

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

---

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Кафедра теоретической и прикладной механики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                            |  |
|--------------------------------------------------------|--|
| <b>Расчет и конструирование поршневого компрессора</b> |  |

УДК 621.512-047.74

Студент

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4Е31   | Павленюк Степан Степанович |         |      |

Руководитель

| Должность          | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ТПМ | Зиякаев Г.Р. | к.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                  | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры менеджмента | Антонова И.С. | к.э.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                        | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры ЭБЖ ИНК НИ ТПУ | Невский Е.С. |                           |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| ТПМ           | Пашков Е.Н. | к.т.н.                    |         |      |

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

| Код результата                    | Результат обучения (выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон                                                                                                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Общекультурные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                               |
| P1                                | Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности                                                                                                                                                                                         | Требования ФГОС (ОК-1; ОК- 9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                                      |
| 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                                                                  | Требования ФГОС (ОК-7; ОК- 11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2, п. 5.2.8 , п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI |
| 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.                                                                      | Требования ФГОС (ОК -5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                                     |
| P4                                | Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность                                                                                                                                                                                       | Требования ФГОС (ОК-4; ПК- 9; ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                                      |
| P5                                | Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах                                                                                                                                   | Требования ФГОС (ОК-2; ОК- 3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.12; п. 5.2.14, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                       |
| 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 | Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                                     |

| Код результата                      | Результат обучения (выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон                                                                                                        |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                 |
| P7                                  | Умение использовать 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               | Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                       |
| P8                                  | Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций                                                                                           | Требования ФГОС (ПК-1; ПК- 3; ПК-26) , Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI   |
| 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                                                                                                          | 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               |
| 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                                                                                                                         | Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI                             |
| 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 | 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 |
| 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.             | 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             |

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

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

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

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

В форме:

|                     |
|---------------------|
| бакалаврской работы |
|---------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 4Е31   | Павленюку Степану Степановичу |

Тема работы:

|                                                 |
|-------------------------------------------------|
| Расчет и конструирование поршневого компрессора |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)     |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>        | <p>Объектом исследования является поршневой компрессор.<br/>Давление всасывания: 0,1 Мпа<br/>Давление нагнетания: 1 МПа<br/>Производительность по н.у: 120 м<sup>3</sup>/мин<br/>Температура всасывания: 293 К<br/>Рабочее тело: атмосферный воздух</p>                                                                   |        |             |                                               |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>1. Аналитический обзор о существующих классификациях поршневых компрессоров.<br/>2. Основные теоретические положения о строении и принципе работы поршневого компрессора.<br/>3. Произвести расчет поршневого компрессора<br/>4. Финансовый менеджмент<br/>5. Социальная ответственность.<br/>6. Выводы по работе.</p> |        |             |                                               |                               |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |             |                                               |                               |
| <p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br/><i>(с указанием разделов)</i></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="width: 40%;">Раздел</th><th style="width: 60%;">Консультант</th></tr> <tr> <td>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и</td><td>Антонова И.С., доцент, к.э.н.</td></tr> </table>                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Раздел | Консультант | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и | Антонова И.С., доцент, к.э.н. |
| Раздел                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Консультант                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |                                               |                               |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Антонова И.С., доцент, к.э.н.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |             |                                               |                               |

|                                                                                         |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| ресурсосбережение                                                                       |                         |
| Социальная ответственность                                                              | Невский Е.С., ассистент |
| <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> | 06.02.2017 г. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4Е31   | Павленюк Степан Степанович |         |      |

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Уровень образования: бакалавриат  
Кафедра теоретической и прикладной механики  
Период выполнения: весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

|                     |
|---------------------|
| бакалаврская работа |
|---------------------|

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

|                                          |               |
|------------------------------------------|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2017 г. |
|------------------------------------------|---------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2.05.2017     | Объект и методы исследования. Разработка модели       | 50                                 |
| 10.05.2017    | Выполнение расчетной части                            | 40                                 |
| 30.05.2017    | Устранение недочетов в работе                         | 10                                 |

Составил преподаватель:

| Должность          | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ТПМ | Зиякаев Г.Р. | к.т.н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 92 с., 10 рис., 15 табл., 20 источников.

Ключевые слова: поршневой компрессор, сжатый воздух, термодинамический расчет, динамический расчет, прочностной расчет.

Объектом исследования является поршневой компрессор.

Цель работы – по заданным параметрам произвести расчет и подобрать поршневой компрессор и привод.

Задачи:

- ознакомиться с классификацией и принципом действия поршневых компрессоров;
- произвести термодинамический, динамический и прочностной расчет.
- к компрессорному оборудованию подобрать электродвигатель.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены общее строение и принцип работы поршневого компрессора.

Рассмотрен алгоритм расчета поршневого компрессора. В программном комплексе SolidWorks построена модель шатуна, определено напряженно-деформированное состояние.

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2016.

## Оглавление

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                           | 9  |
| 1. Обзор литературы                                                | 11 |
| 2. Объект и методы исследования                                    | 14 |
| 2.1. Классификация компрессоров                                    | 15 |
| 2.2. Воздушный компрессор                                          | 21 |
| 2.3. Азотно-воздушная станция                                      | 22 |
| 3. Расчетная часть                                                 | 24 |
| 3.1. Термодинамический расчет                                      | 24 |
| 3.2. Динамический расчет                                           | 44 |
| 3.3. Прочностной расчет                                            | 51 |
| 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 58 |
| 5. Социальная ответственность                                      | 86 |
| Заключение                                                         | 96 |
| Список использованных источников                                   | 97 |

## **Введение**

Сжатый воздух повсеместно используется на промышленных предприятиях. В то же время это самый дорогой источник энергии. Только около 15% затраченной на получение сжатого воздуха электроэнергии переходит в его потенциальную энергию, которую потом можно использовать при его расширении. Большая часть – 85% —это тепло, выделяемое компрессором во время работы.[14] Компримированный воздух используют все типы машин и устройства, имеющие пневматический привод и управление.[15] Многие из современных производств, в частности из тех, которые относятся к сфере тяжелого машиностроения, используют воздух для самых разных станков и устройств. И им также необходим воздух - и притом в очень больших количествах, особенно в тех случаях, когда установка должна работать круглосуточно и когда у нее высокие показатели мощности. А это все говорит о том, что во многих случаях сжатый воздух является действительно необходимым.

