | Ассистент Черемискина М. С.   |
| <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> | 28.02.2020 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 2Б6Е   | Дао Куанг Дат |         |      |

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Уровень образования Бакалавриат

Отделение нефтегазового дела

Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18.06.2020

| Дата контроля | Название раздела / вид работы                                   | Максимальный балл раздела |
|---------------|---|---------------------------|
| 10.03.2020    | Введение, обзор литературы                                      | 10                        |
| 20.03.2020    | Раздел объект и методы исследования                             | 20                        |
| 30.03.2020    | Расчет и аналитика  | 30                        |
| 20.04.2020    | Устранение ошибок   | 10                        |
| 05.05.2020    | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 10                        |
| 20.05.2020    | Социальная ответственность                                      | 10                        |
| 10.06.2020    | Оформление работы   | 10                        |
|               | Итого   | 100                       |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Зиякаев Григорий Ракитович | К.Т.Н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Руководитель ООП | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент           | Брусник Олег Владимирович | К.П.Н                  |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 страницы, 19 рисунков, 21 таблицы, 22 источника.

Ключевые слова: центробежный насос секционный, торцевое уплотнение, механическое уплотнение, блочная кустовая насосная станция, центробежный насос, система уплотнения.

Объектом исследования является центробежный насос типа ЦНС180-1422 для поддержания пластового давления.

Цель работы – ознакомиться с теорией и методами расчетов центробежного насоса блочной кустовой насосной станции в системе ППД.

В процессе исследования проводились расчет и подбор центробежного насоса блочной кустовой насосной станции с помощью программной среды MathCAD.

Полученные результаты: изучены основные методики расчетов центробежного насоса; выведены основные технические параметры центробежные насосы секционные ЦНС; были определены параметры центробежного насоса секционного, а именно: проточный канал рабочего колеса; вал насоса; прижимное усилие, обеспечивающих определенное контактное давление торцевого уплотнения; прочность и жесткость винтовых пружин торцевого уплотнения; мощность, потребляемой торцевым уплотнением и утечка в торцевом уплотнении.

Область применения: нефтяные месторождения разрабатываемые при помощи системы ППД. Результаты могут быть использованы при модернизации блочной кустовой насосной станции.

Экономическая эффективность/ значимость работы: повышение срок службы насоса, снижение потери мощности на трение в насосе, т.е. снижение эксплуатационных расходов БКНС.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БКНС – блочная кустовая насосная станция

КНС – кустовая насосная станция

ЦН – центробежный насос

ЦНС – центробежный насос секционный

СТД – синхронный трехфазный двигатель

АРМ – асинхронный рольганговый модернизированный

РЦВ – разомкнутый цикл вентиляции

ЗЦВ – замкнутый цикл вентиляции

ППД – поддержание пластового давления

EPDM – ethylene propylene diene monomer

ФКМ – fluoroelastomer material

СГДУ – сухое газодинамическое уплотнение

МЖУ – магнитожидкостное уплотнение



## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 11 |
| 1 Обзор литературы .....   | 12 |
| 2 Объект и методы исследование.....  | 14 |
| 2.1 Основные сведения о блочной кустовой насосной станции .....                              | 14 |
| 2.2 Центробежный насосный агрегат для блочной кустовой насосной станции<br>17                |    |
| 2.3 Основные сведения о торцевых уплотнениях валов .....                                     | 20 |
| 3 Повышение эффективности центробежного насоса путем модернизации<br>системы уплотнения..... | 23 |
| 3.1 Принцип работы торцевых уплотнений .....   | 23 |
| 3.2 Основные типы торцевых уплотнений .....  | 24 |
| 3.2.1 Одинарное торцевое уплотнение .....  | 24 |
| 3.2.2 Двойное торцевое уплотнение .....  | 25 |
| 3.2.3 Уплотнение патронного или картриджного типа .....                                      | 29 |
| 3.2.4 Торцевое газовое уплотнение или сухое газодинамическое уплотнение<br>30                |    |
| 3.2.5 Магнитожидкостное уплотнение .....   | 31 |
| 3.3 Конструкции современных торцевых уплотнений .....  | 33 |
| 4 Расчетная часть .....  | 40 |
| 4.1 Расчет проточного канала рабочего колеса.....  | 40 |
| 4.2 Расчет вала центробежного насоса .....   | 47 |
| 4.3 Расчет торцевого уплотнения.....   | 53 |
| 4.3.1 Расчет прижимных усилий, обеспечивающих определенное контактное<br>давление.....       | 53 |
| 4.3.2 Расчет на прочность и жесткость винтовых пружин торцевого<br>уплотнения .....          | 56 |
| 4.3.3 Расчет мощности, потребляемой торцевым уплотнением .....                               | 57 |
| 4.3.4 Расчет утечек в торцевом уплотнении.....   | 58 |
| 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо-сбережение .....                     | 61 |
| 5.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....                                 | 61 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.2   | Анализ конкурентных технических решений .....  | 61 |
| 5.3   | Технология QuaD .....  | 63 |
| 5.4   | SWOT-анализ .....  | 65 |
| 5.5   | Планирование управления исследовательским проектом .....   | 66 |
| 5.5.1 | План проекта .....   | 66 |
| 5.5.2 | Бюджет проекта .....   | 70 |
| 5.5.3 | Отчисления во внебюджетные фонды .....   | 74 |
| 5.5.4 | Накладные расходы .....  | 75 |
| 5.6   | Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..... | 76 |
| 5.7   | Вывод по разделу .....   | 79 |
| 6     | Социальная ответственность .....   | 82 |
| 6.1   | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....  | 82 |
| 6.1.1 | Специальные правовые нормы трудового законодательства .....  | 82 |
| 6.1.2 | Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....  | 84 |
| 6.2   | Профессиональная социальная безопасность .....   | 84 |
| 6.2.1 | Анализ вредных факторов производственной среды .....   | 86 |
| 6.2.2 | Анализ опасных факторов производственной среды .....   | 91 |
| 6.3   | Экологическая безопасность .....   | 95 |
| 6.4   | Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....  | 96 |
| 6.5   | Вывод по разделу .....   | 97 |
|       | Заключение .....   | 98 |
|       | Список используемых источников .....   | 99 |

## **Введение**

Рост добычи нефти обеспечивается не только вводом в разработку новых месторождений, но и постоянным улучшением состояния эксплуатации разрабатываемых и вновь вводимых месторождений. Для повышения нефтеотдачи пластов наиболее эффективным является метод поддержания пластового давления закачки воды, для чего применяются в основном центробежные многоступенчатые секционные насосы ЦНС.

В настоящее время, когда сильно возрастают расходы на эксплуатацию, добычу и поддержание скважин нефтяных месторождений в работоспособном состоянии, очень актуально встает проблема применения и развития нефтепромыслового оборудования, отвечающего этим требованиям. Поэтому данной цели подчинены все виды деятельности научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро и всех предприятий, в той или иной мере связанных с нефтегазопромысловым делом.

Наиболее распространенным типом гидравлических машин для подъема и перекачивания жидкости является центробежный насос. Это объясняется удобством его эксплуатации. Эффективность эксплуатации бурового и нефтепромыслового оборудования определяется совершенством методов технического обслуживания и ремонта.

В данном дипломном проекте рассматривается насос центробежный ЦНС 180-1422 предназначенный для закачивания жидкой среды в продуктивные пласты для повышения нефтеотдачи пласта. С целью модернизации насосного агрегата, а именно установки новых уплотнений у подшипников скольжения и снижения потерь давления на выходной линии насоса, чтобы повышать эффективности блочной кустовой насосной станции для поддержания темпов отбора, пластовой продукции в режиме фонтанирования скважин.

## 1 Обзор литературы

Центробежные насосы широко используются во многих отраслях промышленности, особенно в нефтяной и газовой промышленности. Центробежные насосы (ЦН) в составе технологических установок незаменимы при поддержании пластового давления для повышения нефте- и газоотдачи в продуктивные пласты.

Насосы на нефтяных промыслах обычно располагаются в насосных станциях (первого и второго водоподъема, кустовых и нефтяных), представляющих собой закрытое капитальное помещение, в котором располагаются насосы и приводящие двигатели, аппаратура управления и контроля насосных агрегатов, электрическая высоковольтная и низковольтная аппаратура, а также бытовые помещения.

В качестве насосных станций для закачки воды в нефтяные пласты в системе ППД применяют кустовые насосные станции КНС, которые изготавливаются на базе центробежных насосных агрегатов ЦНС 180 и ЦНС 500 и блочная кустовая насосная станция (БКНС) которая состоит из следующих блоков: насосных, низковольтной аппаратуры, управления, гребенки и бытового. Каждый из блоков имеет фундаментную плиту, на которой монтируется весь комплекс оборудования и укрытие. Часть оборудования, например некоторое высоковольтное, монтируется без укрытия, если это допускают условия его установки и эксплуатации, а также требования безопасности. БКНС комплектуются насосами ЦНС 180. Подача блочных насосных станций с насосами ЦНС 180 достигает 17280 м<sup>3</sup>/сутки [1].

Одним из основных узлов центробежного насоса, от которого во многом зависит безотказная работа насоса, является узел уплотнения вращающегося вала [3]. Для герметизации вращающегося вала центробежного насоса применяются сальниковые, манжетные, лабиринтные, динамические, комбинированные уплотнения. Эти уплотнения не в равной степени отвечают требованиям, предъявляемым к уплотнениям вращающегося вала центробежных насосов, применяемых в нефтяной и газовой промышленности.

К концу 20 века в качестве концевых уплотнений роторов ЦН наибольшее применение имели бесконтактные радиально-щелевые уплотнения с плавающими кольцами и подводом затворной жидкости, гидростатические уплотнения, и торцовые уплотнения с масляным затвором, конструкции которых рассматриваются в монографии. Основным недостатком вышеперечисленных типов уплотнений является необходимость включения в технологическую схему агрегата, системы обеспечения циркуляции уплотнительной жидкости. Давление подводимой к уплотнениям жидкости, например масла, на всех режимах работы ЦК должно превышать уплотняемое давление, которое может достигать 10 МПа и выше. Это обстоятельство приводит к загрязнению компримируемого газа и безвозвратным потерям уплотнительной жидкости (масла). Проникновение уплотнительного масла в технологический процесс приводит к существенным финансовым потерям.

Кроме того, узел уплотнения вращающегося вала также являются наиболее слабыми узлами турбомашин. В центробежных насосах около 16% всех неисправностей составляет выход из строя упорных подшипников, а почти 40-80% отказов и производственных потерь происходит из-за выхода из строя уплотнений [4]. Поэтому весьма важным является вопрос повышения эффективности центробежного насоса путем модернизации системы уплотнения.

Целью работы является вынести необходимое техническое решение по модернизации центробежного насоса за счет установки новых уплотнений у подшипников скольжения и снижения потерь давления на выходной линии насоса, которое в разы повысит срок службы насоса и улучшит показатели эффективности.

## 2 Объект и методы исследование

### 2.1 Основные сведения о блочной кустовой насосной станции

Блочная кустовая насосная станция (БНКС) предназначена для закачки воды из поверхностных, подземных источников или промышленных очищенных сточных вод в нагнетательные скважины для поддержания давления в разрабатываемом продуктивном горизонте нефтяного месторождения [1]. БНКС представляет собой помещение (блок-бокс) с окнами, дверью, воротами, системой отопления, освещения вентиляцией, сигнализацией и со встроенным в него насосным агрегатом.

Технологическая схема БНКС изображена на рисунке 1.

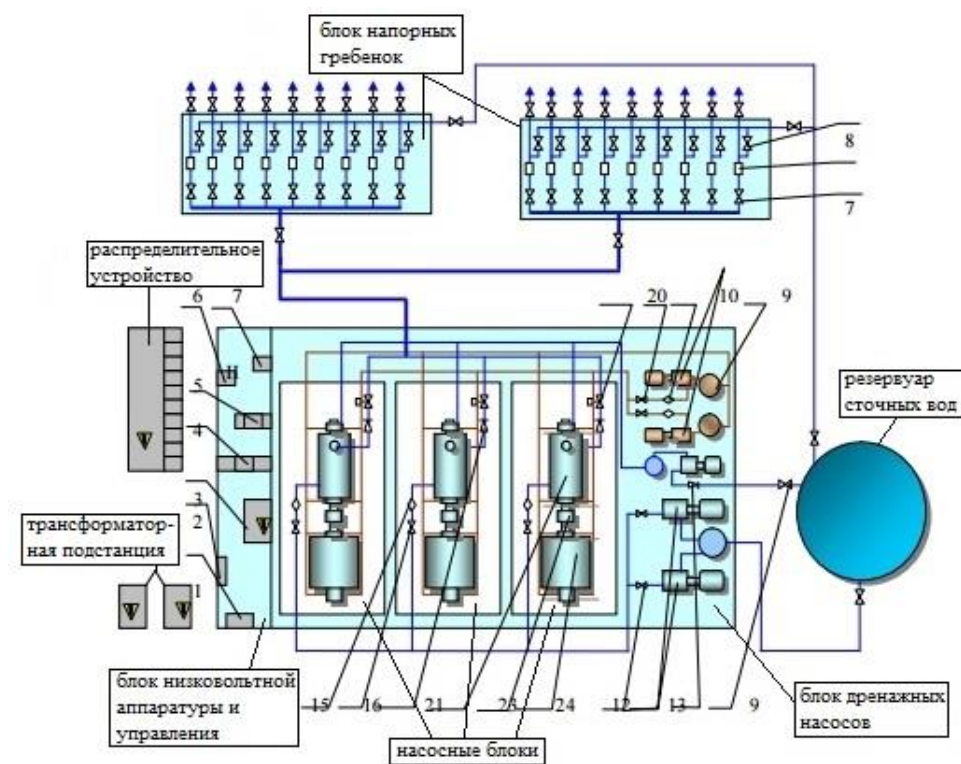


Рисунок 1 – Технологическая схема БНКС

Применение кустовых насосных станций обеспечивает концентрированное расположение оборудования на оборудованных площадках, возможность сокращения подъездных дорог, уменьшение объемов обслуживания оборудования. При этом недостатками кустовых насосных станций являются большая

протяженность высоконапорных водоводов, частое несоответствие рабочих параметров насосных установок и нагнетательных скважин (суммарный расход и давление воды). В связи с этим значительная часть энергии, потребляемая насосными установками, не используется, а их энергоэффективность снижается.

Конструкция БКНС представляет собой один или несколько блок-модулей, в которых уже установлен весь комплект необходимого оборудования в заводских условиях. На место эксплуатации станции поставляются готовыми к подключению линии транспорта воды в скважину, что сокращает сроки введения в эксплуатацию. Количество блок-модулей зависит от производительности БКНС, количества насосов и состава технологического оборудования.

Блок-модуль – это каркасная конструкция, выполненная из металлических профилей и обшитая сэндвич-панелями. Внутри корпуса предусмотрена система отопления, естественной и приточной вентиляции, освещения, пожарной и охранной сигнализацией, а также сигнализаторами загазованности и другими контрольно-измерительными приборами, которые способствуют безопасной эксплуатации процесса жизнеобеспечения кустовой насосной станции. Специально размещенная дренажная система с трубопроводами защищает блок-корпус от затопления в случае разгерметизации насосной группы и других элементов.

Основные технические данные и характеристики БКНС приведены в таблица 1.

Таблица 1 – Основные технические данные и характеристики БКНС с насосами типа ЦНС180[1]

| Показатели  | БКНСx100<br>(с насосами<br>ЦНС 180-1050) | БКНСx150<br>(с насосами<br>ЦНС180-1422) | БКНСx200<br>(с насосами<br>ЦНС180-1900) |
|---|--|---|---|
| Номинальная подача насоса, м <sup>3</sup> /сут                          | 180                                      | 180                                     | 180                                     |
| Давление нагнетания, МПа  | 10,0                                     | 14,0                                    | 18,6                                    |
| Давление в приемном патрубке насоса, МПа, не более                      | 2,7                                      | 2,7                                     | 2,7                                     |
| Давление в системе охлаждения, МПа                                      | 0,196                                    | 0,196                                   | 0,196                                   |
| Давление в системе отвода воды из сальников и подпятника, МПа, не более | 0,98                                     | 3,90                                    | 3,90                                    |

|   |  |             |             |
|---|--|-------------|-------------|
| Максимальный расход воды на охлаждение и подпор сальников на один насосный агрегат, м <sup>3</sup> /ч | 25   | 30          | 30          |
| Температура закачиваемой воды, °С   | 8-40   | 8-40        | 8-40        |
| Потребляемая насосом мощность на номинальном режиме, кВт  | 675  | 970         | 1150        |
| Мощность электродвигателя, кВт  | 800  | 1250        | 1600        |
| Частота вращения вала электродвигателя, мин <sup>-1</sup>   | 3000   | 3000        | 3000        |
| Напряжение питания электродвигателя, В  | 6000(10000)  | 6000(10000) | 6000(10000) |
| Напряжение в сети питания вспомогательных устройств, В  | 380/220  | 380/220     | 380/220     |
| Вид тока питания электродвигателей  | Трехфазный переменный с промышленной частотой 50 Гц          |             |             |
| Давление в маслосистеме, МПа  | 0,28   | 0,28        | 0,28        |
| Циркуляционный расход масла на один насосный агрегат, м <sup>3</sup> /ч                               | 2,1  | 2,1         | 2,1         |
| Условный проход, мм:  |  |             |             |
| приемного трубопровода  | 150  | 150         | 150         |
| нагнетательного трубопровода  | 125  | 125         | 125         |
| трубы на приеме блока гребенки  | 200  | 200         | 200         |
| трубы на выходе блока гребенки  | 100  | 100         | 100         |
| Условный проход труб подвода и отвода воды на охлаждение, мм:   |  |             |             |
| для ЗЦВ   | 100  | 100         | 100         |
| для РЦВ   | 50   | 100         | 100         |
| Габаритные размеры блоков, мм:  |  |             |             |
| длина   | 10000  | 10000       | 10000       |
| ширина  | 3200   | 3200        | 3200        |
| высота  | 3260   | 3260        | 3260        |
| Максимальная масса блока, кг:   |  |             |             |
| РЦВ   | 18000  | 21900       | 23000       |
| ЗЦВ   | 19800  | 22600       | 24400       |
| Масса блока гребенка, кг, не более  | 13170  | 13470       | 13470       |
| Отопление БКНС  | За счет теплоизбытков оборудования, дежурное – электрическое |             |             |
| Вентиляция  | Приточно-вытяжная с механическим побуждением                 |             |             |
| Автоматизация   | Комплексная  |             |             |

Основу БКНС составляют центробежные насосные агрегаты различной производительности с электродвигателем, в том числе во взрывозащищенном исполнении. Задача насосов - повышение давления технологической воды до уровня, необходимого для нагнетания в пласт.