Пневматический инструмент используется для растяжения, распыления, полирования и затачивания, для штамповки, продувки, очистки, сверления и перемещения. Бесчисленные химические, технические и физические процессы и технологии управляются с использованием сжатого воздуха.

В зависимости от вида предприятия, сжатый воздух используется для:

- осуществления основных технологических процессов (как компонент химической технологии, например, для получения кислорода и азота, для дутья в металлургии и т.п.);
- энергетического применения, связанного с использованием воздуха как окислителя при сжигании различных топлив или как теплоносителя для нагрева или охлаждения газов и жидкостей;
- как рабочее тело в двигателях ДВС, ГТУ;

- обеспечения работы пневмоинструмента и пневмоприводов, питания машин литейных и кузнечных производств, строительных машин и механизмов, выполнения обдувных, пескоструйных, покрасочных и других работ на производственных предприятиях различного профиля деятельности;
- обеспечение работы технологических комплексов и устройств (конвейеров, систем пневмотранспорта, буровых станков и т.п.);
- обеспечения работы пневматических систем, систем КИП и А и многое другое в технике.[16]

Заметим, что на некоторых производствах, например на химических комбинатах, сжатый воздух для основных технологических процессов имеет параметры, отличные от параметров системы воздухообеспечения.

Так же сжатый воздух очень востребован в нефтегазовой отрасли. Стремительные темпы развития нефтегазовой промышленности способствовали значительному росту потребления и производства сжатого воздуха. Применение компримированного воздуха позволило механизировать ряд трудоемких технологических процессов в различных отраслях в течение долгого времени. Широкому использованию сжатого воздуха как энергоносителя способствовали его особые свойства: упругость, прозрачность, безвредность, быстрая передача давления и неограниченный запас воздуха в природе.

На промысле сжатый воздух получают с помощью специального устройства, называемого компрессор.

## **1 Обзор литературы**

Сжатый воздух, которым пользуются в качестве механической движущей силы для приведения в действие машин, вырабатывается из атмосферного воздуха.

Как все газы, так и атмосферный воздух обладает способностью сжиматься. На этом важном свойстве — способности к сжатию атмосферного воздуха — и основан способ получения сжатого воздуха и его применение в промышленности.

Атмосферный воздух в компрессорах подвергается сжатию. Степень сжатия зависит исключительно от количества затраченной для этого энергии. Чем больше будет затрачено энергии, тем сильнее будет сжат атмосферный воздух.

При сжатии воздух уменьшается в объеме и занимает меньше места: объем сжатого воздуха много меньше объема атмосферного воздуха. Сжатый до определенного давления воздух обладает большой упругостью. Эта упругость сжатого воздуха есть не что иное, как запасенная частицами воздуха энергия давления. Чем больше будет сжат воздух, тем больше, в силу своей упругости, он будет стремиться к расширению. Воздух, освобождаясь от сжатия, стремится к быстрому расширению и этим производит определенную работу. Энергия при превращении в работу широко используется в пневматических инструментах и машинах. Подача сжатого воздуха от компрессоров к необходимым местам производится по трубопроводам.[14]

Сжатый воздух является одним из самых дорогих энергоносителей на промышленных предприятиях. Несмотря на то, что его получение относится к сопутствующим производственным процессам, энергоэффективность его производства и потребления часто весьма существенно отражается на общих затратах энергоресурсов. В промышленности наибольшие проблемы возникают при необходимости регулирования производительности компрессора. При централизованном воздухоснабжении компрессоры

должны с максимальной эффективностью обеспечить напор и расход воздуха у потребителя. Поэтому весьма важным является вопрос выбора количества и типов компрессоров для компрессорной станции. Обычно рабочая точка компрессора определяется видом его характеристики и характеристики сети (точка их пересечения). Так как рабочая точка может не обеспечить необходимый расход, то компрессор выбирают с условием превышения напора при требуемом расходе. Таким образом, заранее предполагается переразмеренный по номиналу мощности компрессор.

Поэтому выбор компрессоров при замене оборудования является важным этапом проектной работы, влияющей на затраты энергоресурсов и на энергоменеджмент.

### **1.1 Обзор методов расчёта компрессорного оборудования.**

Благодаря таким авторам, как Пластинин П.И, Фотин Б.С, Видякин Ю.А. и другим, существует большое количество публикаций и известных учебных пособий по расчету поршневого компрессора.

В книге [12] изложены термодинамические основы сжатия газов, теория и расчет поршневых компрессоров, а также вопросы их проектирования с учетом привода от поршневых и электрических двигателей. Значительное место уделено проблемам снижения потерь давления и энергии, возникающих в клапанах и коммуникации при пульсирующем потоке газа. Приведен расчет самодействующих клапанов, подробно рассмотрены способы регулирования производительности. Даны классификация существующих способов регулирования и их характеристика, выведены зависимости для расчета. В третьем издании книги приведены новейшие конструктивные схемы многоступенчатых поршневых компрессоров и дан их анализ, рассмотрены типовые конструкции и отмечены присущие им особенности. Расширен ряд разделов теории компрессоров, приведены новые зависимости для выполнения

термодинамических расчетов и проектирования систем регулирования производительности.[12]

В работе [9] изложены теория и расчет тепловых процессов поршневых компрессоров, динамические расчеты поршневых компрессоров и уравнивание. Тепловой расчет включает в себя определение коэффициентов подачи и описанных объемов ступеней; определение температурных режимов ступеней и подбор смазочных материалов; подбор стандартизированных клапанов или расчет клапанов; определение индикаторных мощностей ступеней и мощности на валу компрессора; подбор приводного двигателя.[9]

## **2 Объект и методы исследования**

Производимая продукция на промышленных предприятиях, пользуется все большим спросом. Производство постоянно усложняется, его темпы растут, применяемое оборудование совершенствуется. В наше время трудно уже представить промышленный технологический процесс без компрессоров.

На сегодняшний день существует большое множество моделей компрессоров, вариантов их исполнения и применения. Компрессоры различаются по давлению, по производительности, по рабочей среде (сжимаемому веществу) в том числе и по условиям окружающей среды. Каждый компрессор имеет свои конструктивные особенности, технические и рабочие характеристики.

Компрессор - устройство, предназначенное для сжатия воздуха и подачи его потребителю под необходимым давлением.

Сфера использования компрессоров достаточно широка. Она охватывает технические устройства миниатюрных размеров(малогабаритные компрессоры паяльных станций и других устройств индивидуального пользования), средних(бытовые компрессоры, пневматические приводы станков и инструментов) и больших(компрессоры турбореактивных двигателей, промышленные установки).