Состав БКНС и число насосных блоков в ней зависят от промышленных условий. Насосный блок (рисунок 2) предназначен для подачи воды под давлением в напорную линию системы заводнения.

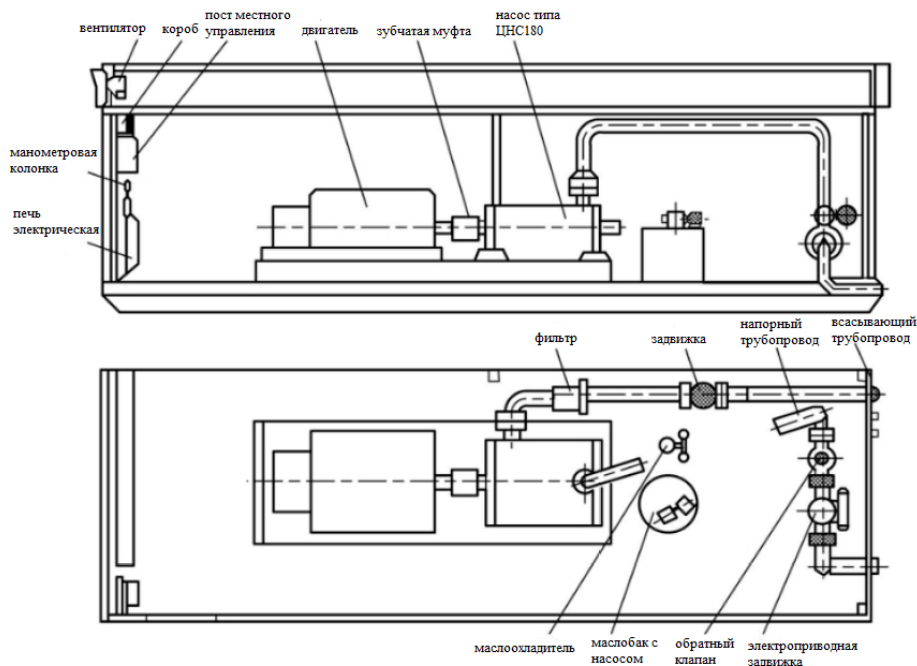


Рисунок 2 – Насосный блок

## 2.2 Центробежный насосный агрегат для блочной кустовой насосной станции

В качестве основного оборудования БКНС используют многоступенчатые секционные центробежные насосы типа ЦНС с приводом синхронных электродвигателей серии СТД со статическим возбуждением или асинхронных электродвигателей серии АРМ. Центробежные насосные агрегаты на базе центробежных насосов предназначены для нагнетания воды в скважину с целью поддержания пластового давления.

Насосы типа ЦНС (рисунок 3) представляет собой центробежный секционный насос в горизонтальном или вертикальном исполнении. Как рабочий орган в таких секционных агрегатах используется многоступенчатое рабочее колесо. Секционным устройство называется потому, что его рабочая камера

выполнена в виде нескольких последовательных секций (количество зависит от количества рабочих колес). Все колеса секционного агрегата последовательно соединены и смонтированы на один стальной вал, который приводится в движение электродвигателем [2]. При вращении колеса последовательно перемещают жидкость из одной ступени (секции) в другую по внешнему или внутреннему каналу насоса.

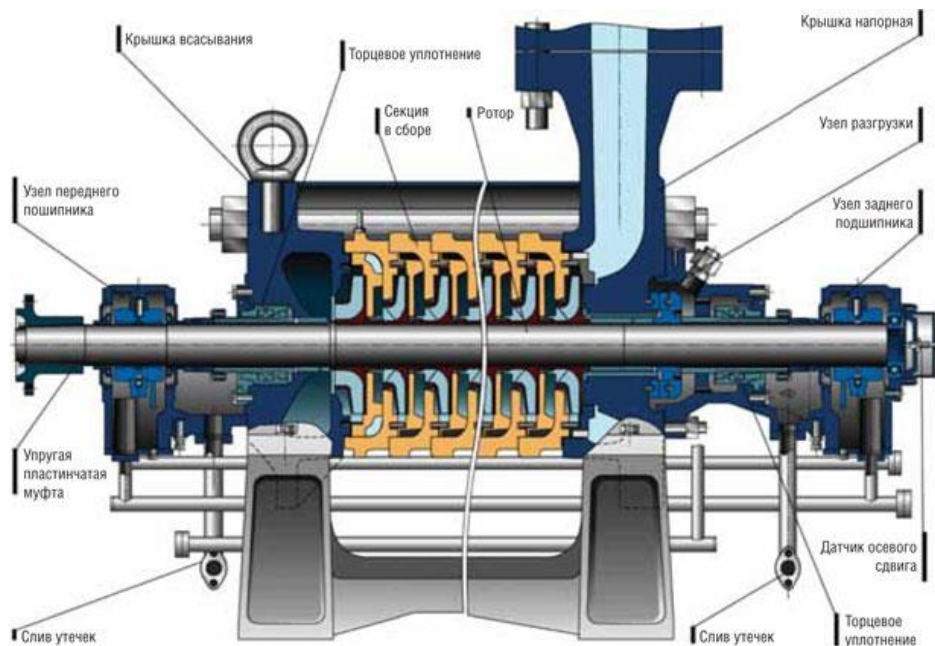


Рисунок 3 – Центробежный насос типа ЦНС180

Конструктивные особенности и преимущества:

- насосы разработаны с применением новейших методов гидродинамического компьютерного моделирования, с целью оптимизации параметров и снижения виброактивности.
- применение наплавов и покрытий для повышения КПД и снижения скорости эрозионного износа.
- в корпусах подшипников предусмотрены места под установку датчиков контроля температуры и вибрации подшипниковых узлов, с целью предотвращения выхода насоса из строя.
- камеры уплотнений выполнены в соответствии со стандартом API 682.

- по требованию заказчика размеры фланцев могут быть выполнены в соответствии со стандартами AISI/DIN.
- возможность полнокомплектной поставки на общей раме.
- комплектация упругой пластинчатой муфтой, не требующей обслуживания и снижающей виброактивность агрегата.
- подшипниковые узлы с различными вариантами исполнений – с принудительной или картерной смазкой.
- конструкция насоса с возможностью установки как сальниковых, так и торцевых уплотнений. При перекачивании жидкости с присутствием механических частиц применяются гидроциклоны.
- максимальная унификация корпусных деталей, позволяющая значительно снизить расходы на установку, обслуживание и ремонт, минимизировать склад запасных частей.

Технические характеристики центробежных насосных агрегатов ЦНС180 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики центробежных насосных агрегатов [1]

| Показатели                                       | Центробежный насосный агрегат |             |             |               |
|--|-------------------------------|-------------|-------------|---------------|
|  | ЦНС180-1050                   | ЦНС180-1422 | ЦНС180-1900 | ЦНС630-1700   |
| Подача, м <sup>3</sup> /ч                        | 180                           | 180         | 180         | 150, 500, 650 |
| Напор, м   | 1050                          | 1422        | 1900        | 1850          |
| Допускаемый кавитационный запас, м, не более     | 7                             | 7           | 7           | 16            |
| Допускаемое давление на входе, МПа               | 0,6 – 3,1                     | 0,6 – 3,1   | 0,6 – 3,1   | 3,0           |
| КПД, %   | 73                            | 73          | 73          | 78            |
| Частота вращения (синхронная), мин <sup>-1</sup> | 3000                          | 3000        | 3000        | 3000          |
| Потребляемая мощность на номинальном режиме, кВт | 710                           | 960         | 1280        | 3740          |
| Насос:   |                               |             |             |               |
| число секций                                     | 8                             | 11          | 15          | 8             |
| диаметр рабочих колес, мм                        | 308                           | 308         | 308         | 402           |
| Габаритные размеры, мм:                          |                               |             |             |               |
| длина  | 2263                          | 2640        | 3022        | 2809          |

|  |      |       |       |            |
|--|------|-------|-------|------------|
| ширина   | 1396 | 1510  | 1430  | 1340       |
| высота   | 1434 | 1510  | 1505  | 1477       |
| Масса, кг  | 3500 | 4000  | 4860  | 7000       |
| Электродвигатель:  |      |       |       |            |
| мощность, кВт  | 800  | 1200  | 1600  | 4000       |
| напряжение, В  | 6000 | 6000  | 6000  | 6000/10000 |
| частота вращения, мин <sup>-1</sup>  | 3000 | 3000  | 3000  | 3000       |
| <i>Насосный агрегат (с электродвигателем серии СТД с разомкнутым циклом, вентиляции (РЦВ))</i> |      |       |       |            |
| Габаритные размеры, мм:  |      |       |       |            |
| длина  | 5232 | 5890  | 6372  | 6760       |
| ширина   | 1396 | 1510  | 1430  | 1340       |
| высота   | 1434 | 1510  | 1505  | 1477       |
| Масса, кг  | 8380 | 11800 | 12790 | 24220      |
| <i>Насосный агрегат (с электродвигателем серии СТД с замкнутым циклом вентиляции (ЗЦВ))</i>    |      |       |       |            |
| Габаритные размеры, мм:  |      |       |       |            |
| длина  | 5232 | 5890  | 6372  | –          |
| ширина   | 1840 | 1990  | 1990  | –          |
| высота   | 1434 | 1510  | 1505  | –          |
| Масса, кг  | 9011 | 11230 | 12830 | –          |

Применение большой гаммы насосов типа ЦНС позволяет снизить капитальные и эксплуатационные расходы, оптимизировать использование оборудования в такой энергозатратной сфере добычи нефти и газа, которой является поддержание пластового давления.

### **2.3 Основные сведения о торцевых уплотнениях валов**

Торцевое механическое уплотнение, также механическое уплотнение, является типом уплотнения, используемым во вращающемся оборудовании, для обеспечения герметизации вала. Рассматриваемый узел центробежного насоса играет важную роль в гидравлической части, поскольку от него напрямую зависит долговечность, надежность агрегата, экономическая эффективность.

Торцевое уплотнение помимо герметизации выполняют еще и защитную функцию, примером может служить предотвращение попадания влаги в подшипник. Пара трения – основной элемент уплотнения который обеспечивает герметичность.

В качестве материалов пары трения широкое применение получили: графит, керамика, карбид кремния, силицированный графит, карбид титана и карбид вольфрама. Материалы уплотнения выбирают с учетом анализа характеристик перекачиваемой среды, режимов работы и технических характеристик центробежного насоса.

Торцовое уплотнение, входящее в состав центробежного насоса, имеет следующие эксплуатационные характеристики:

- наименование уплотняемой среды;
- температура уплотняемой среды;
- давление уплотняемой среды;
- затворная среда;
- давление затворной среды;
- температура и давление эксплуатации;
- допустимый перепад давления;
- режим работы насоса;
- утечки затворной жидкости;
- скорость вращения вала;
- установленный ресурс;
- срок эксплуатации.

За последние годы торцевые уплотнения зарекомендованы, как эффективный и качественный способ герметизации различного производственного, насосного и прочего оборудования. К достоинствам торцевых уплотнений следует отнести [4]:

- отличную герметичность;
- низкий коэффициент трения;
- хорошую ремонтпригодность;
- минимизацию расходов на обслуживание;
- повышенную надежность и долговечность;

- пригодность для работы в различных средах;
- возможность работы при высоком давлении;
- повышенный ресурс работы.

Выбор механических уплотнений экономически целесообразен. Несмотря на то, что первоначальные экономические затраты на установку примерно выше на 61%, в отличие от сальников, оно не требует никакого вмешательства в течение 2 лет, в отличие от плетеной набивки, техническое обслуживание которой производится с периодом в каждые 2 месяца эксплуатации, а спустя 6 месяцев появляется необходимость в замене втулки и набивки. Так, после замены втулки сальника с набивкой себестоимость с учетом эксплуатационных расходов превышает затраты на применение механического уплотнения, а спустя 24 месяца расходы возрастают до 500 % по сравнению с изначальными.

Торцовые уплотнения нашли свое применение в транспортных средствах, бытовой технике, энергетике и насосостроении, химической и нефтяной промышленности, а также в авиационной и космической технике.

### 3 Повышение эффективности центробежного насоса путем модернизации системы уплотнения

Торцовые уплотнения получили широкое распространение, так как обеспечивают практически полную герметичность [13]. Поэтому техническим решением для модернизации центробежного насоса является установка новых торцевых уплотнений. За счет установки новых уплотнений будет повышаться эффективность насоса и снижать потерь давления на выходной линии насоса.

#### 3.1 Принцип работы торцевых уплотнений

Торцовые уплотнения лишены большинства недостатков сальниковой набивки, но они значительно дороже и требуют более квалифицированного подхода при подборе, установке, эксплуатации и замене. Торцевое уплотнение состоит из двух базовых частей. Одна часть уплотнения неподвижна, а другая часть закреплена на валу насоса и вращается вместе с ним, плотно прилегая к неподвижной части с помощью специальных пружин, т.е. одна поверхность уплотнения скользит по другой. Стоит отметить, что данное описание торцевых уплотнений очень упрощено. В действительности существует большое разнообразие типов торцевых уплотнений, которые могут быть рекомендованы к использованию в зависимости от конструкции самого насоса и технических параметров перекачиваемой жидкости.

Наиболее простая конструкция торцевого уплотнения состоит из 7 элементов, представленных на рисунке 4:

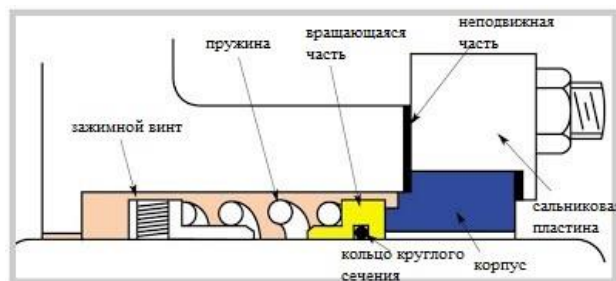


Рисунок 4 – Основы торцевого уплотнения на примере одинарного торцевого

Торцевое уплотнение имеет несколько основных точек уплотнения:

- уплотнение между неподвижной и подвижной частью уплотнения;
- уплотнение между неподвижной частью и поверхностью сальника;
- уплотнение между вращающимся элементом и валом. Это называется вторичным уплотнением и чаще всего представляет из себя уплотнительное кольцо из эластомера (например, EPDM, VITON, FKM и т.д.).

Основой конструкции торцевого уплотнения называются соприкасающиеся поверхности подвижной и неподвижной части. Они должны быть абсолютно плоскими и изготавливаются из очень твердых материалов. Например, карбида кремния или карбида вольфрама. Стоит отметить, что большую роль в «долгой жизни» торцевого уплотнения вала играет правильная центровка между валом насоса и электродвигателем (или мотор-редуктором). Если центровка будет не точной, то даже очень качественное уплотнение быстро выйдет из строя. Это особенно критично, если вал насоса вращается с высокой скоростью. Между вращающейся и неподвижной поверхностью торцевого уплотнения находится так называемая «жидкая пленка», если бы части уплотнений соприкасались между собой «на сухую», то они бы очень быстро сторели в результате сильного трения.

## **3.2 Основные типы торцевых уплотнений**

### **3.2.1 Одинарное торцевое уплотнение**

Одинарное торцевое уплотнение является самым простым уплотнением. Применяется там, где не требуется полная герметичность насоса. Важным моментом является то, что торцевые одинарные торцевые уплотнения существуют внешние и внутренние.

Внутренние одинарные торцевые уплотнения используются там, где присутствует повышенное давление нагнетания в насосе.



Внешнее торцевое уплотнение используется при повышенной абразивности жидкости, но в случаях повышенного давления (напора) насоса данное уплотнение может потерять свои свойства. Данный факт надо рассматривать в каждом конкретном случае учитывая рекомендации производителя насосного оборудования.

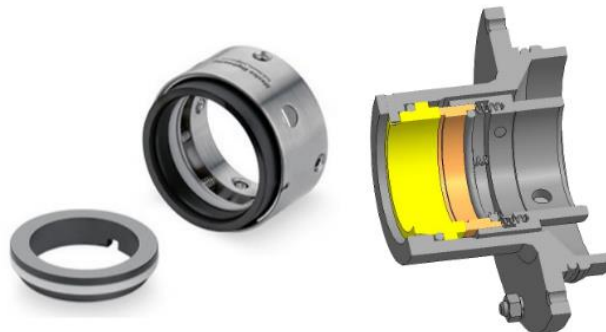


Рисунок 5 – Одинарное торцевое уплотнение вала

Одинарное торцевое уплотнение отлично подойдет для насосов, которые перекачивают светлые нефтепродукты (если это разрешено регламентом завода), различные некристаллизующиеся пищевые жидкости, крема, косметику и т.д. Также одинарное торцевое уплотнение можно применять при перекачке битума, мазута, нефти и широкого спектра других жидкостей. Важно, чтобы выполнялось 2 основных условия – это физическая совместимость торцевого уплотнения с перекачиваемой жидкостью (химический состав, температура перекачки и т.д.) и чтобы жидкость не была подвержена кристаллизации. Стоит отметить, что во многих случаях возможность эксплуатации одинарного торцевого уплотнения можно установить только опытным путем.

### 3.2.2 Двойное торцевое уплотнение

Двойное торцевое уплотнение, состоящее из двух одинарных торцевых уплотнений [13]. Двойные торцевые уплотнения практически полностью устраняют вероятность утечки продукта или газа при работе насоса. Они

используются при перекачке токсичных, ядовитых и других опасных жидкостей, т.е. там, где недопустима даже минимальная протечка. Использование двойного торцевого уплотнения оправдано в следующих случаях:

- перекачка опасной жидкости;
  - перекачка дорогой жидкости;
  - перекачка жидкостей склонных к кристаллизации;
  - перекачка газообразных или мультифазных жидкостей.
- в тех случаях, когда одинарное торцевое уплотнение слишком быстро выходит из строя.

Очень важное преимущество двойного торцевого уплотнения перед одинарным – это наличие «запирающей жидкости», т.е. трущиеся поверхности уплотнений изолированы от перекачиваемой среды, а наличие «жидкой пленки» обеспечивает «запирающая жидкость». Тем самым обеспечивается не только надежная защита от протекания, но и значительно увеличивается срок службы самого уплотнения. В роли «запирающей жидкости» может выступать обычная вода, масла на минеральной или синтетической основе и ряд других жидкостей. Существует три основных конфигурации двойных торцевых уплотнений: спина к спине; тандем; лицом к лицу.

### **Двойное торцевое уплотнение «спина к спине»**

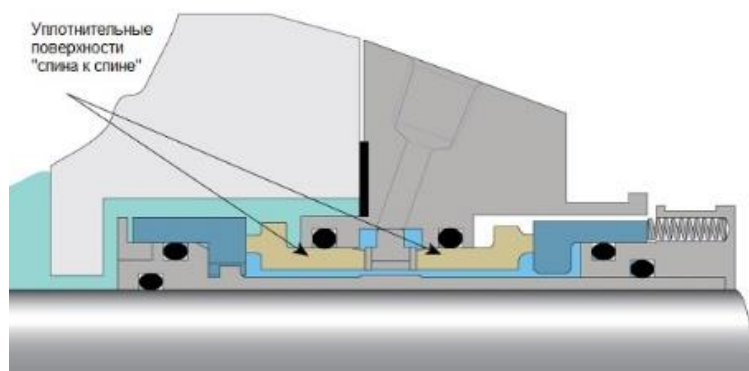


Рисунок 6 – Двойное торцевое уплотнение «спина к спине»

В этой конфигурации двойного уплотнения две поверхности уплотнения устанавливаются вплотную противоположно друг к другу. Уплотнения расположены внутри сальника. Эта конфигурация популярна в настоящее время.

Её преимущества:

- легкое выравнивание скользящих поверхностей;
- не подвержено фреттинг износу;
- компактный размер;
- часто предлагается в виде удобного картриджа;
- обратное давление балансируется при двойной балансировке;
- высокий уровень производительности.

Недостатки:

- ограниченное давление «запирающей жидкости» из-за риска поломки уплотнения;
- не справляется с обратным давлением, если нет двойной балансировки;
- «запирающая жидкость» при поломке уплотнения может попасть в перекачиваемый продукт.

### Двойное торцевое уплотнение типа «тандем»

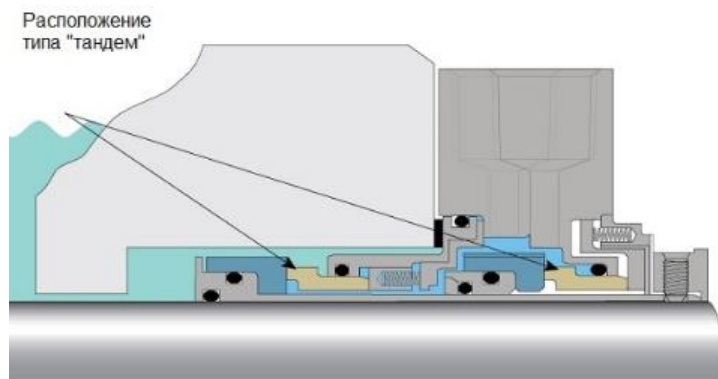


Рисунок 7 – Двойное торцевое уплотнение типа «тандем»

Эта конфигурация, когда два набора торцевых уплотнений ориентированы одинаково и установлены последовательно. Эту конфигурацию часто называют «лицом к спине». Она часто используется в двойных уплотнениях.

Преимущества:

- возможность высокого давления «запирающей жидкости»;
- второе уплотнение обеспечивает резервную защиту;
- возможность работы с абразивными жидкостями;
- очень популярно в нефтеперерабатывающей промышленности.

Недостатки:

- большая осевая длина, чем у уплотняющих устройств «спина к спине»;
- сложная, дорогая конструкция.

### **Двойное торцевое уплотнение «лицом к лицу»**

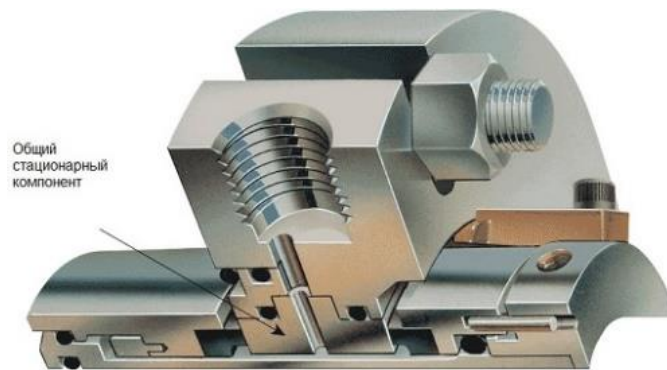


Рисунок 8 – Двойное торцевое уплотнение «лицом к лицу»

Такая конфигурация уплотнения может использоваться, когда оборудование ограничено в пространстве для размещения «спина к спине» или «тандемных» уплотнений. В этой конфигурации часть уплотнения установлена в камере насоса, а остальная часть установлена снаружи камеры.

Преимущества:

- простая конструкция;
- малая осевая длина;
- легко обрабатывает твердые и загрязненные среды;
- довольно распространены благодаря простоте изготовления и низкой стоимости.

Недостатки:

- не обеспечивается резервное уплотнение, как в «тандеме»;
- уплотнения используют общий стационарный компонент.

### 3.2.3 Уплотнение патронного или картриджного типа

На практике доказано, что конструкция механического уплотнения на основе патрона позволяет добиться повышения надежности. Такие уплотнения предварительно собираются производителем, проходят опрессовку и отгружаются в виде цельного блока, что дает возможность улучшить производительность за счет сокращения ошибок, связанных с неверной установкой. Конструкция на основе патрона позволяет избавиться от необходимости измерять и настраивать сжатие пружины, а предварительная сборка механического уплотнения – гарантия того, что поверхности уплотнения защищены от повреждений при установке. Пример одинарного картриджного уплотнения можно увидеть на рисунке 9.

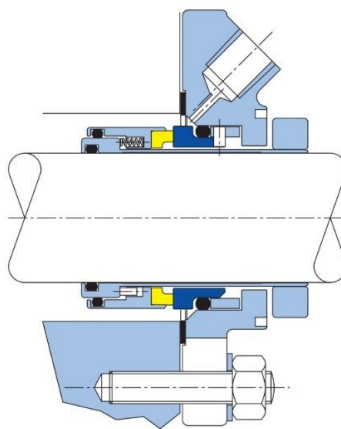


Рисунок 9 – Одинарное картриджное уплотнение SCUSI™

Конструкция уплотнения патронного типа:

- пружины установлены в неподвижной части уплотнения, что позволяет большие скорости вращения;
- динамические нагруженные вторичные уплотнения установлены на "атмосферной" части уплотнения, что препятствует блокировке их работы в результате отложения рабочей жидкости;

- динамические нагруженные вторичные уплотнения не находятся в контакте с втулкой вала и поэтому не оказывают влияние на центровку втулки по отношению к валу;
- компактность уплотняющих поверхностей обеспечивает оптимальную передачу вращающего момента, даже при максимальных допускаемых угловых и осевых отклонений вала;
- конструкция многопружинных уплотнений обеспечивает равномерное распределение нагрузок на уплотняющую поверхность;
- пружины не находятся постоянно под динамической нагрузкой и не находятся в контакте с рабочей жидкостью, что препятствует их блокировке и обеспечивает надежную работу;
- двойная гидравлическая разгрузка обеспечивает надежное уплотнение и беспрепятственную работу, даже при резких колебаниях давления и полностью исключает возможность резкого отказа уплотнения.

### **3.2.4 Торцевое газовое уплотнение или сухое газодинамическое уплотнение**

Сухие газодинамические уплотнения похожи на торцевые уплотнения, но механического контакта между уплотняющими втулками при нормальной работе нет. Проблема при использовании традиционных "масляных" уплотнений, т.е., обычных торцевых уплотнений в двойном режиме, состоит в риске перегрева из-за высоких окружных скоростей, особенно, если при этом и давление среды высокое. Природный газ под давлением  $70 \text{ кгс/см}^2$  и при частоте вращения  $6500 \text{ об/мин}$  очень сложно уплотнить обычным "масляным" уплотнением.

В отличие от "масляных" уплотнений, в "сухих" уплотнениях контакта между уплотняющими втулками нет и, соответственно, нет нагрева. Между уплотняющими втулками имеется малый зазор из-за "всплывания" втулки с

канавками над гладкой втулкой. Так как сухие газодинамические уплотнения используются, в основном, для уплотнения валов компрессоров (нагнетателей), то они изготавливаются по требованиям стандарта для компрессоров API 617. Некоторые технические требования также указаны в стандарте API 682 (стандарт по торцовым уплотнениям), так как сухие уплотнения используются также и для уплотнения валов насосов.

В опорах компрессоров промышленных газотурбинных двигателей наибольшее распространение получили торцевые сухие газодинамические уплотнения (СГДУ) производства компании John Crane.

Пример газодинамического уплотнения можно увидеть на рисунке 10.

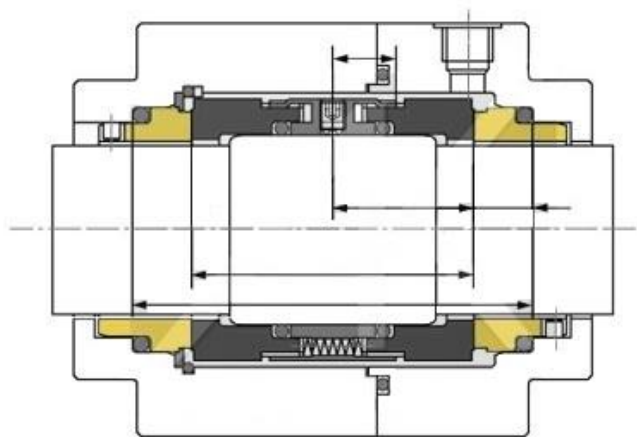


Рисунок 10 – Сухое газодинамическое уплотнение

Недостатком данного вида уплотнения является, высокая стоимость и сложность конструкции.

### 3.2.5 Магнитожидкостное уплотнение

Магнитожидкостное уплотнение (МЖУ) является подвижным механическим узлом, в котором уплотняющим элементом служит магнитная жидкость, удерживаемая в системе канавок с помощью постоянных магнитов и обеспечивающая высокий уровень герметичности. Надёжность вводов вращения обусловлена присутствием жидкости в уплотняющих зазорах между подвижными

и неподвижными деталями и, как следствие, крайне низким трением. А расположенные в корпусе магнитожидкостного уплотнения подшипники принимают на себя осевую и радиальную нагрузки от вала. Пример такого уплотнения изображено на рисунке 11.

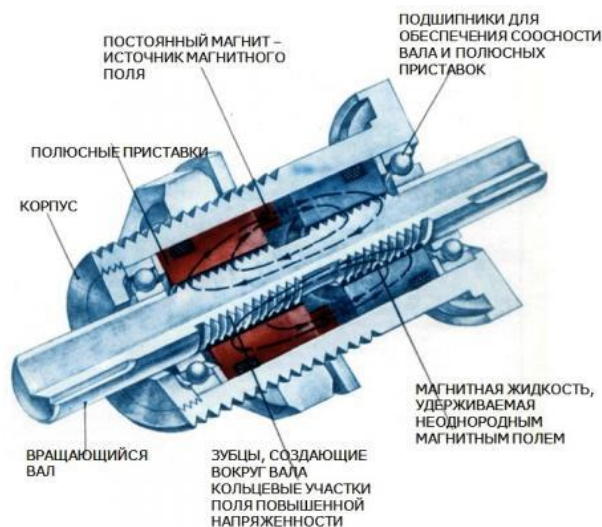


Рисунок 11 – Магнитожидкостное уплотнение

Преимущества МЖУ:

- не требуют обслуживания и расходных материалов;
- обеспечивают длительный ресурс (не менее 10 лет);
- низкий момент сопротивления вращению (в 5 раз ниже, чем классическое сальниковое);
- не выделяют продуктов износа;
- высокая степень герметизации. Глубина вакуума не хуже  $10 - 6$  Па. Натекание по гелию не более  $10 - 12$  м<sup>3</sup>Па/с (для справки: натекание по гелию сальникового уплотнения  $10 - 8$  м<sup>3</sup>Па/с);
- самовосстановление при прорыве;
- радиационная стойкость;
- бактериологическая стерильность.

Однако при высоких перепадах давления МЖУ применять нельзя, это, пожалуй, один из недостатков данного типа уплотнений.



### 3.3 Конструкции современных торцевых уплотнений

На протяжении многих лет уплотнения подвергались изменениям (как внешне, так и конструктивно). Однако стоит разобраться, были ли реальные улучшения в их производительности или увеличенный срок службы уплотнений, связан с контролем внешних условий, таких как промывка, охлаждение или использование сальника в корпусе. Будут рассмотрены наиболее существенные улучшения (изменения) в конструкции торцевых уплотнений, которые были сделаны, способствующие более продолжительному сроку службы торцевых уплотнений:

- общепринятая конструкция гидравлически сбалансированных уплотнений, которая устраняет основной источник нежелательного тепла на торцевых уплотнениях;
- конструкции, в которых пружины сохраняют герметичность уплотнения;
- стационарные конструкции уплотнений, которые уменьшают проблемы, связанные с отсутствием сальникового уплотнения, контактирующего с валом;
- использование уплотнительных колец, позволило снизить проблему скольжения динамических эластомеров;
- самоцентрирующиеся уплотнительные поверхности (обе стороны подпружинены), позволяют сделать герметизацию горизонтально разделенных насосов более надежной;
- конструкция картриджного уплотнения, которая свела к минимуму вероятность повреждения уплотнения при его неправильной установке и перегреве вала насоса;
- гидравлически-разгруженные, неподвижные картриджные уплотнения;
- незаполненные поверхности уплотнения углерода, которые устраняют большинство проблем химической совместимости, которые возникали в процессе уплотнения в насосах;

- использование специального эластомера Viton, который обладает отличными свойствами для герметизации воды;
- применение эластомеров Chemraz и Kalrez, которые позволяют торцевым уплотнениям быть химически-совместимыми практически с любой жидкостью;
- создание альфа-спеченных граней карбида кремния, которые не только устойчивы к воздействию коррозии большинства жидкостей, но и являются отличными проводниками тепла;
- отказ от тефлонов в большинстве торцевых уплотнениях, так как он был основной причиной износа вала насоса;
- конструкции сварных металлических сильфонов, устраняющие проблемы эластомеров в криогенных и других сферах, при высоких температурах;
- разрезная конструкция уплотнений, которая исключила необходимость использования сальниковой набивки в насосах;
- методы анализа конечных элементов, которые позволяют разрабатывать небольшие поперечные уплотнения, предназначенные для использования в условиях высокого давления;
- использование трубопроводов рециркуляции всасывания, вместе с крупногабаритным сальником, для устранения большинства проблем, связанных с герметизацией суспензий и шламов.

Итак, какие еще улучшения можно внести в конструкции торцевых уплотнений для разработки новых образцов:

- элиминирование эластомеров из процесса герметизации, позволит повысить предельно-допустимую температуру эксплуатации торцевого уплотнения и увеличит перечень жидкостей допустимых с использованием, как в качестве перекачиваемой среды, так и в виде промывочной жидкости;
- ограничение использования конструкции таких уплотнений, которые могут привести к чрезмерному аксиальному перемещению без изменения их поверхностной нагрузки;

- устранение барьерной или буферной жидкости между сдвоенными механическими уплотнениями;
- контроль температуры в зоне сальниковой набивки, без использования воды или пара, т.к. в большинстве случаев температура жидкости в сальниковой набивке, должна находиться определенных пределах, во избежание попадания этой жидкости в перекачиваемый продукт;
- оснащение контрольно-измерительными приборами, для определения кавитации в насосе, излишнего прогиба вала, высокой температуры и других факторов, сокращающих срок службы торцевого уплотнения;
- применение надежных адгезионных уплотнительных поверхностей для предотвращения налипания твердых частиц к компонентам вращающегося уплотнения.

Ниже представлены иностранные патенты для модернизации торцевого уплотнения центробежного насоса.

Патент WO2010132010(US) – Дополнительный уплотняющий торец в подвижной части уплотнения [5].

Нововведение: в подвижной части 2 присутствует уплотняющий торец 3 и перемещается в осевом направлении по отношению к неподвижной части 1, и смещено от неподвижной части 1 посредством пружины 4.

Преимущества: повышена герметичность узла.

Недостатки: дополнительный узел трения.

В предложенном варианте торцевого уплотнения, изображенного на рисунке 12, подвижная часть 2 содержит кольцевой уплотнительный элемент 5 с имеющимся уплотнительным торцом 3, на ее верхней поверхности, упругую втулку 6, которая выполнен из жаропрочного материала, с тем чтобы выдержать тепло, которое возникает время работы торцевого уплотнения. Уплотнительный элемент 5 рекомендуется выполнять из твердого сплава, карбида кремния, карбид алюминия, или тому подобное. Упругая втулка 6 выполнена с возможностью

размещения между уплотнительным элементом 5 и держателе 7. В предлагаемом варианте, уплотнительный элемент 5 помещен в осевое углубление 8 в упругие втулки 6, а упругая втулка 6 посажен в осевое углубление 9 в держателе 7. В соответствии с предлагаемым вариантом, уплотнительный элемент 5 удерживается в упругие втулки 6 с помощью трения, а упругая втулка 6 удерживается в держателе 7, также при помощи трения. Таким образом, уплотнительный элемент 5, упругая втулка 6 и водило 7 соединены для совместного движения в виде одной подвижной части 2.

Настоящее изобретение, предназначенное для совместного вращения с валом насоса, содержит базовый элемент и подвижную часть, в которой базовый элемент может быть соединен с приводным валом для совместного с ним движение. Подвижная часть представляет уплотнительную торцевую поверхность и подвижна в осевом направлении по отношению к базовому элементу, и смещена от базового элемента с помощью пружины, в которой подвижная часть и базовый элемент, содержащий взаимодействующий штифт крутящего момента для совместного вращательного движения подвижной части с базовым элементом.