Простейший принцип нагнетания воздуха начал использоваться человеком еще много веков назад, к примеру, в кузнечном меху. Несмотря на то, что к настоящему времени существует большое количество типов компрессоров, сам принцип сжатия воздуха в них не изменился. Разнообразие компрессорного оборудования достигается за счет различного конструктивного исполнения. Развитие техники и появление новых технологий стало требовать вначале специальных условий сжатия воздуха и определенных его характеристик на выходе, а затем возникла необходимость и работы с другими газами, в том числе взрывоопасными и токсичными.

## 2.1 Классификация компрессоров

По принципу работы все компрессоры можно разделить на ряд основных типов, классификация которых изображена на рисунке 1.

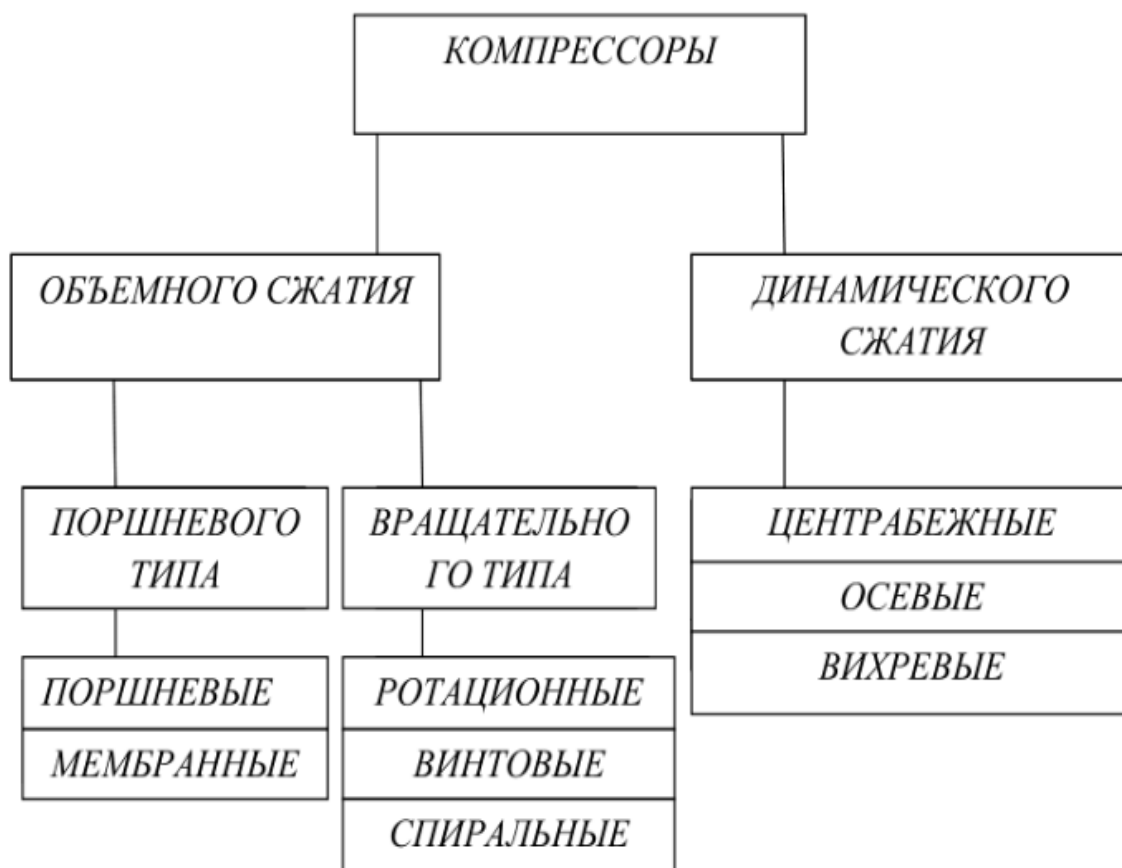


Рисунок 1 — Классификация компрессоров

Объемные компрессоры.

Поршневые компрессоры появились одними из первых и как нельзя лучше отражают принцип действия объемных компрессоров.

Кривошипно-шатунный механизм, приводимый в движение валом, обеспечивает возвратно-поступательное движение поршня в цилиндре. Тем самым рабочая камера, ограниченная поршнем и цилиндром, последовательно изменяет свой объем в зависимости от положения поршня. Система односторонних клапанов предотвращает протечку газа в обратном направлении.