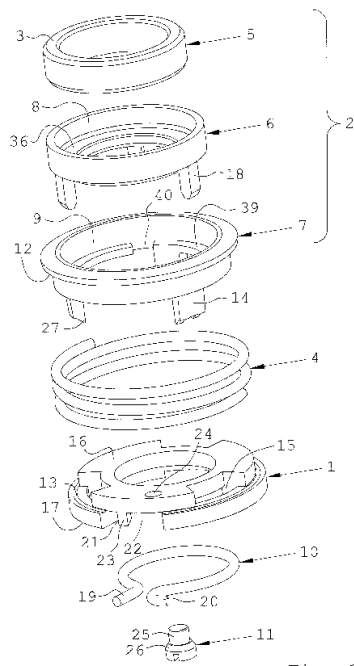


Fig. 1

Рисунок 12 – Конструкция торцевого уплотнения WO2010132010

Патент WO2009113942(US) – Торцовое уплотнение, методы монтажа [6].

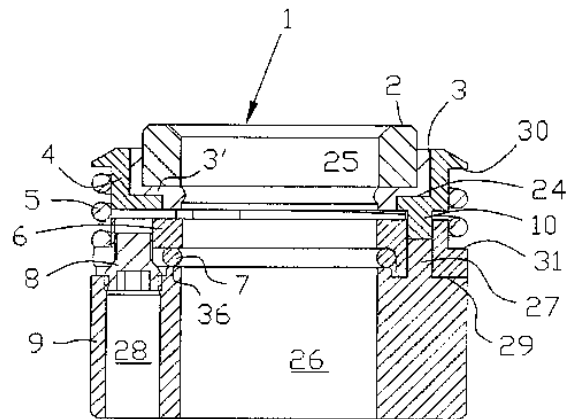


Рисунок 13 – Торцовое уплотнение WO2009113942

Нововведение: наличие стягиваемого кольцевого зажима.

Преимущества: неподвижный элемент становится неподвижным и аксиально не вращаемым чтобы обеспечить надлежащее осевое смещение уплотнительного элемента на поверхности сплошного приводного вала.

Недостатки: несовершенство уплотнительного материала, вследствие чего недостаточная герметичность.

Из верхней части чертежа, уплотнительный узел содержит уплотнительный кольцевой элемент 1, представляя уплотнительный торец 2 в его верхнем конце. Цифрой 3 показывает кольцевой уплотнительный элемент, выполненный из эластомерного материала, эластомер уплотнение 3 выполнен с возможностью размещения между уплотнительным элементом 1 и носителем 4. Пружина сжатия 5 расположена между кольцевым неподвижным элементом 6 и держателем 4, пружины сжатия, оказывающего осевое усилие, которое применяется смещение к несущим и уплотнительными элементов в осевом направлении. Неподвижный элемент 6 выполнен с возможностью осевого и не поворотно-вращаемого с приводным валом с помощью открытого кольцевого зажима 7, который выполнен с возможностью размещения во внутренней периферии неподвижного кольца 6.

Патент US6729622B2 – подготовка к монтажу торцового уплотнения [7].

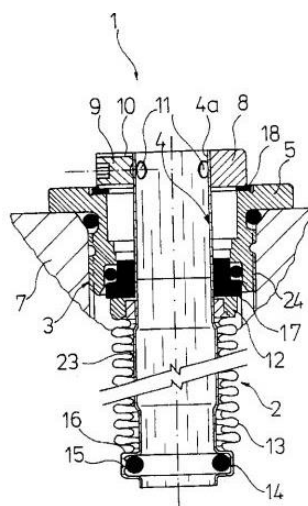


Рисунок 14 – Быстросъемный картридж торцевого уплотнения

Нововведение: быстросъемный картридж.

Преимущества: упрощение ремонтных работ по замене уплотнения за счет быстро меняющегося картриджа.

Недостатки: недостаточная герметичность из-за пары трения.

Готовая к установке осевое торцевое уплотнение обозначенный в целом позицией 1 содержит вращающийся узел 2, строительство которого может быть четко признано на фиг. 2, с колпачком для защиты от вала 4 и неподвижного блока 3 с монтажной деталью 5, с которой осевое торцевое уплотнение 1 прикреплено к частично показанному корпусу насоса 7. Осевое торцевое уплотнение 1 сидит на валу 6.

Кроме того, вал защитный рукав 4 на продольном сечении 4а выступающем из корпуса насоса 7 содержит крепежное кольцо 8, который на внешней стороне расположен на секции посредством нескольких винтов 9. Винты 9 сидят в радиальных резьбовых отверстиях 10 крепежного кольца 8.

Вращающийся блок 2 включает в себя, пружина 13 сжатия, которая оказывает осевое усилие на осевой торцевой поверхности уплотнительного кольца 12 и внутренним эластичным уплотнительным кольцом 14. Пружина сжатия 13, может, как показано на рисунке 14, представлять собой металлический сильфон или также спиральная пружина.

Неподвижная часть 3, который окружает пыльники состоит из сборочной части 5 и встречного кольца 17, которое удерживается сборочной частью и на которых торцовое уплотнительное кольцо 12 в осевом направлении несет посредством силы сжатия пружины 13.

Осевое торцовое уплотнение, отличающийся тем, что втулка защиты вала имеет толщину стенки, которая составляет 1,5% до 6%, предпочтительно от 2% до 4% от диаметра вала насоса.

## 4 Расчетная часть

Для подбора центробежного насоса блочной кустовой насосной станции в системе ППД, требуется провести следующие расчеты:

- Расчет проточного канала рабочего колеса;
- Расчет вала центробежного насоса;
- Расчет торцевого уплотнения (включает в себя расчет прижимных усилий, обеспечивающих определенное контактное давление; расчет на прочность и жесткость винтовых пружин торцевого уплотнения; расчет мощности, потребляемой торцовым уплотнением и расчет утечек в торцевом уплотнении) [10-14].

### 4.1 Расчет проточного канала рабочего колеса

Исходными данными для расчета являются основные параметры насоса:

- Подача насоса  $Q = 180 \text{ м}^3 / \text{час} = 0,05 \text{ м}^3 / \text{с}$ ;
- Напор насоса  $H = 1400 \text{ м}$ ;
- Частота вращения вала насоса  $n = 3000 \text{ об} / \text{мин} = 50 \text{ об} / \text{с}$ ;
- Количество ступеней в насосе  $m = 11$ ;
- Плотность перекачиваемой жидкости  $\rho = 1000 \text{ кг} / \text{м}^3$ .

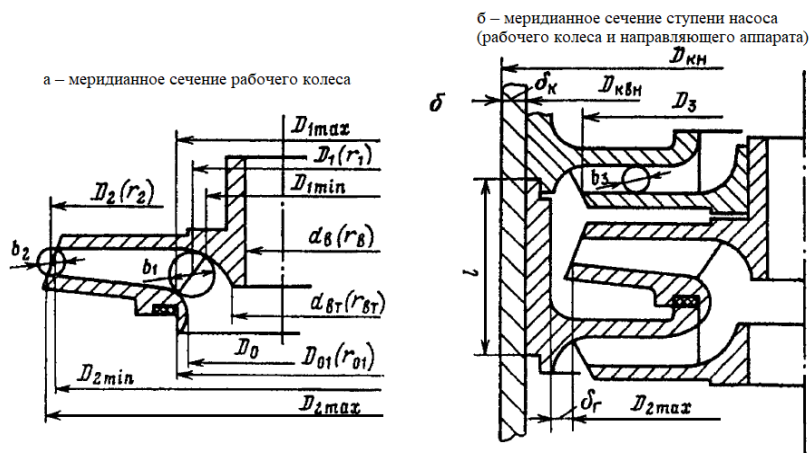


Рисунок 15 – Конструкция ступени насоса с отводным аппаратом



Для проведения расчета проточных каналов нужно рассчитать размеры меридианного сечения рабочего колеса на рисунке 15а и отвода на рисунке 15б. Этот расчет можно провести в такой последовательности:

1. Определяем коэффициент быстроходности по формуле:

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H_{cm}^{3/4}}; \quad (4.1)$$

где  $n$  – частота вращения колеса, об/мин;  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H_{cm}$  – статический напор, создаваемый одной ступенью, м.

$$H_{cm} = \frac{H}{m} = \frac{1400}{11} = 127,273 \text{ м};$$

$$n_s = 3,65 \cdot 3000 \cdot \frac{\sqrt{0,05}}{127,273^{3/4}} = 64,617.$$

$n_s = 65$  – центробежный насос является тихоходным (лопатки цилиндрические).

2. Определяется расход жидкости в каналах рабочего колеса по формуле:

$$Q_k = \frac{Q}{\eta_{об}}, \text{ где } \eta_{об} \text{ – объемный КПД.} \quad (4.2)$$

Объемный КПД насоса зависит от коэффициента быстроходности колеса  $n_s$ , формула была получена А.А. Ломакиным:

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot (n_s)^{-2/3}} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 64,617^{-2/3}} = 0,959;$$

$$Q_k = \frac{0,05}{0,959} = 0,052 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

3. Определяется приведенный диаметр входа в рабочее колесо по формуле:

$$D_{1np} = k_{вх} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k}{n}}, \text{ где } k_{вх} \text{ – коэффициент входа.} \quad (4.3)$$

Д.Я. Суханов определил коэффициент входа  $k_{вх}$  в пределах 1,02 и 1,15 на основе анализа статистических данных. В течении последних лет рекомендовали

принимать значение этого коэффициента в пределах от 0,9 до 1,28. Для расчетов примем  $k_{ex} = 0,95$ .

$$D_{1np} = 0,95 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,052}{50}} = 0,096 \text{ м.}$$

4. Определяется общий КПД насоса:

$$\eta = \eta_z \cdot \eta_{об} \cdot \eta_m; \quad (4.4)$$

где  $\eta_z$  – гидравлический КПД насоса;

$\eta_{об}$  – объемный КПД насоса;

$\eta_m$  – механический КПД насоса.

Предварительная оценка КПД насоса может быть получена на основе формул, предложенных А.А. Ломакиным для определения:

– механического КПД насоса обычно находится в пределах  $\eta_m = 0,95 \div 0,98$ ,

принимаем  $\eta_m = 0,95$ ;

– гидравлического КПД

$$\eta_z = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 96 - 0,172)^2} = 0,872;$$

где  $D_{1np}$  – приведенный диаметр входа в рабочее колесо, мм.

– общий КПД насоса

$$\eta = 0,872 \cdot 0,959 \cdot 0,95 = 0,795.$$

5. Определяется мощность насоса (потребляемая насосом) по формуле:

$$N = \frac{Q_k \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta}; \quad (4.5)$$

где  $H$  – общий напор насоса;  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости.

$$N = \frac{0,052 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 1400}{0,795} = 900,4 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 900,4 \text{ кВт.}$$

6. Определяется диаметр вала по формуле:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{N}{n \cdot [\tau]}}; \quad (4.6)$$

где  $[\tau]$  – допустимое напряжение материала вала при кручении, Па. Для расчета прием  $[\tau] = 12 \div 25$  МПа.

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{900,4 \cdot 10^3}{50 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,097 \text{ м.}$$

7. Определяется внешний диаметр втулки по формуле:

$$d_{BT} = (1,20 \div 1,35) \cdot d_B = 1,2 \cdot 0,097 = 0,116 \text{ м.} \quad (4.7)$$

8. Определяется диаметр входа в колесо по формуле:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_k}{\pi \cdot C_o} + d_{BT}^2}; \quad (4.8)$$

где  $C_o$  – осевая скорость жидкости у входа, м/с.

Зависимость С. С. Руднева используется для определения значения осевой скорости жидкости у входа  $C_o$  в пространстве между  $D_o$  и  $d_{BT}$  (без учета подкрутки потока).

$$C_o = (0,9 \div 1,28) \cdot \sqrt[3]{Q_k \cdot n^2} = 1,05 \cdot \sqrt[3]{0,052 \cdot 50^2} = 5,323 \text{ м/с};$$

Отсюда, диаметр входа в колесо:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{3,14 \cdot 5,323} + 0,116^2} = 0,161 \text{ м.}$$

Так как значение диаметра входа в колесо нужно округляться до целого четного числа, то примем  $D_o = 162$  мм.

9. Определяется диаметр колеса у входной кромки лопасти по зависимости:

$$D_1 = (0,8 \div 0,9) D_o = 0,85 \cdot 0,162 = 0,138 \text{ м.} \quad (4.9)$$

10. Определяется ширина канала рабочего колеса у входной кромки лопасти по формуле:

$$b_1 = \frac{Q_k}{\pi \cdot D_1 \cdot C_{om}}; \quad (4.10)$$

где  $C_{om}$  – скорость потока на входе у лопастей до стеснения ими проходного сечения, примем  $C_{om} \cong C_o$ .

$$b_1 = \frac{0,052}{3,14 \cdot 0,138 \cdot 5,323} = 0,023 \text{ м.}$$

11. Определяется угол входной кромки лопасти по следующей формуле:

$$\beta_{1л} = \beta_1 + \delta; \quad (4.11)$$

где  $\delta = 5 \div 10^\circ$  – угол атаки;  $\beta_1$  – угол закругления лопасти.

Угол закругления лопасти  $\beta_1$  определяется по выражению:

$$\text{tg } \beta_1 = \frac{C_{1m}}{u_1}; \quad (4.12)$$

где  $C_{1m}$  – осевая скорость жидкости, м/с;  $u_1$  – окружная скорость жидкости, м/с.

$$C_{1m} = k_1 \cdot C_{om} = 1,12 \cdot 5,323 = 5,962 \text{ м/с}; \quad (4.13)$$

где  $k_1 = 1,1 \div 1,25$  - коэффициент стеснения проходного сечения лопастями на входе колеса, выбирая  $k_1 = 1,12$ .

$$u_1 = \frac{\omega \cdot D_1}{2} = \frac{314 \cdot 0,138}{2} = 21,63 \text{ м/с.} \quad (4.14)$$

где  $\omega$  – угловая скорость.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с.}$$

После преобразования и вычисления составляющих получим:

$$\beta_1 = \text{arctg} \left( \frac{5,962}{21,63} \right) \approx 16^\circ;$$

$$\beta_{1л} = 7^\circ + 16^\circ = 23^\circ.$$

Обычное значение угла входной кромки лопасти находится в пределах  $\beta_{1л} = 18^\circ \div 35^\circ$ . Можно сделать вывод о том, что полученный результат удовлетворяет условию.

12. Определяется средний внешний диаметр колеса последовательным вычислением:

- теоретический напор, создаваемый одной ступенью

$$H_m = \frac{H_{cm}}{\eta_c} = \frac{127,273}{0,872} = 145,948 \text{ м}; \quad (4.15)$$

- коэффициент окружной составляющей абсолютной скорости жидкости при выходе из колеса

$$C_{2,m} = 2 \cdot (1 - \rho_k); \quad (4.16)$$

где  $\rho_k = 0,7 \div 0,75$  – коэффициент реакции для насоса.

$$C_{2,m} = 2 \cdot (1 - 0,75) = 0,5 \text{ м/с};$$

- окружная скорость

$$u_2 = \sqrt{\frac{g \cdot H_m}{C_{2,m}}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 145,948}{0,5}} = 53,512 \text{ м/с}; \quad (4.17)$$

Отсюда, внешний диаметр колеса:

$$D_2 = \frac{2 \cdot u_2}{\omega} = \frac{2 \cdot 53,512}{314} = 0,341 \text{ м}. \quad (4.18)$$

13. Определяется ширина канала рабочего колеса у выходной кромки лопасти по формуле:

$$b_2 = \frac{Q_k}{\pi \cdot D_2 \cdot C_{2m\infty}}; \quad (4.19)$$

Для получения меридиональной скорости жидкости на выходе из колеса, взятая без учета стеснения проходного сечения лопастями  $C_{2m\infty}$  используется зависимость

$$C_{2m\infty} = (0,8 \div 1,1) \cdot C_{0m} = 0,95 \cdot 5,323 = 5,057 \text{ м/с}; \quad (4.20)$$

Тогда получим:

$$b_2 = \frac{0,052}{3,14 \cdot 0,341 \cdot 5,057} = 9,629 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

14. Определяется угол выходной кромки лопасти по формуле:

$$\sin \beta_2 = \sin \beta_{1л} \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_{2m\infty}}{C_{1m}}; \quad (4.21)$$

где  $k_2 = 1,04 \div 1,1$  – коэффициент стеснения проходного сечения лопастями на выходе из колеса.

Для расчетов насосов с  $n_s = 50 \div 120$  принимают  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = 1,1 \div 1,2$ .

Тогда получим:

$$\beta_2 = \arcsin \left( \frac{23^0 \cdot \pi}{180^0} \cdot 1,2 \cdot \frac{1,07}{1,12} \cdot \frac{5,057}{5,323} \right) = 22,4^0.$$

15. Определяется оптимальное число лопастей по формуле К.Пфлейдерера:

$$z_{л} = k \cdot \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \cdot \sin \frac{\beta_2 + \beta_{1л}}{2} = 6,5 \cdot \frac{0,341 + 0,138}{0,341 - 0,138} \cdot \sin \left( \frac{22,4^0 + 23^0}{2} \right) = 6; \quad (4.22)$$

При лопастях относительно большой толщины  $k = 6,5$ .

16. Проверка расчета

$$C_{2m} = k_2 \cdot C_{2m\infty} = 1,07 \cdot 5,057 = 5,411 \text{ м/с.}$$

Находят новые значения коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$ :

$$k_1 = \frac{1}{1 - \left( \frac{z_{л} \cdot S_1}{\pi \cdot D_1 \cdot \sin(\beta_{1л})} \right)} = \frac{1}{1 - \left( \frac{6 \cdot 0,0035}{3,14 \cdot 0,138 \cdot \sin(23^0)} \right)} = 1,143;$$

$$k_2 = \frac{1}{1 - \left( \frac{z_{л} \cdot S_2}{\pi \cdot D_2 \cdot \sin(\beta_2)} \right)} = \frac{1}{1 - \left( \frac{6 \cdot 0,003}{3,14 \cdot 0,341 \cdot \sin(22,4^0)} \right)} = 1,044.$$

Здесь  $S_1, S_2$  – толщина лопасти на входе и выходе.

При этом относительные скорости:

$$\omega_1 = k_1 \cdot \frac{C_{1m}}{\sin(\beta_{1л})} = 1,143 \cdot \frac{5,323}{\sin(23^0)} = 18,189 \text{ м/с;}$$

$$\omega_2 = k_2 \cdot \frac{C_{2m}}{\sin(\beta_2)} = 1,044 \cdot \frac{5,411}{\sin(22,4^{\circ})} = 14,829 \text{ м/с};$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{18,189}{14,829} = 1,226.$$

Так как расхождение величин  $k_1$ ,  $k_2$  при первом и втором приближении в пределах 2 – 3%, то расчет можно считать законченным.

## 4.2 Расчет вала центробежного насоса

Валы центробежного насоса проверяют на статическую прочность, выносливость и динамическую устойчивость.

Для проверки на статическую прочность необходимо знать крутящий момент на валу, который определяется мощностью, потребляемой насосом, и частотой вращения вала. Для точного расчета мощности насоса надо определить гидравлические, объемные потери, потери энергии в сальниках, опорах и в узлах разгрузки осевого усилия у рабочих колес.

1. Определяются потери мощности на дисковое трение рабочего колеса, *Вт*

$$N_{\text{дт}} = \frac{1}{32} \cdot (1 - \eta_n) \cdot c_f \cdot \rho \cdot D_k^5 \cdot \omega^3; \quad (4.23)$$

где  $c_f$  – коэффициент, зависящий от числа Рейнольдса *Re* в щели;

$\eta_n = 0,2$  – коэффициент, учитывающий насосный эффект дисков;

$D_k = 0,341 \text{ м}$  – наружный диаметр колеса;

$\omega = 314 \text{ рад/с}$  – угловая скорость вращения вала;

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность перекачиваемой жидкости.

$$c_f = \frac{0,0275}{\sqrt[5]{\text{Re}}} = \frac{0,0275}{\sqrt[5]{6,328 \cdot 10^7}} = 7,57 \cdot 10^{-4};$$

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot \nu} = \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,001 \cdot 1,006 \cdot 10^{-6}} = 6,328 \cdot 10^7;$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость воды в 20<sup>0</sup>С, м<sup>2</sup>/с.

Отсюда, потери мощности на дисковое трение:

$$N_{dm} = \frac{1}{32} \cdot (1 - 0,2) \cdot 7,57 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 \cdot 0,341^5 \cdot 314^3 = 2705 \text{ Вт.}$$

2. Определяются потери мощности на трение в радиальных опорах скольжения, Вт

$$N_o = \frac{f \cdot P_o \cdot D_g \cdot \omega}{2}; \quad (4.24)$$

где  $P_o$  – радиальная сила в опоре, Н;  $f$  – коэффициент трения стальной вращающейся детали в материале опоры: для баббита  $f = 0,1$ ;  $D_g$  – диаметр вала, м.

$$P_o = \frac{m_g + m_{p.k}}{2} \cdot g; \quad (4.25)$$

где  $m_g$  – масса вала, кг;  $m_{p.k}$  – масса рабочих колеса, кг.

$$m_g = \frac{\pi \cdot D_g^2}{4} \cdot l_g \cdot \rho_g; \quad (4.26)$$

где  $l_g = 3,05$  м – длина вала;  $\rho_g = 7850$  кг / м<sup>3</sup> – плотность стали вала.

$$m_g = \frac{3,14 \cdot 0,097^2}{4} \cdot 3,05 \cdot 7850 = 176,931 \text{ кг}; \quad m_{p.k} \approx 2,4 \text{ кг};$$

$$P_o = \frac{176,931 + 11 \cdot 2,4}{2} \cdot 9,81 = 997,336 \text{ Н};$$

Отсюда, потери мощности на трение в радиальных опорах скольжения:

$$N_o = \frac{0,1 \cdot 997,336 \cdot 0,097 \cdot 314}{2} = 1520 \text{ Вт.}$$

3. Определяются потери мощности на трение в уплотнении, Вт

Потери мощности на трение в торцевом уплотнении подробно рассчитаны в расчете торцевого уплотнения, получаем  $N_y = 4264$  Вт.

4. Определяется сумма механических потерь мощности по формуле:

$$\sum N_n = z_c \cdot N_{dm} + z_n \cdot N_o + z_y \cdot N_y; \quad (4.27)$$



где  $z_c, z_n, z_y$  – число соответственно ступеней, опор и уплотнений.

$$\sum N_n = 11 \cdot 2705 + 2 \cdot 1520 + 2 \cdot 4264 = 40,83 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

5. Мощность насоса определяется по формуле:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta_z \cdot \eta_{об}} + \sum N_n; \quad (4.28)$$

где  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – создаваемый напор на выходе насоса, м;  $Q$  – производительность насоса, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_z$  – гидравлический КПД;  $\eta_{об}$  – объемный КПД.

Из ранее приведенного расчета колеса  $\eta_z = 0,872$ ;  $\eta_{об} = 0,959$ .

Отсюда получаем мощность насоса:

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 1400 \cdot 0,05}{0,872 \cdot 0,959} + 40,83 \cdot 10^3 = 862 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 862 \text{ кВт.}$$

Дальше рассчитаем вал на статическую прочность, для этого определим напряжения кручения, изгиба и растяжения (сжатия).

6. Напряжение кручения определяется по формуле:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_k}; \quad (4.29)$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент на валу, Н·м;  $W_k$  – полярный момент сопротивления, м<sup>3</sup>.

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega} = \frac{862 \cdot 10^3}{314} = 2744 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot D_e^3}{16} - \frac{b \cdot t \cdot (D_e - t)^2}{2 \cdot D_e};$$

где  $b$  и  $t$  – ширина и глубина шпоночного паза, м.

Согласно ГОСТу 23360-78 [9], для валов диаметром от 95 мм до 110 мм  $b = 28 \text{ мм}$ ;  $t = 10 \text{ мм}$ .

$$W_{\kappa} = \frac{3,14 \cdot 0,097^3}{16} - \frac{0,028 \cdot 0,01(0,097 - 0,01)^2}{2 \cdot 0,097} = 1,683 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

Тогда получаем напряжение кручения:

$$\tau = \frac{2,744 \cdot 10^3}{1,683 \cdot 10^{-4}} = 16,31 \text{ МПа.}$$

7. Напряжение изгиба определяется по формуле:

$$\sigma_{из} = \frac{M_{из}}{W_u}; \quad (4.30)$$

– центробежная сила, вызывающая изгиб вала

$$F = m \cdot g \cdot \omega^2 \cdot \delta; \quad (4.31)$$

где  $m$  – масса ротора насоса, кг;  $\delta = 0,09 \cdot 10^{-3}$  м – биение.

$$m = m_{\rho} + 11 \cdot m_{p,\kappa} = 176,931 + 11 \cdot 2,4 = 203,331 \text{ кг};$$

$$F = 203,331 \cdot 9,81 \cdot 314^2 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} = 1,772 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

– изгибающий момент

$$M_{из} = F \cdot \frac{l_{\rho}}{2} = 1,772 \cdot 10^4 \cdot \frac{3,05}{2} = 2,702 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (4.32)$$

– осевой момент сопротивления сечения

$$W_{\kappa} = \frac{\pi \cdot D_{\rho}^3}{16} - \frac{b \cdot t \cdot (D_{\rho} - t)^2}{2 \cdot D_{\rho}}; \quad (4.33)$$

$$W_{\kappa} = \frac{3,14 \cdot 0,097^3}{32} - \frac{0,028 \cdot 0,01(0,097 - 0,01)^2}{2 \cdot 0,097} = 7,868 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3;$$

Отсюда получаем напряжение изгиба:

$$\sigma_{из} = \frac{2,702 \cdot 10^4}{7,868 \cdot 10^{-5}} = 343,4 \text{ МПа.}$$

8. Напряжение растяжения определяется по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P}{F}; \quad (4.34)$$

где  $P$  – осевое усилие, Н;  $F$  – площадь поперечного сечения вала,  $\text{м}^2$ .

$$F = \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,097^2}{4} = 7,39 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{\pi \cdot (D_k^2 - D_6^2)}{4} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1400 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,341^2 - 0,097^2)}{4} = 1,153 \cdot 10^6 \text{ Н};$$

Отсюда, напряжение растяжения:

$$\sigma_p = \frac{P}{F} = \frac{1,153 \cdot 10^6}{7,39 \cdot 10^{-3}} = 156 \text{ МПа}.$$

9. Определяется эквивалентное напряжение при совместном действии напряжений по формуле:

$$\sigma_3 = \sqrt{(\sigma_{из} + \sigma_p)^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma]_3; \quad (4.35)$$

где  $[\sigma]_3$  – допускаемое напряжение материала вала при совместном действии напряжений, МПа;  $[\sigma]_3 = (0,3 \div 0,4) \cdot \sigma_g$ .

Предел текучести материала вала для стали 450ХФА –  $\sigma_g = 1270 \text{ МПа}$ . Тогда получим  $[\sigma]_3 = 0,4 \cdot 1270 = 508 \text{ МПа}$ .

$$\sigma_3 = \sqrt{(343,4 + 156)^2 + 3 \cdot 16,31^2} = 500,2 \text{ МПа}, \text{ условие выполняется.}$$

Следовательно, диаметр вала 97 мм обеспечивает статическую прочность.

При проверке на выносливость учитываем силы, создающие перемену напряжений в сечении вала.

10. Запас прочности вала по усталости определяется по формуле:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \geq [n]; \quad (4.36)$$

– запас прочности при изгибе

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_d \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m};$$

Предел выносливости при изгибе рассчитываем по формуле:

$$\sigma_{-1} = 0,55 \cdot \sigma_g = 0,55 \cdot 1270 = 698,5 \text{ МПа};$$

$(K_\sigma)_0 = 0,9$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений при изгибе, для шпоночной канавки;

$$\sigma_a – \text{амплитуда изменения напряжений при изгибе, } \sigma_a = \sigma_{из} = 343,3 \text{ МПа};$$

$\psi_\sigma = 0,1$  – коэффициенты, учитывающие влияние асимметрии цикла напряжений на прочность вала при изгибе.

Среднее изменение напряжения при изгибе, для многоступенчатых центробежных насосов составляет:

$$\sigma_m = 0,7 \cdot \sigma_{из} = 0,7 \cdot 343,3 = 240,4 \text{ МПа}$$

$$n_\sigma = \frac{698,5}{0,9 \cdot 343,3 + 0,1 \cdot 240,4} = 2,097.$$

– запас прочности при кручении

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{(K_\tau)_0 \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m};$$

Предел выносливости при кручении рассчитываем по формуле:

$$\tau_{-1} = 0,25 \cdot \sigma_g = 0,25 \cdot 1270 = 317,5 \text{ МПа};$$

$(K_\tau)_0 = 1,4$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений при кручении, для шпоночной канавки;

$\psi_\tau = 0,05$  – коэффициенты, учитывающие влияние асимметрии цикла напряжений на прочность вала при кручении;

Амплитуду изменения напряжения при кручении вычислим по формуле:

$$\tau_a = 0,5 \cdot \tau = 0,5 \cdot 16,31 = 8,153 \text{ МПа};$$

Среднее изменение напряжения при кручении определяется по формуле:

$$\tau_m = 0,7 \cdot \tau = 0,7 \cdot 16,31 = 11,41 \text{ МПа};$$

$$n_\tau = \frac{317,5}{1,4 \cdot 8,153 + 0,05 \cdot 11,41} = 26,493 \text{ МПа}.$$

Тогда получим:

$$n = \frac{2,097 \cdot 26,493}{\sqrt{2,097^2 + 26,493^2}} = 2,09.$$

Допускаемый коэффициент запаса усталостной прочности  $[n] = 2$ . Так как общий коэффициент запаса удовлетворяет требованиям прочности (больше 2), то никаких изменений в конструкцию вала вносить не надо.

### 4.3 Расчет торцевого уплотнения

Исходные данные для расчета: диаметр вала аппарата  $D_g = 100$  мм, частота вращения вала  $n = 3000$  об/мин = 50 об/с, избыточное давление в аппарате  $P = 3,1$  МПа, ширина рабочего пояса  $b = 5$  мм.

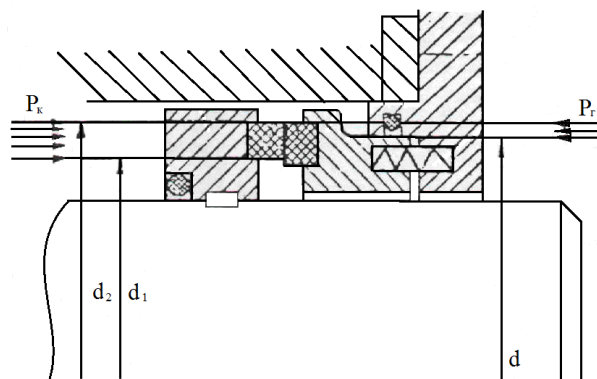


Рисунок 16 – Схема торцевого уплотнения

Определим конструктивные параметры уплотнения, а также количество тепла, выделяемое при трении контактных пар, так как температура контактных пар влияет на режим смазки трущихся поверхностей.

#### 4.3.1 Расчет прижимных усилий, обеспечивающих определенное контактное давление

1. Определяется эффективный диаметр

$$d_g = D_g + 30 = 100 + 30 = 130 \text{ мм.} \quad (4.37)$$

2. Определяется давление смазочной жидкости

$$P_{жс} = P + 0,2 = 3,1 + 0,2 = 3,3 \text{ МПа.} \quad (4.38)$$

### 3. Определяется контактное давление в парах

Контактное давление для пары «углеграфит-силицированный графит» определяется по графику зависимости контактного давления в паре трения углеграфит-силицированный графит от давления уплотняемой среды для двойных торцовых уплотнений (Рисунок 17).

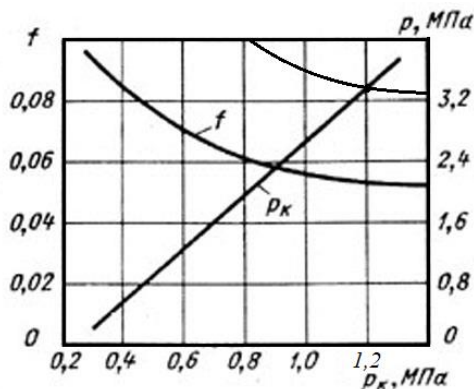


Рисунок 17 – Зависимость контактного давления в паре трения углеграфит-силицированный графит от давления уплотняемой среды

Из графика получаем значение контактного давления  $P_k = 1,2$  МПа.

### 4. Определяется усилие страгивания резинового кольца

Усилие страгивания резинового кольца определяется по номограмме зависимости страгивания колец из резины ИРП-1225 от эффективного диаметра вала  $d_3$  при различных давлениях уплотнения (Рисунок 18).

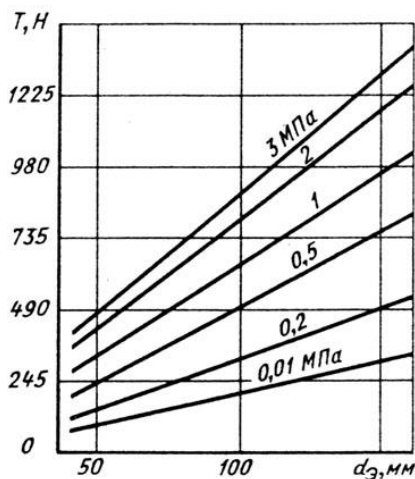


Рисунок 18 – Зависимость страгивания колец из резины ИРП-1225 от диаметра вала  $d_3$  при различных давлениях уплотнения

По номограмме получаем значение усилия страгивания резинового кольца  $T = 1225 \text{ Н}$ .

5. Определяются диаметры рабочего пояска

Определим конструктивные размеры модернизированного уплотнения:

- внутренний диаметр рабочего пояска  $d_1 = d_s = 130 \text{ мм}$ .
- наружный диаметр рабочего пояска  $d_2 = d_1 + 2b = 130 + 2 \cdot 5 = 140 \text{ мм}$ .
- средний диаметр  $d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{130 + 140}{2} = 135 \text{ мм}$

6. Определяется площадь контакта

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_2^2 - d_1^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (0,14^2 - 0,13^2) = 1,979 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (4.39)$$

Площадь, на которую действует гидростатическое давление:

$$F_2 = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ d_2^2 - \left( \frac{d_1 + d_{cp}}{2} \right)^2 \right] = \frac{3,14}{4} \cdot \left[ 0,14^2 - \left( \frac{0,13 + 0,135}{2} \right)^2 \right] = 1,499 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (4.40)$$

7. Определяется коэффициент разгрузки пружины

$$k = \frac{F_2}{F_1} = \frac{1,499}{1,979} = 0,7. \quad (4.41)$$

8. Определяется сила пружин по формуле

$$F_{np} = \frac{\pi}{4} \cdot P_{\kappa} \cdot (d_2^2 - d_1^2) - F_{pжс} + F_r + T; \quad (4.42)$$

где  $F_{pжс}$  – гидравлические силы нагружения;  $F_r$  – расклинивающая сила.

$$F_r = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{P_{жс}}{2} \cdot (d_2^2 - d_1^2) = \frac{3,14}{4} \cdot \frac{3,3 \cdot 10^6}{2} \cdot (0,14^2 - 0,13^2) = 3499 \text{ Н};$$

$$F_{pжс} = \frac{\pi}{4} \cdot P_{жс} \cdot (d_2^2 - d_1^2) = \frac{3,14}{4} \cdot 3,3 \cdot 10^6 \cdot (0,14^2 - 0,13^2) = 6998 \text{ Н};$$

Отсюда, сила пружин:

$$F_{np} = \frac{3,14}{4} \cdot 1,2 \cdot 10^6 \cdot (0,14^2 - 0,13^2) - 6998 + 3499 + 1225 = 270,741 \text{ Н}.$$

Согласно ГОСТ 9389–75 [8] выбираем 6 пружин из проволоки П. Нагрузка на одну пружину составляет 54,6 Н.