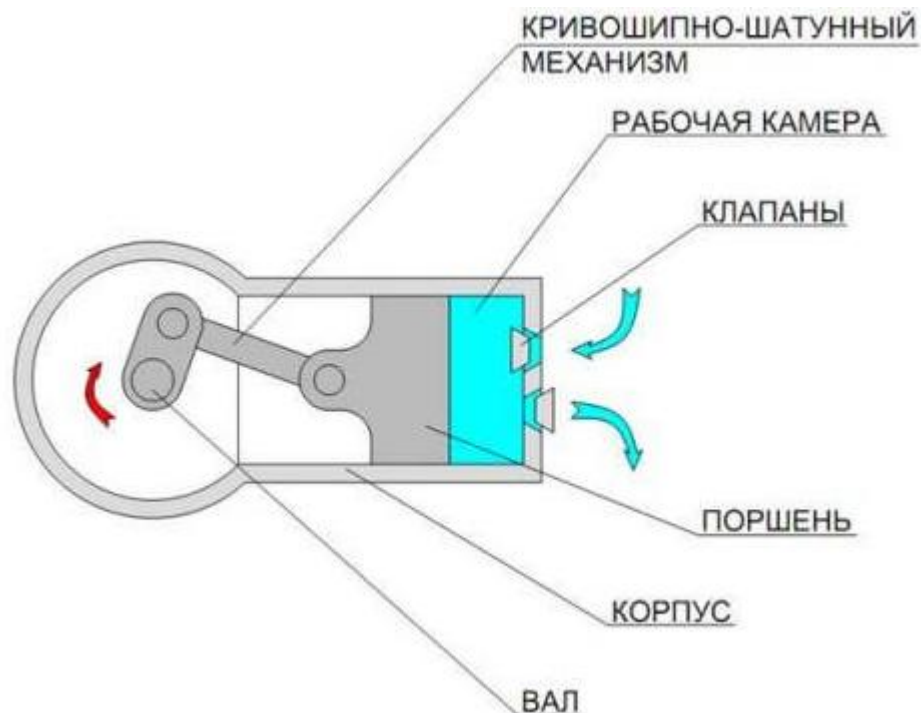


Рисунок 2— Схема поршневого компрессора

Конструктивные особенности так же позволяют разделить эти устройства на подгруппы. По конструкции рабочей камеры компрессоры могут быть одинарного и двойного действия. Во втором случае поршень имеет меньшую толщину и делит рабочую камеру на две части. При его движении в одной части камеры происходит сжатие газа и его подача в выходной патрубок, а вторая часть при этом заполняется газом из входного патрубка. Тем самым за один оборот вала происходит два цикла сжатия. По количеству цилиндров поршневой компрессор может быть одноцилиндровым, двухцилиндровым и т.д. Если газ последовательно претерпевает сжатие в нескольких цилиндрах компрессора, то такой компрессор называют многоступенчатым, а количество ступеней определяет количество пройденных цилиндров.

Существуют поршневые компрессоры следующих типов:

- Коаксиальные поршневые компрессоры
- Ременные поршневые компрессоры

Для **коаксиальных** компрессоров характерно то, что муфта соединяет коленвал с электрическим приводом, что обеспечивает исключение потерь мощности вследствие трения. Конструктивное исполнение данных компрессоров довольно компактно. Данные компрессорные агрегаты отличаются методами смазки. Цилиндропоршневую группу безмасляных компрессоров данного типа смазывать не надо. Сжатый воздух на выходе подобных устройств не имеет масляных примесей.

Для **ременных** компрессоров характерно то, что ременная передача соединяет коленвал с электроприводом, что обеспечивает высокую производительность и продолжительность эксплуатации. Компрессоры данного типа могут работать по несколько часов, причём непрерывно.



Рисунок 3 – Схема коаксиального и аксиального поршневого компрессора

В зависимости от положения цилиндров поршневые компрессоры делят на устройства: с горизонтальным расположением, вертикальным, угловым, V-образным и оппозитные.

Вертикальное расположение цилиндров относится к **вертикальным** компрессорным устройствам.

У **горизонтальных** компрессоров цилиндры могут быть размещены с одной стороны коленвала, соответственно, они называются горизонтальными компрессорами с односторонним размещением цилиндров. Если же

цилиндры располагаются по обе стороны вала, то компрессоры носят название компрессоров с двухсторонним размещением цилиндров.

У **угловых** компрессоров цилиндры размещены в одних рядах вертикально, а в других - горизонтально. Это прямоугольные компрессоры. У угловых компрессоров цилиндры могут быть наклонены, установлены V-образно и W-образно. Такие компрессоры носят название, соответственно, V- и W-образных компрессоров.



Рисунок 4 – Схема расположения цилиндров

Оппозитное исполнение типично для компрессоров с крупной и средней производительностью. Оппозитные компрессоры - это горизонтальные устройства, оснащенные поршнями, совершающими встречные движения. Цилиндры их размещены по обеим сторонам коленвала. Данные поршневые компрессоры высокодинамичны, уравновешенны, имеют малые габариты и небольшой вес. Благодаря этому оппозитные компрессоры почти совсем вытеснили крупногабаритные горизонтальные компрессоры.

**Оппозитное** исполнение типично для компрессоров с крупной и средней производительностью. Оппозитные компрессоры - это горизонтальные устройства, оснащенные поршнями, совершающими встречные движения. Цилиндры их размещены по обеим сторонам коленвала. Данные поршневые компрессоры высокодинамичны,

уравновешенны, имеют малые габариты и небольшой вес. Благодаря этому оппозитные компрессоры почти совсем вытеснили крупногабаритные горизонтальные компрессоры.

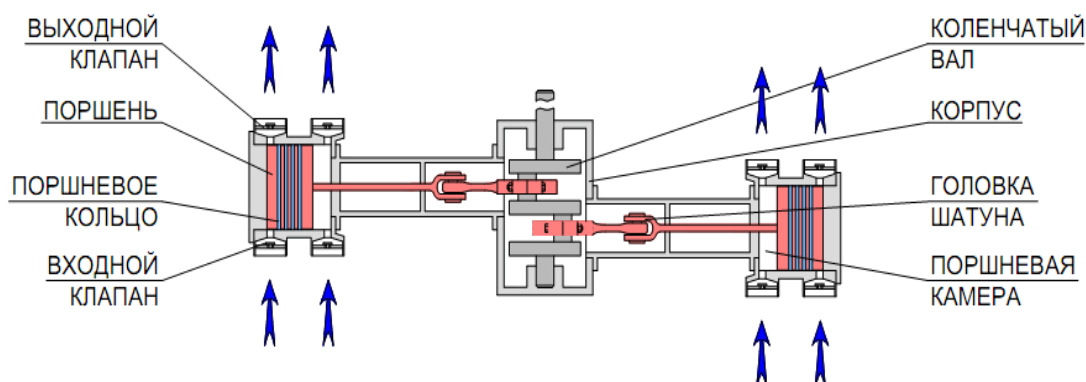


Рисунок 5— Схема оппозитного расположения цилиндров

Специфика применения промышленных компрессоров часто требует от них возможности работать длительное время с кратковременными остановками или вообще без них. В этом случае большое значение начинают играть факторы, которые оказались бы малозначимыми при прочих условиях. Так длительное воздействие на компрессор вибраций не только сокращает срок его службы, но и может привести к механическим повреждениям и ускоренному выходу отдельных деталей из строя. Для снижения создаваемых вибраций может быть использована оппозитная схема расположения поршней, при которой их оси параллельны, а сами поршни расположены по разные стороны от коленчатого вала. Таким образом, достигается зеркальность создаваемых ими усилий, что, в свою очередь, приводит к их взаимной компенсации.

Не менее важным является не только подбор оптимальной конструкции компрессора, но и использование современных материалов, позволяющих как значительно повысить базовые характеристики машины, так и без потерь применить более сложные схемы работы машины. Так рабочая камера в рассматриваемом варианте является двойного действия, то есть имеет парное количество входных и выходных клапанов, а процессы

всаса и нагнетания происходят в них попеременно как при прямом, так и при обратном ходе поршня. Надежное разделение пространств двух рабочих камер обеспечивается использованием поршневых колец, выполненных из специальных материалов. Дополнительно компрессор может иметь систему контроля состояния этих колец, следящую за состоянием их износа. Подобная система в состоянии не только отслеживать текущее состояние, но и прогнозировать остаточный срок службы и предупреждать о вероятности скорого выхода кольца из строя.