Характеристика пружины: наружный диаметр  $D=9$  мм; диаметр проволоки  $d=1,2$  мм; шаг  $t=2,5$ ; число витков  $n_p=11$ ; длина пружины  $L=29$  мм; сжатие пружины под нагрузкой  $F_{max}=54,6$  Н.

### 4.3.2 Расчет на прочность и жесткость винтовых пружин торцевого уплотнения

Условие прочности имеет вид:

$$\tau_{max} = k_1 \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau]; \quad (4.43)$$

Пружину рассчитывают не только на прочность, но и жесткость. С этой целью определяют удлинение или сжатие (осадку) пружины, принимая во внимание только кручение. Осадка в связи с деформацией одного витка винтовой пружины:

$$\delta = k_2 \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot n}{G \cdot d^4}; \quad (4.44)$$

Здесь  $k_1$  и  $k_2$  – поправочные коэффициенты, зависящие от отношения  $D/d$ . Они приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Поправочный коэффициент  $k$

| Коэффициент | $D/d$ |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|
|             | 3     | 4    | 5    | 6    | 8    | 10   |
| $k_1$       | 1,58  | 1,40 | 1,31 | 1,25 | 1,18 | 1,14 |
| $k_2$       | 1,11  | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,05 |

Тогда получим:

$$\tau_{max} = k_1 \cdot \frac{8 \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1,2 \cdot \frac{8 \cdot 54,6 \cdot 0,009}{3,14 \cdot 0,0012^4} = 869 \text{ МПа};$$



Допускаемое напряжение для стали 450ХФА, идущих на изготовления пружин  $[\tau] = 1270 \text{ МПа}$ . Условие выполняется.

$$\delta = 1,062 \cdot \frac{8 \cdot 54,6 \cdot 0,009^3 \cdot 11}{8 \cdot 10^{10} \cdot 0,0012^4} = 22 \text{ мм.}$$

### 4.3.3 Расчет мощности, потребляемой торцовым уплотнением

Мощность, потребляемая торцовым уплотнением, затрачивается на преодоление сил трения в парах трения и сил трения элементов, вращающихся в смазочной жидкости.

#### 1. Момент сил трения в паре

$$M_T = f \cdot F_N \cdot r; \quad (4.45)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $F_N$  – нормальная нагрузка в паре трения, Н;  $r$  – плечо силы трения (радиус рабочего пояса силы трения), м.

– нормальная нагрузка в паре трения

$$F_N = P_k \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot D_e \cdot b; \quad (4.46)$$

где  $P_k$  – контактное давление в паре, Па;  $D_e$  – диаметр уплотняемого вала, м;  $b$  – ширина рабочего пояса углеграфитовых колец.

$$F_N = 1,2 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,1 \cdot 0,005 = 2262 \text{ Н};$$

– плечо силы трения

$$r = \frac{1,2}{2} \cdot D_e = \frac{1,2}{2} \cdot 0,1 = 0,06 \text{ м}; \quad (4.47)$$

Тогда:

$$M_T = 0,1 \cdot 2262 \cdot 0,06 = 13,572 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

#### 2. Потери мощности на трение в торцевом уплотнении

$$N = M_T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 13,572 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 4264 \text{ Вт.}$$

Мощность, теряемая на трение в торцевом уплотнении, вызывает нагрев контактирующих поверхностей, что ухудшает условие их смазки, приводит к

термическим напряжениям и деформациям. Поэтому потери мощности на трение, естественно, нужно сводить к минимуму и обеспечить интенсивный теплоотвод от контактирующих поверхностей.

#### 4.3.4 Расчет утечек в торцевом уплотнении

Величина утечки, определяющая степень герметичности торцового герметизатора, является одной из основных характеристик последнего. Расчет величины утечки сопряжен с рядом трудностей. В частности, для расчета необходимы сведения о режиме трения, который зависит от большого числа факторов, определяющих процессы в зоне контакта пары трения.

Наименьшей утечкой, как правило, характеризуются нагруженные торцовые герметизаторы, режим трения в зоне контакта которых близок к сухому или граничному режиму трения.

Величина утечки не зависит от радиальной ширины зоны контакта пары трения и вязкости среды, увеличивается пропорционально квадрату зазора и уменьшается пропорционально квадрату давления. Майер объясняет это изменением объема пустот и микроканалов, образованных шероховатыми поверхностями, вследствие изменения их площади при пластическом деформировании выступов под действием нагрузки, что подтверждается его экспериментами при изменении зазора.

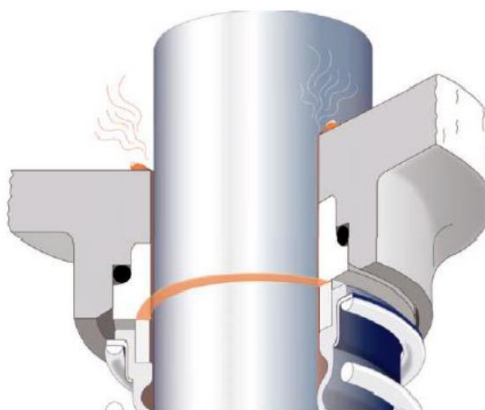


Рисунок 19 – Утечка через торцевое уплотнение

Формула для определения утечек через торцевое уплотнение:

$$Q_{ym} = \frac{\pi \cdot R_m \cdot h^3 \cdot \Delta P}{6 \cdot \eta \cdot b}; \quad (4.48)$$

где  $Q_{ym}$  – скорость утечки;

$R_m$  – средний радиус поверхности скольжения;

$h$  – высота между поверхностями скольжения (толщина смазочной пленки);

$\Delta P$  – перепад давления, при котором необходимо обеспечить герметизацию;

$\eta$  – динамическая вязкость перекачиваемой жидкости;

$b$  – радиальное удлинение зазора уплотнения (ширина поверхности скольжения).

Давление на выходе, создаваемое насосом определяется по формуле:

$$P = \rho \cdot g \cdot H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1400 = 13,734 \text{ МПа};$$

где  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения;  $H$  – максимальный напор, создаваемый насосом, м.

Перепад давления определяется по формуле:

$$\Delta P = P - P_{atm} = 13,734 - 0,1 = 13,634 \text{ МПа};$$

где  $P_{atm} = 10^5 \text{ Па}$  – давление атмосферы.

Средний радиус поверхности скольжения рассчитывается по формуле:

$$R_m = \frac{d_2 + d_1}{2} = \frac{0,14 + 0,13}{2} = 0,135 \text{ м};$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр уплотнения;  $d_2$  – наружный диаметр уплотнения.

Примем динамическую вязкость воды при 25<sup>0</sup>С  $\eta = 8,9 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; ширина поверхности скольжения  $b = 5 \text{ мм}$ ; толщина смазочной пленки  $h = 0,0002 \text{ мм}$ .

Отсюда, скорость утечки:

$$Q_{ym} = \frac{3,14 \cdot 0,135 \cdot (0,0002 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 13,634 \cdot 10^6}{6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,005} = 1,733 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 / \text{с} = 0,006 \text{ мл} / \text{час}.$$

Полученный результат удовлетворяет требованиям по максимально допустимой утечке через торцевое уплотнение (не более 0,005 м<sup>3</sup>/ч = 5 мл/ч).

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

Студенту:

|               |               |
|---------------|---------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>    |
| 2Б6Е          | Дао Куанг Дат |

|                            |  |                                  |                                     |
|----------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Школа</b>               | <b>Инженерная школа природных ресурсов</b> | <b>Отделение школы (НОЦ)</b>     | <b>Отделение нефтегазового дела</b> |
| <b>Уровень образования</b> | <b>Бакалавриат</b>                         | <b>Направление/специальность</b> | 21.03.01 «Нефтегазовое дело»        |

|   |   |
|---|---|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>   |   |
| 1. <i>Стоимость ресурсов проводимого исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>                   | Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | - коэффициент доплат – 15%;<br>- накладные расходы – 16%;<br>- районный коэффициент – 1,3.  |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>  | Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30,2%  |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |   |
| 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>         | Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Проведение SWOT-анализа проекта.  |
| 2. <i>Планирование и формирование бюджета исследований</i>  | Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта. Определение бюджета проекта                   |
| 3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>                          | Проведение оценки ресурсной, финансовой эффективности   |
| <b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>  |   |
| 1. Карта сегментирования рынка<br>2. Оценка конкурентоспособности технических решений<br>3. Матрица SWOT<br>4. Календарный план-график<br>5. Бюджет проекта |   |

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

**Задание выдал консультант:**

|                  |                           |                               |                |             |
|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент ОСГН      | Якимова Татьяна Борисовна | Кандидат экономических наук   |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |               |                |             |
|---------------|---------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>    | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 2Б6Е          | Дао Куанг Дат |                |             |

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: центробежный насос в блочной кустовой насосной станции (БКНС) для поддержания пластового давления (ППД).

Целевой рынок: предприятия нефтеперерабатывающей отрасли промышленности.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка

|                 |         | Вид исследования: блочная кустовая насосная станция (БКНС) |                             |                                  |
|-----------------|---------|--|-----------------------------|----------------------------------|
|                 |         | Расчет и модернизации насосного агрегата                   | Модель и анализ работы БКНС | Проектирование и конструирование |
| Размер компании | Крупные |  |                             |                                  |
|                 | Средние |  |                             |                                  |
|                 | Мелкие  |  |                             |                                  |



Фирма А



Фирма Б



Фирма В

### 5.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, проводится систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

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

Таблица 5 – Оценочная карта для конкурентных технических решений

| Критерии оценки  | Вес критерия | Баллы     |           |           | Конкурентоспособность |             |             |
|--|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-------------|-------------|
|  |              | Проект    | Кон-т1    | Кон-т2    | Проект                | Кон-т1      | Кон-т2      |
| 1  | 2            | 3         | 4         | 5         | 6                     | 7           | 8           |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>            |              |           |           |           |                       |             |             |
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя        | 0,06         | 5         | 5         | 3         | 0,30                  | 0,30        | 0,18        |
| 2. Удобный в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,06         | 5         | 4         | 3         | 0,30                  | 0,24        | 0,18        |
| 3. Помехоустойчивый  | 0,05         | 4         | 4         | 3         | 0,20                  | 0,20        | 0,15        |
| 4. Энергосберегающий   | 0,10         | 4         | 5         | 4         | 0,40                  | 0,50        | 0,40        |
| 5. Надежный  | 0,10         | 5         | 4         | 4         | 0,50                  | 0,40        | 0,40        |
| 6. Безопасный  | 0,15         | 4         | 4         | 4         | 0,60                  | 0,60        | 0,60        |
| 7. Простота эксплуатации   | 0,06         | 4         | 4         | 5         | 0,24                  | 0,24        | 0,30        |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>                 |              |           |           |           |                       |             |             |
| 8. Конкурентоспособность продукта                                  | 0,07         | 4         | 4         | 3         | 0,28                  | 0,28        | 0,21        |
| 9. Уровень проникновения на рынок                                  | 0,07         | 1         | 4         | 4         | 0,07                  | 0,28        | 0,28        |
| 10. Цена   | 0,10         | 4         | 1         | 3         | 0,40                  | 0,10        | 0,30        |
| 11. Предполагаемый срок эксплуатации                               | 0,18         | 5         | 4         | 4         | 0,90                  | 0,72        | 0,72        |
| <b>Итого</b>   | <b>1</b>     | <b>45</b> | <b>43</b> | <b>40</b> | <b>4,19</b>           | <b>3,86</b> | <b>3,72</b> |

Оценка конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

По результатам оценки можно выделить следующие конкурентные преимущества модернизации насосного агрегата: рост производительности труда (за счет ликвидации целодневных простоев при замене масла), повышенная надежность, длительный срок эксплуатации.

### 5.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в исследовательский проект.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки   | Вес критерия | Баллы | Максимальный балл | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное Значения (5x2) |
|---|--------------|-------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1   | 2            | 3     | 4                 | 5                            | 6                               |
| <b>Показатели оценка качества разработки</b>                        |              |       |                   |                              |                                 |
| 1. Повышение производительности труда пользователя                  | 0,07         | 65    | 100               | 0,65                         | 0,0455                          |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,15         | 75    | 100               | 0,75                         | 0,1125                          |

|  |          |            |     |             |              |
|--|----------|------------|-----|-------------|--------------|
| 3. Помехоустойчивость  | 0,03     | 50         | 100 | 0,50        | 0,015        |
| 4. Энергоэкономичность                                       | 0,15     | 70         | 100 | 0,70        | 0,105        |
| 5. Надежность  | 0,20     | 100        | 100 | 1           | 0,20         |
| 6. Безопасность  | 0,04     | 80         | 100 | 0,80        | 0,032        |
| 7. Уровень шума  | 0,03     | 40         | 100 | 0,40        | 0,012        |
| 8. Ремонтопригодность  | 0,10     | 70         | 100 | 0,70        | 0,07         |
| <b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b> |          |            |     |             |              |
| 9. Уровень проникновения на рынок                            | 0,06     | 80         | 100 | 0,80        | 0,048        |
| 10. Цена   | 0,04     | 50         | 100 | 0,50        | 0,02         |
| 11. Предполагаемый срок эксплуатации                         | 0,1      | 90         | 100 | 0,90        | 0,08         |
| 12. Конкурентоспособность продукта                           | 0,03     | 60         | 100 | 0,60        | 0,018        |
| <b>Итого</b>   | <b>1</b> | <b>830</b> |     | <b>8,30</b> | <b>0,768</b> |

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.2)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  – позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  – получилось от 1 до 0,80, то такая разработка считается перспективной. Если от 0,79 до 0,60 – то перспективность выше среднего. Если от 0,69 до 0,40 – то перспективность средняя. Если от 0,39 до 0,20 – то перспективность ниже среднего. Если 0,19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,768$$

Данное значение лежит в интервале от 0,6 до 0,8, следовательно, перспективность разработки проекта модернизации – выше среднего уровня.



## 5.4 SWOT-анализ

Для получения четкой оценки проекта и его перспектив необходимо провести SWOT-анализ. SWOT-анализ – это определение сильных и слабых сторон проекта, а также возможностей и угроз, исходящих из ближайшего окружения (внешней среды).

Результаты SWOT – анализа представлять в табличной форме (таблица 7).

Таблица 7 – SWOT – анализ

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | <p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br/> С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;<br/> С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями;<br/> С3. Простота конструкции;<br/> С4. Отсутствие необходимости закупки материалов и комплектующих;<br/> С5. Повышенная надежность.</p> | <p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br/> Сл1. Отсутствие возможности проверки результатов исследования с помощью практических опытов;<br/> Сл2. Допущения, производимые при расчетах;<br/> Сл3. Отсутствие учета износа поверхностей трения рабочего колеса;<br/> Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с результатами исследования;<br/> Сл5. Неоднозначность в определении причин вибрации.</p> |
| <p><b>Возможности:</b><br/> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;<br/> В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт;<br/> В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях;</p> | <p><b>Сильные стороны и возможности:</b><br/> 1. Опыт;<br/> 2. Широкая производственная линейка;<br/> 3. Компании, занимающиеся нефтедобычей, могут не только добывать и транспортировать нефть, но и перерабатывать ее.</p>  | <p><b>Слабые стороны и возможности:</b><br/> 1. Текущее снижение мировых цен на нефть приводит к снижению стоимости нефтепродуктов;<br/> 2. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей;<br/> 3. Создание инжиниринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом;<br/> 4. Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца;</p>   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| В4.Повышение стоимости конкурентны.   |   | 5. Нефтяные месторождения могут иссякнуть, надо постоянно вкладывать средства на поиск новых.   |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;<br>У2.Развитая конкуренция технологий производства;<br>У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции. | <b>Сильные стороны и угрозы:</b><br>1. Продвижение БКНС с целью создания спроса;<br>2. Создание конкурентных преимуществ готового продукта;<br>3. Сертификация и стандартизация продукта. | <b>Слабые стороны и угрозы:</b><br>1. Экологическая опасность от химических выбросов;<br>2. Создание инжиниринговой услуги с целью обучения работе с готовым продуктом;<br>3. Приобретения необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца;<br>4. Сокращение поставок или смена поставщика;<br>5. Продвижение БКНС с целью создания спроса;<br>6. Создание конкурентных преимуществ готового продукта;<br>7.Сертификация и стандартизация продукта;<br>8.Сильная зависимость от мировых цен на нефть. |

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках исследовательского проекта.

## 5.5 Планирование управления исследовательским проектом

### 5.5.1 План проекта

Для выполнения проекта формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и исполнитель (бакалавр). Составлен перечень этапов и работ, распределены исполнители по видам работ. Этапы и содержание работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                | № раб. | Содержание работ   | Должность исполнителя  |
|---|--------|--|------------------------|
| Разработка технического задания               | 1      | Составление и утверждение технического задания   | Руководитель, Бакалавр |
| Выбор направления исследований                | 2      | Подбор и изучение литературы по теме   | Бакалавр               |
|   | 3      | Выбор направления исследований   | Руководитель, Бакалавр |
|   | 4      | Календарное планирование работ по теме   | Руководитель, Бакалавр |
| Теоретические и расчетные исследования        | 5      | Поиск необходимых технических решений для повышения эффективности центробежного насоса | Бакалавр               |
|   | 6      | Проведение расчет системы уплотнения   | Бакалавр               |
| Обобщение и оценка результатов                | 7      | Оценка результатов исследования  | Руководитель, Бакалавр |
| Оформления отчета по исследовательской работе | 8      | Составление пояснительной записки  | Руководитель, Бакалавр |

Трудоемкость выполнения 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 используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (5.3)$$

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

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

$t_{\max\ i}$  – 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  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.4)$$

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.