Кроме того поршневые компрессоры классифицируют по назначению на 4 группы:

- Компрессоры бытового назначения.

Этот тип оборудования отличается малыми габаритами, возможностью передвижения, потребностью в небольшом количестве сжимаемого вещества, непродолжительным использованием, невысоким уровнем шума и практически отсутствием необходимости в техническом обслуживании. Бытовые компрессоры обычно создают давление до 8 бар. Продолжительный и интенсивный режим работы такого класса компрессоров может привести к значительной поломке, затраты на ремонт которой будут соизмеримой с покупкой нового агрегата. Данный класс компрессоров обычно используют в ремонтных мастерских, на станциях технического обслуживания автомобильного транспорта, в строительстве.

- Полупрофессиональные компрессоры.

Давления до 16 бар, могут перекачивать до 2 куб. м/мин. Надежны в работе. К недостаткам можно отнести шумную работу, требуют периодического ремонта. У данного типа компрессора масло в сжатом воздухе содержится много, поэтому они не отличаются экономичностью. Потребители – частные лица и малый бизнес.

- Промышленные компрессоры.

Оборудование данного типа нашли свое применение на разных участках технологического цикла в технических отраслях. Предприятия

легкой и тяжелой промышленности, автомастерские, крупных производители.

Медицинские компрессоры, оснащаются осушителем адсорбционного типа, шумозащитный корпус. Ресивер с обработкой против коррозии. Компрессоры высокого давления. Максимальное рабочее давление на выходе до 60 бар обеспечивается при помощи мощного электродвигателя.

- Компрессоры без смазки цилиндров.

они сжимают разные газы и необходимы в производстве, где на выход должна идти чистая сжимаемая среда, не содержащая масло.

Компрессоры без смазки цилиндров работают без ремонта более продолжительное время.

## **2.2 Воздушный компрессор**

Основой устройства является непосредственно компрессор, который может быть поршневым, винтовым, пластинчато-роторным и т.д. Воздушные компрессоры обычно делают поршневыми или роторными. Первые отличаются своей простотой, неприхотливостью и высокой ремонтпригодностью, однако менее производительны, а вторые хорошо подходят в тех случаях, когда требуется обеспечение длительной подачи сжатого воздуха в больших объемах. Еще одним важным критерием деления воздушных компрессоров является наличие или отсутствие смазочного масла в устройстве. В связи с этим выделяют безмасляные и масляные воздушные компрессоры. Использование масла снижает трение между движущимися деталями, чем значительно увеличивается срок службы компрессора и позволяет использовать его более интенсивно. Однако в некоторых случаях попадание масла в воздушный поток может быть нежелательно или недопустимо

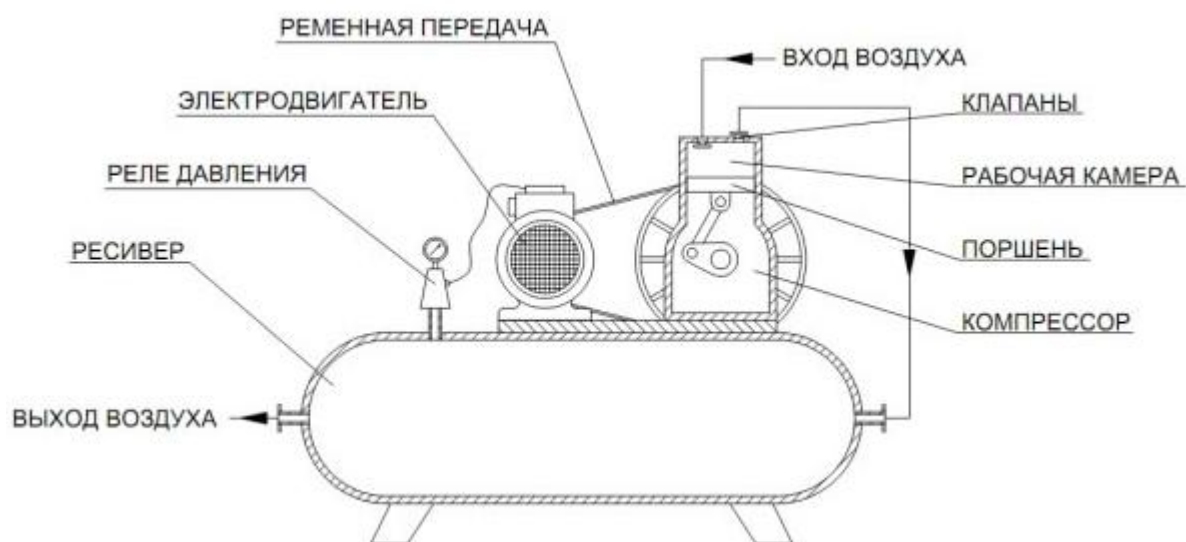


Рисунок 6 – Схема воздушного поршневого компрессора

Поэтому для таких целей используются безмасляные устройства, в которых проблема трения решается путем подбора малофрикционных материалов, снижающих трение без использования дополнительной смазки.

Обычно компрессоры для воздуха применяются не сами по себе, а в составе компрессорной установки, куда также входит двигатель, питающийся от электросети или различных видов топлива, и передача, осуществляющая перенос механической энергии вращения вала двигателя на вал компрессора. Также в состав установки может входить ресивер – сосуд, куда нагнетается воздух перед его подачей потребителю, что позволяет сглаживать давление получаемого сжатого воздуха.

### **2.3 Азотно-воздушная станция**

Комбинированная азотно-воздушная компрессорная станция представляет собой универсальную установку по одновременной выработке и подаче потребителям сжатого воздуха и газообразного азота. Азотно-воздушная станция в своём составе имеет два совмещённых блока: азотный и воздушный. При этом каждый блок работает автономно. То есть при отсутствии потребности в одном из газов, станция его может не вырабатывать. Одновременно с этим подача другого газа будет непрерывно осуществляться.

Воздушный блок (установка подготовки и подачи воздуха КИПиА) предназначен для выработки сжатого воздуха производительностью до 3600 м<sup>3</sup>/час и точкой росы в диапазоне +3...-70<sup>0</sup>С. Сжатый воздух получается путём компримирования атмосферного воздуха воздушным компрессором с последующим доведением его до требуемого класса чистоты с помощью воздушных фильтров и осушителей.

Области применения азотно-воздушных станций:

- Продувка трубопроводов и оборудования азотом перед проведением ремонтных и восстановительных работ
- Создание инертной среды на нефтяных хранилищах для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности
- Подача азота для станции аминовой очистки газа и установки получения серы
- Консервация оборудования и трубопроводных систем азотом
- Воздух КиПа для пневмоприводов регулирующей и отсечной арматуры
- Сжатый воздух для оборудования, работающего на пневматическом приводе
- Воздух для технических нужд месторождения.

### 3 Расчетная часть

В качестве исходных данных заданы: производительность по нормальным условиям ( $120 \text{ м}^3/\text{мин}$ ); давление всасывания ( $0,1 \text{ МПа}$ ); давление нагнетания ( $1 \text{ МПа}$ ); температура всасывания ( $293 \text{ К}$ ); рабочее тело – атмосферный воздух с влажностью  $80 \%$ .

Данный раздел выполняется на основе рекомендаций [1-13]

#### 3.1 Термодинамический расчет

##### Распределение повышения давления по ступеням

Общее номинальное относительное повышение давления компрессором подсчитаем по уравнению:

$$\varepsilon_K = \frac{p_{H2}}{p_{B1}}; \quad (1)$$

Подставим в эту формулу имеющиеся у нас значения:

$$\varepsilon_K = \frac{1}{0,1} = 10.$$

В существующих компрессорах значения относительного повышения давления в компрессоре зависит от числа ступеней:

Таблица 1 – Значения относительного повышения давления

|        |          |       |            |
|--------|----------|-------|------------|
| Одна   | 4...7    | Пять  | 150...1000 |
| Две    | 6...30   | Шесть | 200...1100 |
| Три    | 14...150 | Семь  | 600...1500 |
| Четыре | 36...400 |       |            |

Исходя из вышесказанного, принимаем число ступеней сжатия  $z = 2$ .

Номинальное относительное повышение давления во всех ступенях принимаем одинаковым:

$$\varepsilon_{cm1} = \varepsilon_{cm2} = \sqrt[z]{\varepsilon_K}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{cm1} = \sqrt{10} = 3,162.$$

$$p_{вс2} = p_{н1} = p_{вс1} \times \varepsilon_{ст1} \quad (3)$$

где  $p_{н1}$  – давление нагнетания I ступени.

$$p_{вс2} = p_{н1} = 0,1 \times 3,32 = 0,316 \text{ МПа.}$$

Относительные потери давления на всасывании I и II ступеней определим из формулы:

$$\delta_{вс1} = 0,3 \times \frac{A}{p_{вс1}^{0,25}}; \delta_{вс2} = 0,3 \times \frac{A}{p_{вс2}^{0,25}} \quad (4)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий совершенство компрессора, принимаем  $A = 2,66$ .

Отсюда:

$$\delta_{вс1} = 0,3 \times \frac{2,66}{\left(0,1 \times 10^6\right)^{0,25}} = 0,045;$$

$$\delta_{вс2} = 0,3 \times \frac{2,66}{\left(0,316 \times 10^6\right)^{0,25}} = 0,034.$$

Относительные потери давления на нагнетании (в нагнетательных клапанах и межступенчатом охладителе воздуха) I ступени определим по формуле:

$$\delta_{н1} = 0,7 \times \frac{A}{p_{вс2}^{0,25}}; \quad (5)$$

$$\delta_{вс2} = 0,7 \times \frac{2,66}{\left(0,316 \times 10^6\right)^{0,25}} = 0,079.$$

Относительные потери давления на нагнетании II ступени определяем без учета конечного охладителя в предположении, что потери происходят только в нагнетательных клапанах. Предполагая по аналогии со всасывающими клапанами, на которые приходится  $0,3\delta_i$ , что в

нагнетательных клапанах относительные потери давления равны  $0,3\delta_i$ , получим:

$$\delta_{н2} = 0,3 \times \frac{A}{p_{н2}^{0,25}}; \quad (6)$$

$$\delta_{н2} = 0,3 \times \frac{2,66}{\left(1 \times 10^6\right)^{0,25}} = 0,025.$$

Осредненные давления  $p_1$  и  $p_2$  определим по следующим формулам:

$$\begin{aligned} p_{11} &= (1 - \delta_{вс1}) \times p_{вс1} = 0,09 \\ p_{21} &= (1 + \delta_{н1}) \times p_{вс2} = 0,306 \text{ МПа} \\ p_{12} &= (1 - \delta_{вс2}) \times p_{вс2} = 0,341 \text{ МПа} \\ p_{22} &= (1 + \delta_{н2}) \times p_{н2} = 1,025 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (7)$$

Таблица 2— Показатели давлений

| Параметр                                    | I-я ступень | II-я ступень |
|---------------------------------------------|-------------|--------------|
| Номинальное давление, МПа                   |             |              |
| Всасывания $p_{всi}$                        | 0,1         | 0,316        |
| Нагнетания $p_{ни}$                         | 0,316       | 1            |
| Осредненное давление в цилиндре, МПа        |             |              |
| Всасывания $p_{1i}$                         | 0,096       | 0,306        |
| Нагнетания $p_{2i}$                         | 0,341       | 1,025        |
| Относительное повышение давления в цилиндре |             |              |
| $\varepsilon_{ui} = p_{2i} / p_{1i}$        | 3,55        | 3,34         |

### Определение коэффициентов подачи

Коэффициент подачи определяем по следующей формуле:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \lambda_{дрi} \lambda_{тi} \lambda_{нли} \lambda_{вли}, \quad (8)$$

где  $\lambda_{др}$  — коэффициент дросселирования, учитывающий уменьшение производительности из-за падения давления при протекании газа через

всасывающие клапаны. Его значения находятся в пределах  $\lambda_{dp} = 0,95 \div 0,98$  [6]. Принимаем  $\lambda_{dp1} = 0,95$ ;  $\lambda_{dp2} = 0,96$ .

$\lambda_m$  – **коэффициент подогрева**, который учитывает уменьшение производительности из-за подогрева всасываемого газа во время процесса всасывания, т. е. за счет того, что в цилиндре в конце всасывания температура будет выше, чем в СТВ.