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.5)$$

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.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (5.6)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году; ( $T_{кал} = 366$ );

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году; ( $T_{вых} = 104$ );

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году. ( $T_{пр} = 15$ );

$$k_{кал} = \frac{366}{366 - 104 - 15} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения исследования

| Название работы  | Трудоёмкость работ    |                       |                      | Исполнители               | Длительность работ в рабочих днях<br>$T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях<br>$T_{ki}$ |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|---|---|
|  | $t_{min}$ , чел.-дни. | $t_{max}$ , чел.-дни. | $t_{ож}$ , чел.-дни. |                           |   |   |
| Составление и утверждение технического задания   | 1                     | 3                     | 2                    | Руководитель,<br>Бакалавр | 2   | 2   |
| Подбор и изучение литературы по теме   | 18                    | 25                    | 21                   | Бакалавр                  | 21  | 29  |
| Выбор направления исследований   | 5                     | 10                    | 7                    | Руководитель,<br>Бакалавр | 7   | 9   |
| Календарное планирование работ по теме   | 1                     | 2                     | 1                    | Руководитель,<br>Бакалавр | 1   | 1   |
| Поиск необходимых технических решений для повышения эффективности центробежного насоса | 10                    | 15                    | 12                   | Бакалавр                  | 12  | 18  |
| Проведение расчетов  | 28                    | 33                    | 30                   | Бакалавр                  | 30  | 40  |
| Оценка результатов исследования  | 4                     | 7                     | 5                    | Руководитель,<br>Бакалавр | 5   | 7   |
| Оформления отчета  | 3                     | 5                     | 4                    | Бакалавр                  | 4   | 6   |
| Заключение   | 2                     | 4                     | 3                    | Руководитель,<br>Бакалавр | 3   | 3   |
| <b>ИТОГО:</b>  |                       |                       |                      |                           | <b>85</b>                                     | <b>115</b>  |

На основании таблицы 9 построим диаграмму Ганта (таблица 10), представляющую из себя ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Таблица 10 – Календарный план-график проведения работ по теме

| № | Вид работ           | Исполнители            | $T_{ki}$ ,<br>кал.<br>дн. | Продолжительность выполнения работ |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
|---|---------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|
|   |                     |                        |                           | февр.                              |   |   | Март |   |   | апрель |   |   | май |   |   |
|   |                     |                        |                           | 1                                  | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 |
| 1 | Составление ТЗ      | Руководитель, Бакалавр | 4                         | ■                                  |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
| 2 | Изучение литературы | Бакалавр               | 28                        | ▨                                  | ▨ | ▨ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |
| 3 | Выбор напр. исслед. | Руководитель, Бакалавр | 6                         |                                    |   |   | ▨    | ■ |   |        |   |   |     |   |   |
| 4 | Календар. план.     | Руководитель, Бакалавр | 4                         |                                    |   |   |      | ■ |   |        |   |   |     |   |   |
| 5 | Поиск тех. решений  | Бакалавр               | 25                        |                                    |   |   |      | ▨ | ▨ |        |   |   |     |   |   |
| 6 | Провед. теор. расч. | Бакалавр               | 43                        |                                    |   |   |      |   |   | ▨      | ▨ | ▨ | ▨   |   |   |
| 7 | Оценка результатов  | Руководитель, Бакалавр | 4                         |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   | ▨   | ■ |   |
| 8 | Офор. отчетов       | Бакалавр               | 4                         |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     | ▨ |   |
| 9 | Заключение          | Руководитель, Бакалавр | 5                         |                                    |   |   |      |   |   |        |   |   |     |   | ▨ |



Бакалавр



Руководитель

### 5.5.2 Бюджет проекта

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

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для выполняемых работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи.

### **Расчет материальных затрат**

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{pacxi}, \quad (5.7)$$

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

$N_{pacxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

| Наименование               | Ед. изм. | Количество |       |       | Цена за ед., руб. |       |       | Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб. |              |              |
|----------------------------|----------|------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|---|--------------|--------------|
|                            |          | Исп.1      | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1             | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1   | Исп.2        | Исп.3        |
| Торцевое уплотнение насоса | шт.      | 1          | 1     | 1     | 37000             | 47000 | 42000 | 37000   | 47000        | 42000        |
| Штангенциркуль             | шт.      | 1          | 1     | 1     | 498               | 498   | 498   | 498   | 498          | 498          |
| Бумага А4                  | шт.      | 40         | 60    | 55    | 1                 | 1     | 1     | 40  | 60           | 55           |
| Ручка                      | шт.      | 2          | 2     | 2     | 10                | 10    | 10    | 20  | 20           | 20           |
| <b>ИТОГО:</b>              |          |            |       |       |                   |       |       | <b>37558</b>                                  | <b>47578</b> | <b>42573</b> |

### Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 35120 руб., для исполнителя (студента) – 12130 руб. Расчет основной заработной платы сводим в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители  | З <sub>б</sub> , руб. | $k_p$ | З <sub>м</sub> , руб | З <sub>дн</sub> , руб. | $T_p$ ,<br>раб.дн. | З <sub>осн</sub> , руб. |
|--------------|-----------------------|-------|----------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|
| Руководитель | 35120                 | 1,3   | 45656                | 2566,61                | 18                 | 46199                   |
| Бакалавр     | 12130                 | 1,3   | 15769                | 937,13                 | 67                 | 62788                   |



Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.8)$$

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

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.9)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 9);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_\delta}, \quad (5.10)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_\delta$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Исполнитель |
|-----------------------------|--------------|-------------|
| Календарное число дней      | 365          | 365         |
| Количество нерабочих дней   |              |             |
| –выходные дни               | 118          | 118         |
| –праздничные дни            |              |             |

|  |     |     |
|--|-----|-----|
| Потери рабочего времени<br>–отпуск<br>–невыходы по болезни | 62  | 72  |
| Действительный годовой фонд<br>рабочего времени            | 185 | 175 |

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.11)$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб;  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 14 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 14 – Заработная плата исполнителей

| Заработная плата         | Руководитель | Исполнитель |
|--------------------------|--------------|-------------|
| Основная зарплата        | 46199        | 62788       |
| Дополнительная зарплата  | 6929,85      | 9418,20     |
| Итого по статье $C_{зп}$ | 53128,85     | 72206,20    |

### 5.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений по внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{внеб} = 30,2\%$  коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

|                                  | <b>Руководитель</b> | <b>Исполнитель</b> |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Зарплата                         | 53128,85            | 72206,20           |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 16044,91            | 21803,27           |

#### 5.5.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр}, \quad (5.13)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%).

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат

| Наименование статьи   | Сумма, руб.   |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|
|   | Исп.1         | Исп.2         | Исп.3         |
| 1. Материальные затраты   | 37558         | 47578         | 42573         |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 108987        |               |               |
| 3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 16348,05      |               |               |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды                             | 37848,18      |               |               |
| 5. Накладные расходы  | 32118,6       | 33721,8       | 32921         |
| <b>Бюджет затрат</b>  | <b>232860</b> | <b>244483</b> | <b>238677</b> |

## 5.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения исследования (таблица 17). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\phi_{\rho i}}{\phi_{\text{max}}}, \quad (5.14)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\phi_{\rho i}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\phi}^{\rho} = \frac{\phi_{\rho 1}}{\phi_{\text{max}}} = \frac{232860}{244483} = 0,952,$$

Для 2-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\phi}^{\rho} = \frac{\phi_{\rho 2}}{\phi_{\text{max}}} = \frac{244483}{244483} = 1,$$

Для 3-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\phi}^{\rho} = \frac{\phi_{\rho 3}}{\phi_{\text{max}}} = \frac{238677}{244483} = 0,976.$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.15)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии                                       | Весовой коэффициент параметра | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 1. Способствует росту производительности труда | 0,20                          | 5     | 4     | 3     |
| 2. Удобство в эксплуатации                     | 0,15                          | 4     | 3     | 2     |
| 3. Помехоустойчивость                          | 0,10                          | 5     | 3     | 3     |
| 4. Энергосбережение                            | 0,15                          | 4     | 3     | 3     |
| 5. Надежность                                  | 0,25                          | 4     | 4     | 4     |
| 6. Материалоемкость                            | 0,15                          | 4     | 4     | 4     |
| ИТОГО:   | 1                             | 26    | 21    | 19    |

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,3;$$

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,6;$$

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{ucni}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсо-эффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{I_{финр}^{исп1}}{I_{ф}^{\rho}} = \frac{4,3}{0,952} = 4,52;$$

$$I_{финр}^{исп2} = \frac{I_{финр}^{исп2}}{I_{ф}^{\rho}} = \frac{3,6}{1} = 3,6;$$

$$I_{финр}^{исп3} = \frac{I_{финр}^{исп3}}{I_{ф}^{\rho}} = \frac{3,25}{0,976} = 3,33.$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^{исп1}}{I_{финр}^{исп3}} = \frac{4,52}{3,33} = 1,36;$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^{исп2}}{I_{финр}^{исп3}} = \frac{3,6}{3,33} = 1,08;$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^{исп3}}{I_{финр}^{исп3}} = \frac{3,33}{3,33} = 1.$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели  | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|-------|-------|-------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,952 | 1     | 0,976 |
| 2     | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,3   | 3,6   | 3,25  |
| 3     | Интегральный показатель эффективности                   | 4,52  | 3,60  | 3,33  |
| 4     | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1,36  | 1,08  | 1     |

## **5.7 Вывод по разделу**

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены следующие вопросы: составление календарного плана проект, на основании которого была построена диаграмма Ганта; определение бюджета проекта.

Разница среди затрат на бюджет трех исполнении большая. Наименьшая сумма – 232860 руб., а наибольшая – 244483 руб. Учитывая показатели ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности, целесообразно для проведения исследования будет выбрать исполнения 1.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |               |
|---------------|---------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>    |
| 2Б6Е          | Дао Куанг Дат |

|                            |  |                                  |                                     |
|----------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Школа</b>               | <b>Инженерная школа природных ресурсов</b> | <b>Отделение (НОЦ)</b>           | <b>Отделение нефтегазового дела</b> |
| <b>Уровень образования</b> | Бакалавриат                                | <b>Направление/специальность</b> | 21.03.01<br>«Нефтегазовое дело»     |

Тема ВКР:

|   |   |
|---|---|
| <b>Повышение эффективности блочной кустовой насосной станции путем модернизации насосного агрегата</b>  |   |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |   |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения  | Объект исследования: Блочная кустовая насосная станция (БКНС).<br>Область применения: Поддержание пластового давления (ППД).  |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:  |   |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования;</li> <li>- ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования;</li> <li>- ГОСТ 12.4.026-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная;</li> <li>- ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин.</li> </ul> |
| <b>2. Производственная безопасность:</b><br>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов<br>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия   | <b>Вредные факторы:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>- повышенный уровень вибрации;</li> <li>- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>- утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу;</li> <li>- недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> </ul>   |



|  |   |
|--|---|
|  | <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожаро-взрывоопасность;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи.</li> </ul>                               |
| <b>3. Экологическая безопасность:</b>            | <p>Атмосфера: выброс газа и т.п.<br/> Гидросфера: разлив нефти на воде т.п.<br/> Литосфера: загрязнение почвы хим. веществами и т.п.</p>  |
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> | <p>- Возможные ЧС: возникновения пожара вследствие взаимодействия рабочего агента (газа) с кислородом воздуха; короткое замыкание, наводнения, ураганы, лесные пожары, возгорания ГСМ, нефтегазоводопроявления на скважине и т.п.<br/> - Наиболее типичная ЧС: нефтегазоводопроявление.</p> |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Черемискина Мария Сергеевна | -                      |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 2Б6Е   | Дао Куанг Дат |         |      |

## **6 Социальная ответственность**

Социальная ответственность – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров.

Объектом исследования является блочная кустовая насосная станция, предназначенная для закачки воды из поверхностных, подземных источников или промышленных очищенных сточных вод в нагнетательные скважины для поддержания давления в разрабатываемом продуктивном горизонте нефтяного месторождения.

Сущность работ заключается в выполнении следующих технологических операций: осуществление работ по заданному режиму эксплуатации БКНС, контроль за работой сепараторов и насосных установок, обслуживание, монтаж и демонтаж низко– и высоконапорного оборудования, а также электрооборудования. Работы выполняются круглогодично.

В разделе «Социальная ответственность» глубоко проанализированы вопросы производственной безопасности (вредные факторы, опасные факторы), аспекты экологической безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях, а также приводится комплекс правовых и организационных мероприятий, направленных на повышение безопасности.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

К самостоятельному выполнению работ по добыче нефти и газа допускаются лица старше 18 лет, получившие допуск медицинской комиссии к выполнению данного вида работ, имеющие соответствующую квалификацию и допущенные к самостоятельной работе в установленном порядке. Перед допуском к

самостоятельной работе рабочий проходит стажировку на рабочем месте под руководством специально назначенного лица.

Рабочий должен пройти инструктажи по безопасности труда в следующем порядке:

- при приеме на работу – вводный и первичный на рабочем месте;
- в процессе работы минимум один раз в 6 месяцев – повторный;
- внеплановый, в случае перерывах в работе более 60 календарных дней, при изменении правил, инструкций по охране труда, замене или модернизации оборудования, а также при нарушении требований безопасности труда.

Рабочий, выполняющий работу при помощи электроинструмента, должен иметь группу по электробезопасности не ниже II.

Для защиты от вредных и опасных факторов рабочему выдаются СИЗ согласно приказу Минздрав соцразвития России от 09.12.2009 N 970н (ред. от 20.02.2014) "Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам нефтяной промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением" для зимнего и летнего времени года.

Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца, в случае необходимости увеличения продолжительности, вахта может быть увеличена до трех месяцев с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ.

Режимы труда и отдыха регламентируются графиком работы на вахте, утвержденным работодателем с учетом мнения профсоюзной организации. Дни нахождения в пути к месту работы в рабочее время не включаются.

Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать такие физические нагрузки на работающего, при которых энергозатраты организма в течение рабочей смены не превышали бы 1046.7 кДж/ч (250 ккал/ч).

Производственное оборудование должно соответствовать требованиям технической эстетики. Цвета сигнальные и знаки безопасности - по ГОСТ 12.4.026-2015.

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Организация рабочего места рабочих в службе добычи нефти и газа должна обеспечивать безопасность выполнения работ. Площадка для добычи нефти и газа должна быть тщательно спланирована, очищена от посторонних предметов. Рабочие места должны быть достаточно освещены. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей).

Средства аварийной сигнализации и контроля состояния воздушной среды должны находиться в исправном состоянии. Оборудование, которое может оказаться под напряжением должно быть заземлено. Во взрывоопасных зонах должно быть установлено оборудование во взрывозащищенном исполнении.

## **6.2 Профессиональная социальная безопасность**

Проанализируем основные вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в процессе добычи нефти. Перечень опасных и вредных факторов при добыче нефти и газа представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Возможные опасные и вредные факторы при добыче нефти и газа

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)  | Этапы работ |              |              | Нормативные документы   |
|---|-------------|--------------|--------------|---|
|   | Разработка  | Изготовление | Эксплуатация |   |
| 1. повышенный уровень шума на рабочем месте;                                      |             | +            | +            | <p>Требования к температуре воздуха рабочей зоны устанавливаются в СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [15].</p> <p>Требования к безопасности связанные с повышенным уровнем шума устанавливаются в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности [16].</p> <p>Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [17].</p> <p>Требования к запыленности и загазованности приведены в ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [18].</p> <p>Требования к защите от повреждения в результате контакта с насекомыми представлены в ГОСТ Р 12.4.296-2013 ССБТ Одежда специальная для защиты от вредных биологических факторов. Общие технические требования. Методы испытания [19].</p> <p>Требования к движущимся машинам и механизмам устанавливаются в ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ Оборудование производственное. Общие требования безопасности [20].</p> <p>Требования к электробезопасности устанавливаются в ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [21].</p> <p>Требования к пожаробезопасности представлены в ППБО-85 Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности [22].</p> |
| 2. повышенный уровень вибрации;   |             | +            | +            |   |
| 3. повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;                    | +           | +            | +            |   |
| 4. утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу;                                | +           | +            | +            |   |
| 5. недостаточная освещенность рабочей зоны;                                       |             | +            | +            |   |
| 6. пожаро-взрывоопасность;  | +           | +            | +            |   |
| 7. движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования; | +           | +            | +            |   |
| 8. повышенное значение напряжения в электрической цепи.                           | +           | +            | +            |   |

## 6.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды

В процессе производственных операций рабочие могут подвергаться воздействию вредных факторов, таких как порыв газа и паров нефти, источником которых являются нарушения герметичности фланцевых соединений, механической прочности фонтанной арматуры, вследствие коррозии или износа регулирующих и предохранительных клапанов. Производственный процесс характеризуется утечками токсичных веществ в атмосферу, повышенным уровнем шума, вибрации, недостаточной освещенностью рабочего места.

В подразделе анализируются вредные факторы, характерные для работы БКНС, а также рассматриваются меры, минимизирующие или предотвращающие действие данных факторов.

- *Повышенный уровень шума*

Шумом называется комплекс распространяемых в воздухе беспорядочных звуковых колебаний различной физической природы, выходящий за пределы звукового комфорта.

При постоянном воздействии шума с уровнем звукового давления 70 дБ происходят изменения в нервной системе, а также изменения слуха, зрения, состава крови.

Источниками производственного шума являются электроцентробежные насосные агрегаты. Эквивалентный уровень звука насоса марка ЦНС – 111 дБ. Этот уровень значительно превышает предельно–допустимый. Машинисту насосной станции, согласно инструкции по охране труда, необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты – противошумными наушниками, которые снижают уровень шума до 30 дБ. Эквивалентный уровень звука по маршруту обхода в районе БКНС не должен превышать нормативный (80 дБ).

Уровни звука на рабочих местах не должны превышать значений, указанных в таблице 20.

Таблица 20 – Допустимые уровни звука на рабочих местах

| Наименование объекта (помещений)  | Уровень звука, дБ |
|-----------------------------------|-------------------|
| Блок обогрева вахтового персонала | 55                |
| Блок распределения воды БГ        | 80                |
| БКНС                              | 80                |

Для снижения шума от работающего технологического оборудования предусмотрены следующие мероприятия:

- с целью снижения аэродинамического шума все вентиляционное оборудование устанавливается на виброизолирующих основаниях и снабжено мягкими вставками на всасывании и нагнетании;
  - все агрегаты размещаются в полностью автоматизированных и не требующих постоянного присутствия обслуживающего персонала блоках;
  - применяются звукоизоляционные материалы, звукопоглощающие перегородки, амортизирующие прокладки и т.д.;
  - предусматривается размещение рабочих мест, машин и механизмов таким образом, чтобы воздействие шума на персонал было минимальным;
  - предусмотрено своевременное проведение ремонта оборудования.
- *Повышенный уровень вибрации*

Вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле.

Вибрация по способу передачи телу человека подразделяется на общую (воздействие на все тело человека) и локальную (воздействие на отдельные части тела – руки или ноги).

Вибрация оказывает вредное воздействие на организм человека, может вызвать заболевание суставов и мышц, нарушить двигательные рефлексы организма. Постоянная вибрация повышенного плана, кроме того, вызывает у рабочих раздражительность и другие неприятные ощущения.

Длительное воздействие вибрации ведет к развитию профессиональной вибрационной болезни.

Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов, которые начинаются с концевых фаланг пальцев рук и распространяются на всю кисть, предплечье, захватывают сосуды сердца.

С целью снижения вибрации от работающего технологического оборудования предусмотрены следующие мероприятия:

- для снижения вибрации все вентиляционное оборудование устанавливается на виброизолирующих основаниях и снабжается мягкими вставками на всасывании и нагнетании;
- насосные агрегаты размещены в автоматизированных и не требующих постоянного присутствия обслуживающего персонала блоках;
- опасные с точки зрения вибрации участки выделяются надписями, предупреждающими знаками, окраской и т. п.
- *Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны*

Температура воздуха рабочей зоны оказывает непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность.

В летний период времени при проведении полевых работ и длительном пребывании человека на открытом воздухе большая вероятность получения солнечного удара, в результате получения повышенной дозы ультрафиолетового излучения. Последствиями солнечного удара являются потеря сознания и пребывание в шоковом состоянии. Допустимая интенсивность ультрафиолетового облучения работающих при незащищенных участках поверхности кожи не более  $0,2 \text{ м}^2$ , при продолжительности излучения 50% рабочей смены не должна превышать  $10 \text{ Вт/м}^2$ .

Средствами защиты от перегрева головы солнечными лучами могут выступать различные головные уборы.



В зимнее время происходит значительное снижение температуры окружающего воздуха, что может повлечь обморожение незащищенных частей тела при проведении работ. Результатом переохлаждения организма являются различные заболевания (ангина, пневмония и т.д.), снижающие иммунологическую сопротивляемость организма.

Для защиты от переохлаждения при проведении полевых работ в зимнее время работников обеспечивают тёплой спецодеждой.

В комплект средств индивидуальной защиты от холода включены: все предметы, надетые на человека: комнатная одежда, спецодежда, головной убор, рукавицы, обувь. Основной материал спецодежды обладает защитными свойствами, соответствующими условиям трудовой деятельности, характеризуется стойкостью к механическим воздействиям, атмосферным осадкам, воздействию света, различного рода загрязнителям и легко очищается от них.

Для снижения влияния воздействия температуры рабочей зоны возможно сокращение продолжительности рабочей смены, прекращение работ в зависимости от погодных условий. В холодное время года работникам, работающим на открытом воздухе или в закрытых не обогреваемых помещениях, необходимо предоставить перерывы для обогрева в специальных помещениях, которые обязан обеспечить работодатель. Перерывы включаются в рабочее время. В жаркое время года вводят перерывы для отдыха в зонах с нормальным микроклиматом.

- *Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу*

При эксплуатации оборудования в атмосферу выделяются постоянные выбросы, а также аварийные сбросы при выходе из строя оборудования и трубопроводов. Токсичными отходами производства, загрязняющими атмосферу, являются: газ «сеноманской» воды, сбрасываемый через свечу рассеивания, углекислый газ и др.

Источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на БКНС, являются венттрубы зданий, поступления в атмосферу углеводородов при сбросах

на свечу рассеивания, утечки через неплотности запорно-регулирующей арматуры, фланцев и т.д.

Для исключения возможности чрезмерного загрязнения атмосферы токсичными веществами необходимо соблюдать следующие условия ведения процесса:

- регулировать объем выбросов на соответствие установленным нормам;
- проводить модернизацию сепарационного оборудования.
- *Недостаточная освещенность рабочей зоны*

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности.

В таблице 21 показаны необходимые уровни освещенности в соответствии с разрядом и под разрядом зрительных работ.

Таблица 21 – Необходимые уровни освещенности

| Наименование объекта (помещений) | Характер зрительной работы | Разряд и подразряд зрительной работы | Параметры освещенности |                             |                  |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|
|                                  |                            |                                      | КЕО, %                 | Искусственное освещение, лк |                  |
|                                  |                            |                                      |                        | Комбинированное             | в т.ч. от общего |
| Блок распределения воды БГ       | Грубая                     | VI                                   | 0,6                    |                             | 100(75)          |
| БКНС                             | Средней точности           | IV                                   | 0,9                    |                             | 150(100)         |

Для снижения уровня воздействия недостаточной освещенности рабочего места необходимо правильно проектировать искусственное освещение согласно требуемым нормам. Светильники аварийного и эвакуационного освещения должны питаться от независимого источника.

## 6.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды

Технологический процесс характеризуется наличием опасностей. В данном подразделе подробнее рассматриваются вопросы опасных факторов, характерных для данного вида технологических операций.

- *пожаро-взрывоопасность*

Используемые в технологических процессах БКНС материалы и продукты опасны как во взрывопожароопасном, так и в газоопасном отношении.

Газоопасность обусловлена наличием на установке опасных веществ: нефти, углеводородного газа.

При наличии в воздухе двух или нескольких вредных веществ, их действие может суммироваться и тяжесть отравления в этом случае чаще всего увеличивается.

Пожароопасность обусловлена наличием в производстве нефти, углеводородного газа, горючих жидкостей (ингибитор коррозии), горючих материалов (электрические кабели, смазочные масла и промасленные материалы, пиррофорные соединения).

Взрывоопасность обусловлена наличием в производстве углеводородных паров и газов, которые в смеси с кислородом воздуха могут образовывать в определенных пределах концентраций взрывоопасные смеси. При наличии источника зажигания может произойти хлопок, взрыв.

Для исключения возможности взрывов, пожаров и ожогов необходимо соблюдать следующие условия ведения процесса:

- обеспечивать ведение технологического процесса в соответствии с требованиями технологического регламента, инструкции по рабочим местам, инструкций заводов изготовителей оборудования;

При этом не допустимо повышение или понижение значений параметров технологического процесса (давления, температуры, уровня концентрации вредных

и взрывоопасных веществ в воздухе и др.) выше или ниже допустимых значений, указанных в этих документах.

В том случае, когда значения параметров выходят за допустимые пределы и вмешательство обслуживающего персонала не позволяет вернуть их к норме, узел на котором произошла неполадка или БКНС в целом должны быть остановлены для выяснения причины и устранения неполадки.

- поддерживать в работоспособном состоянии средства КИПиА, системы сигнализации и блокировок ПАЗ. Работа с отключенными блокировками запрещается;
- содержать в исправном и рабочем состоянии средства пожаротушения. Систематически проверять и опробовать систему противопожарного водопровода;
- в целях недопущения пролива продукта, загазованности помещений, все оборудование и трубопроводы перед заполнением их рабочими средами должны быть испытаны на герметичность под рабочим давлением. Все неплотности в системе отыскиваются с помощью течеискателя или путем обмыливания фланцевых и резьбовых соединений, сальников арматуры и др. и устраняются после сброса из системы давления;
- работы, связанные с опасностью прорыва газа в помещение, работы в газоопасной среде должны производиться специально обученными людьми с применением специального оборудования и инструмента под непосредственным и непрерывным наблюдением ответственного лица из числа инженерно-технического персонала цеха;
- курить разрешается только в специально отведенных местах.

Пожаробезопасность БКНС обеспечена рядом противопожарных мероприятий:

- сооружения размещены с соблюдением противопожарных расстояний между ними;

- ко всем сооружениям предусмотрены подъездные дороги;
- выполнена молниезащита, защита оборудования и трубопроводов от статического электричества;
- предусмотрена аварийная звуковая и световая сигнализация при отклонении технологических параметров от нормы;
- в закрытых помещениях предусмотрена вентиляция, обеспечивающая чистоту воздуха;
- конструкция насосных агрегатов и объем защит обеспечивает нормальную их работу без обслуживающего персонала и автоматический останов агрегата при возникновении условий, нарушающих безопасность;
- территория БКНС (совместно с ДНС с УПСВ) имеет сетчатое ограждение по всему периметру, на въезде на территорию предусматривается проходная, исключающая проникновение посторонних.

Главная задача при борьбе с пожарами – локализация, которая достигается путем ограничения времени истечения и объема вытекающей горючей жидкости.

В качестве первичных средств пожаротушения используются: переносные огнетушители, полотна грубо шерстяные, асбестовые, песок, пожарный инвентарь (лопаты, ведра, багры).

- *движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования*

Существует риск нанесения механических травм от вращающихся или движущихся механизмов и другие опасности, связанные с эксплуатацией оборудования работающего под давлением, выполнением работ на высоте, в прямках, колодцах и внутри сосудов.

Механические опасности на предприятиях представляют собой движущиеся механизмы и машины, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; заготовки, материалы, разрушающиеся конструкции, острые

кромки, стружка, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок, инструментов и оборудования, а также падение предметов с высоты.

Для исключения возможности получения механических травм, следует содержать в исправном состоянии ограждения движущихся частей машин и механизмов, перил, лестниц, обслуживающих и переходных площадок.

- *повышенное значение напряжения в электрической цепи*

Технологический процесс на БКНС характеризуется возможностью поражения электрическим током при соприкосновении с незащищенными участками токоведущих частей электрических машин, при повреждении на электрооборудовании и кабелях, а также при нарушении правил электробезопасности.

В целях недопущения поражения электрическим током, необходимо предпринять комплекс мер, предусматривающий следующие этапы:

- все электрооборудование и электроарматура должны эксплуатироваться в соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации электроустановок";
- разборка и ремонт электрооборудования, электродвигателей и электроаппаратуры и т.п. должны производиться только при снятом напряжении и только электроремонтным персоналом, имеющим на это разрешение соответствующих служб;
- перед подачей электроэнергии на БКНС необходимо проверить, чтобы все работы на электрооборудовании и электроустановках были закончены, заземление подсоединено, чтобы не было оголенных концов кабелей, проводов, все распределительные устройства и щиты должны быть закрыты на замок;
- все электрооборудование и аппараты должны быть заземлены;

- каждый рабочий, работающий с электрооборудованием должен иметь на рабочем месте диэлектрические резиновые перчатки и диэлектрический резиновый коврик.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Нефтяная промышленность в силу своей специфики является отраслью загрязнителем, где все технологические процессы могут вызывать нарушение экологической обстановки, необходимо уделять большое внимание охране окружающей среды.

- *атмосфера*

Загрязнение атмосферы при добыче нефти и газа происходит при выбросах углеводородов. Главным источником выбросов являются дыхательные клапаны резервуаров, отсутствие герметичности фланцевых соединений, сальниковых уплотнений, а также автотранспорт.

Для защиты атмосферы следует не допускать выбросы флюида, а в случае их возникновения в ближайшее время ликвидировать. Для предотвращения выбросов необходимо проводить своевременный контроль сварных швов, герметичности элементов системы сбора нефти, использовать компрессоры с электроприводом.

- *гидросфера и литосфера*

В процессе добычи нефти и газа происходит загрязнение подземных водоносных горизонтов производственными водами, бытовыми стоками.

Отрицательное воздействие на литосферу осуществляется при следующих воздействиях:

- порубка древесная при сооружении площадок, коммуникаций, жилых поселков;
- уничтожение и повреждения почвенного слоя сельхозугодий и других земель;
- загрязнение почвы нефтепродуктами, химреагентами и другими веществами;

- засорение почвы производственными отходами и мусором.

Защитные мероприятия гидросферы и литосферы:

- устья скважин и при скважинные участки должны обеспечивать требуемую герметичность;
- хранение запасов ГСМ и нефтепродуктов должно осуществляться только в металлических емкостях;
- транспортировку жидких веществ (нефть, химреагенты, ГСМ и др) осуществлять только в цистернах или специальных емкостях;
- создать по всей длине обсадной колонны прочное цементное кольцо с целью исключения перетоков пластовых вод из одного пласта в другой.

Рекультивация нарушенных земель в процессе добычи скважины подразумевает следующие мероприятия:

- разбить все фундаментные основания, очистить всю территорию от металлолома и другого мусора;
- засыпать все амбары, траншеи, разровнять обволочку и спланировать площадку;
- произвести восстановление плодородного слоя земли.

Все работы по охране окружающей среды и рекультивации земель проводятся в соответствии с нормативными документами стандарта системы охраны природы ГОСТ 17.0.0.01-76.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Под источником чрезвычайной ситуации понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, в результате чего произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация.

Возможные чрезвычайные ситуации при добыче нефти и газа: наводнения; снежные бури; ураганы; лесные пожары; ГНВП; возгорание ГСМ.



Наиболее распространенным видом чрезвычайных ситуаций при добыче нефти и газа с помощью УЭЦН являются нефтегазоводопроявления на скважине.

Основными причинами возникновения данной ЧС являются:

- нарушение требований безопасности при проведении работ;
- отклонения от технологического регламента;
- недостаточная обученность персонала;
- неисправность технологического оборудования.

При возникновении ЧС принимаются меры согласно плану ликвидации аварий, по ограничению развития аварийной ситуации и ее ликвидации. Повышение устойчивости предприятия к ЧС при эксплуатации БКНС осуществляется за счет выполнения следующих мероприятий:

- оборудование, специальные приспособления и материалы, необходимые для ликвидации аварийных ситуаций, всегда должны находиться на складах аварийного запаса;
- покрытие огнезащитной краской конструкций, оснащение средствами пожаротушения рабочего места оператора;
- обучение работников действиям по безопасной остановке оборудования, а также регулярный инструктаж по пожарной безопасности.

## **6.5 Вывод по разделу**

В разделе «Социальная ответственность» были глубоко изучены вопросы производственной безопасности (вредные факторы, опасные факторы), аспекты экологической безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях, а также приводились комплекс правовых и организационных мероприятий, направленных на повышение безопасности.

## Заключение

В работе рассмотрены общие сведения об центробежном насосе блочной кустовой насосной станции для поддержания пластового давления. Были рассмотрены причины отказов уплотнений и проведен анализ эффективности торцевого уплотнения в центробежном насосе. По сравнению с сальниками торцевые уплотнения имеют следующие преимущества: нормально работают даже при повышенной вибрации, так как уплотняющая плоскость расположена перпендикулярно оси вала, имеют большую долговечность и более широкую зону работы по давлению и окружной скорости; практически не требуют ухода в процессе эксплуатации, что важно для автоматизации насосной установки.

Результатом проведения данной работы были проведен расчет параметров центробежного насоса в БКНС. Результатом расчета стало создание программы для вычисления насоса в среде MathCad. В ходе работы были определены параметры центробежного насоса, а именно: проточный канал рабочего колеса; вал насоса; прижимное усилие, обеспечивающих определенное контактное давление торцевого уплотнения; прочность и жесткость винтовых пружин торцевого уплотнения; мощность, потребляемой торцевым уплотнением и утечка в торцевом уплотнении. В дальнейшем с помощью данной программы можно рассчитать любой центробежный насос типа ЦНС180 для БКНС.

## Список используемых источников

1. Техника и технология добычи и подготовки нефти и газа: Учебник для вузов: В 2 т./ Быков И.Ю., Бочарников В.Ф., Ивановский В.Н., Цхадая Н.Д., Мордвинов А.А., Бобылева Т.В. Под общей ред. В.Н. Ивановского. – М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. - Т. II. - 420 с.
2. Буренин В.В. Новые центробежные насосы для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2004. – № 12. – С. 26-26.
3. Буренин В.В. Конструкции контактных уплотнений вращающихся валов: тематический обзор. / Дронов В.П. – М.: Цинтихимнефтемаш. – 1986. – Серия ХМ-4 «Насосостроение». – 36 с.
4. Гаевик Д.Т. Современные и перспективные конструкции торцовых уплотнений нефтяных центробежных насосов магистральных нефтепроводов: Обзорная информация / Буренин В.В. – М.: Внииоэнг. Серия «Машины и нефтяное оборудование». – 64 с.
5. Пат. WO2010132010. Axial face seal assembly / Johanna Johansson, Johan Fondelius; заявитель и патенто – обладатель Itt Manufacturing Enterprises, Inc; заявл. 5-май 2010 опубл. 18.11.2010. – 3 с.
6. Пат. WO2009113942. Axial face seal assembly, mounting method and mounting fixture/ Sivert Eriksson; заявитель и патенто – обладатель Itt Manufacturing Enterprises, Inc.; заявл. 12.03.2009; опубл. 17.09.2009. – 2 с.
7. Пат. US6729622B2. Ready to mount axial face seal / Per Vedsted, Helge Grann, Carsten Pedersen; заявитель и патенто – обладатель Grundfos A/S.; заявл. 27.02.2002; опубл. 04.05.2004. – 2 с.
8. ГОСТ 9389-75. Проволока стальная углеродистая пружинная. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 23 с.

9. ГОСТ 23360-78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 12 с.
10. Л.Г. Чичеров. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования: Учеб. пособие для вузов/ Г. В. Молчанов, А. М. Рабинович и др. – М.: Недра, 1987. –422 с.
11. Спиридонов Е. К. Расчет и проектирование лопастных насосов: Учебное пособие. / Прохасько Л. С. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 62 с.
12. Гафаров Р. Х. Сопротивление материалов: конспект лекций/ Р. Х. Гафаров; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2009. – 220 с.
13. А. И. Голубев. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник/ В. Б. Овандер, Л. А. Кондаков и др.– М.: Машиностроение, 1986. – 464 с.
14. А.Г. Салькова. Машины и аппараты химических производств. Методические указания к расчету уплотнений вращающихся валов. / Н.А. Титова – Ангарск, АГТА, 2002. – 22 с.
15. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России. 2001.– 20с.
16. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ Шум. Общие требования безопасности. М.: Стандартиформ, 2019. – 28 с.
17. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. М.: Минстрой России, 2016. – 102 с.
18. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. М.: Изд., 2018. – 170 с.
19. ГОСТ Р 12.4.296-2013. ССБТ Одежда специальная для защиты от вредных биологических факторов. Общие технические требования. Методы испытания. М.: Стандартиформ, 2014. – 12 с.

20. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ Оборудование производственное. Общие требования безопасности. М.: Стандартиформ, 2007. – 11 с.

21. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. М.: Стандартиформ, 2018. – 20 с.

22. ППБО-85. Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1987. – 154 с.