Его значение определяем по формуле :

$$\lambda_{mi} = 1 - 0,01(\varepsilon_{\psi i} - 1). \quad (9)$$

После подстановки получаем:

$$\lambda_{m1} = 1 - 0,01(3,55 - 1) = 0,978 ; \quad \lambda_{m2} = 1 - 0,01(3,34 - 1) = 0,979 ,$$

$\lambda_{nl}$  – **коэффициент плотности**, который учитывает уменьшение производительности из-за неплотностей рабочей полости. Его значения находятся в пределах  $\lambda_{пл} = 0,96 \div 0,98$  [6]. Принимаем:  $\lambda_{nl1} = 0,96$ ;  $\lambda_{nl2} = 0,97$ .

$\lambda_0$  – **объемный коэффициент**, который учитывает уменьшение производительности действительного компрессора из-за расширения газа, остающегося после нагнетания в мертвом пространстве. Его значение определяем по формуле:

$$\lambda_{0i} = 1 - a_m \left[ \left( \frac{p_{2i}}{p_{вci}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right], \quad (10)$$

где  $a_m$  – значение относительного мертвого объема. Принимаем  $a_m = 0,1$  [6],  $m$  – показатель политропы. Его значение принимаем одинаковым в обеих ступенях:  $m = 1,2$ .

Тогда:

$$\lambda_{0i} = 1 - 0,1 \left[ \left( \frac{0,341}{0,1} \right)^{\frac{1}{1,2}} - 1 \right] = 0,818 \quad ; \quad \lambda_{0i} = 1 - 0,1 \left[ \left( \frac{1,025}{0,316} \right)^{\frac{1}{1,2}} - 1 \right] = 0,834 \quad ,$$

$\lambda_{вл}$  – коэффициент влажности, который учитывает уменьшение производительности из-за наличия водяных паров во всасываемом газе. Его значение определяем по формуле  $\lambda_{влi} = 1 - v_{ki}$ , где  $v_{ki}$  – относительная доля потери производительности, вызываемая конденсацией водяных паров в холодильнике. Величину  $v_{ki}$  определяем по формуле:

$$v_{k1} = \frac{\psi p_{nn} R_{\Gamma}}{(p_{вс1} - \psi p_{nn}) R_{вн}}, \quad (11)$$

где  $\psi = 0,8$  – относительная влажность воздуха при условиях всасывания (дана в задании);  $p_{nn} = 2332$  – давление насыщенных паров при температуре всасывания в первую ступень, Па;  $R_{\Gamma} = 287,2$ ;  $R_{вн} = 462$  – универсальные газовые постоянные соответственно сжимаемого воздуха и водяного пара, Дж/кгК.

Получаем:

$$v_{k1} = \frac{0,8 \cdot 2332 \cdot 287,2}{(0,1 \cdot 10^6 - 0,8 \cdot 2332) \cdot 462} = 0,0118$$

$$\lambda_{вл1} = 1 - 0,0118 = 0,9882$$

$$v_{k2} = \frac{0,8 \cdot 2332 \cdot 287,2}{(0,316 \cdot 10^6 - 0,8 \cdot 2332) \cdot 462} = 0,004$$

$$\lambda_{вл2} = 1 - 0,004 = 0,996$$

Подставим значения всех коэффициентов в формулу для расчета коэффициента подачи:

$$\lambda_1 = 0,818 \cdot 0,95 \cdot 0,978 \cdot 0,96 \cdot 0,988 = 0,76 \quad ;$$

$$\lambda_2 = 0,834 \cdot 0,96 \cdot 0,979 \cdot 0,97 \cdot 0,998 = 0,785 .$$

Для удобства результаты расчетов сведем в таблицу 3:

Таблица 3 – Коэффициенты подачи

| Коэффициент подачи и его составляющие | I ступень | II ступень |
|---------------------------------------|-----------|------------|
| $\lambda_{opi}$                       | 0,95      | 0,96       |
| $\lambda_{mi}$                        | 0,978     | 0,979      |
| $\lambda_{nli}$                       | 0,96      | 0,97       |
| $\lambda_{oi}$                        | 0,818     | 0,834      |
| $\lambda_{gli}$                       | 0,9882    | 1          |
| $\lambda_i$                           | 0,76      | 0,785      |

### Определение основных размеров и параметров ступеней

Объем описываемый поршнем I ступени определяем по формуле:

$$V_{h1} = \frac{V_e}{\lambda_1}, \quad (12)$$

где  $V_e$  – производительность компрессора. Ее значение дано в задании.

Тогда:

$$V_{h1} = \frac{2}{0,76} = 2,631 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При переходе из одной ступени сжатия в другую газ охлаждается не полностью.

Температуру всасывания во II ступень определяем по формуле:

$$T_{вс2} = T_{вс1} + \Delta T, \quad (13)$$

где  $\Delta T$  – недоохлаждение перед II ступенью (принимаем  $\Delta T = 10$  К).

Тогда:

$$T_{вс 2} = 293 + 10 = 303 \text{ К.}$$

Объем описанный поршнем II ступени определяем из формулы:

$$V_{h2} = \frac{V_e}{\lambda_2} \frac{p_{вс 1}}{p_{вс 2}} \frac{T_{вс 2}}{T_{вс 1}} = 0,833 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (14)$$

По заданным параметрам в качестве ближайшего аналога и прототипа выбираем оппозитный компрессор типа 4М16, который имеет следующие характеристики (таблица 1.4).

Аналогом является компрессор 4ВМ10 – 120/9 с параметрами, приведенными в таблице 1.4

Таблица 4 – Параметры компрессора 4ВМ10 – 120/9

| $V_h, \text{м}^3/\text{с}$ | $P_k, \text{МПа}$ | $n, \text{об/мин}$ | $S, \text{мм}$ | $c_{ср}, \text{м/с}$ | $N_{на валу}, \text{кВт}$ |
|----------------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| 2,075                      | 0,9               | 600                | 220            | 4,4                  | 809                       |

Активные площади поршней I, II ступеней определяем из уравнения:

$$F_{Pi} = \frac{2V_{hi}}{C_m}. \quad (15)$$

Так как у нас в каждой ступени по два цилиндра, то эта формула примет вид:

$$F_{\Pi i} = \frac{V_{hi}}{C_m}, \quad (16)$$

где  $C_m$  – средняя скорость поршня (берем из таблицы 1.4).

Тогда:

$$F_{\Pi 1} = \frac{2,631}{4,4} = 0,598 \text{ м}^2; \quad F_{\Pi 2} = \frac{0,833}{4,4} = 0,189 \text{ м}^2.$$

В ступенях двойного действия со штоком с одной стороны поршня (что соответствует выбранной схеме компрессора) диаметры цилиндров находятся по формуле:

$$D_i = \sqrt{\frac{(F_{\Pi i} f_{um})^2}{\pi}}; \quad (17)$$

где  $f_{um}$  – площадь штока, она равна  $f_{um} = \frac{0,05 \pi D_1^2}{4}$ .

Тогда получим выражение для расчета диаметра цилиндра в следующем виде:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 F_{\Pi 1}}{1,95 \pi}};$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,598}{1,95 \pi}} = 0,625 \text{ м};$$

$$f_{um} = \frac{0,05 \pi 0,625^2}{4} = 0,015 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем значение  $D_2$  :

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,189}{1,95 \pi}} = 0,352 \text{ м.}$$

Значения  $D_1$  и  $D_2$  округляем до ближайшего стандартного размера диаметра цилиндра по ГОСТ 9515–81 [6]:  $D1 = 0,620$  м;  $D2 = 0,350$  м.

Рассчитаем геометрические площади поршней:

$$F'_{П1} = \pi \frac{0,620^2}{4} = 0,302 \text{ м}^2; \quad F'_{П1} = \pi \frac{0,350^2}{4} = 0,096 \text{ м}^2.$$

Уточним описанные поршнями объемы после округления диаметров цилиндров и хода поршня по формуле:

$$V_{hi} = \frac{1,95 C_m \pi D_i^2}{4}; \quad (18)$$

$$V_{h1} = \frac{1,95 \cdot 4,4 \cdot \pi \cdot 0,620^2}{4} = 2,589 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{h2} = \frac{1,95 \cdot 4,4 \cdot \pi \cdot 0,350^2}{4} = 0,825 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Проверяем производительность компрессора с учетом округления основных размеров цилиндра: так как  $V_e = \lambda_1 \cdot V_{h1}$ , получаем  $V_e = 0,76 \cdot 2,589 = 1,988 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Согласно ГОСТ 23680–79 производительность компрессора не должна отличаться от номинальной более чем на  $\pm 5 \%$ . В нашем случае отклонение составляет  $\pm 4,1 \%$ .

Таблица 5 – Параметры ступеней компрессора

| Параметр                                                 | I ступень | II ступень |
|----------------------------------------------------------|-----------|------------|
| Число цилиндров                                          | 2         | 2          |
| Диаметр цилиндров $D_i$ , м                              | 0,620     | 0,350      |
| Площадь поршня $F_{pi}$ , м <sup>2</sup>                 | 0,302     | 0,096      |
| Объем описываемый поршнями $V_{hi}$ , м <sup>3</sup> /с. | 2,589     | 0,825      |

### Определение индикаторной мощности компрессора и выбор электродвигателя

Индикаторная мощность многоступенчатого компрессора равна сумме индикаторных мощностей отдельных ступеней сжатия:

$$N_u = \sum_{i=1}^{i=z} N_{ui}, \quad (19)$$

где  $z$  – число ступеней ( $z = 2$ );  $N_{ui}$  – индикаторная мощность  $i$ -ой ступени, которая определяется из уравнения

$$N_{ui} = p_{вс1} (1 - x_{1i}) V_{h1} \left[ (1 + a_i) A_{ci} - a_i \Pi_{\psi i} \frac{1}{n_{pi}} A_{pi} \right], \quad (20)$$

где  $x_{1i}$  – средняя относительная потеря давления на всасывание в ступень;  $a_i$  – относительная величина мертвого пространства в ступени;  $\Pi_{\psi i}$  – отношение давлений в цилиндре;  $A_{pi}$  и  $A_{ci}$  – величины, определяемые ниже.

Определим все величины, входящие в выражение для индикаторной мощности ступеней. Средние относительные потери давления во всасывающих и нагнетательных клапанах составляют [6, 8, 9]:  $x_{11} = 0,03 \div 0,07$ ;  $x_{21} = 0,8 \cdot x_{11}$ .

Принимаем  $x_{11} = 0,07$ , тогда  $x_{21} = 0,8 \cdot 0,07 = 0,056$ . Потери во второй ступени составят:  $x_{12} = 0,8 \cdot 0,07 = 0,056$ , тогда  $x_{22} = 0,8 \cdot 0,056 = 0,045$ .

Найдем отношение давлений газа в цилиндрах ( $\Pi_{\psi i}$ ) по формулам:

$$\Pi_{\psi 1} = \frac{p_{\psi c 2} (1 + x_{21})}{p_{\psi c 1} (1 - x_{11})} = 3,591; \quad \Pi_{\psi 2} = \frac{p_{\psi 2} (1 + x_{22})}{p_{\psi 1} (1 - x_{21})} = 3,5; \quad (21)$$

Значения величин  $A_{pi}$  и  $A_{ci}$  определяем по формулам:

$$A_{ci} = \frac{n_{ci}}{n_{ci} - 1} \left[ \Pi_{\psi i} \frac{n_{ci} - 1}{n_{ci}} - 1 \right]; \quad A_{pi} = \frac{n_{pi}}{n_{pi} - 1} \left[ \Pi_{\psi i} \frac{n_{pi} - 1}{n_{pi}} - 1 \right], \quad (22)$$

где  $n_{ci}$  – показатель политропы сжатия, он находится по приближенной формуле  $n_{ci} = n_{cl} + 0,015(i - 1)k$ , где  $k$  – показатель адиабаты, принимаем  $k = 1,4$ .

Величина  $n_{cl}$  находится из соотношения  $n_{ci} = ak$ , где  $a$  – коэффициент, значения которого изменяются  $a = 0,92 \div 1$ . Меньшее значение коэффициента  $a$  следует выбирать для компрессоров небольшой производительности и отношений давления, близких к 3. Для нашего случая принимаем  $a = 1$ .

Получаем  $n_{cl} = 1 \cdot 1,4 = 1,4$ ;  $n_{c2} = 1,4 + 0,015(2 - 1)1,4 = 1,421$ .

$n_{pi}$  – показатель политропы расширения находится по формуле:

$$n_{pi} = (0,92 \div 0,98) n_{ci}; \quad (23)$$

$$n_{p1} = 0,97 \cdot 1,4 = 1,358; \quad n_{p2} = 0,97 \cdot 1,421 = 1,378.$$

Тогда:

$$A_{c1} = \frac{1,4}{1,4 - 1} \left[ 3,591 \frac{1,4 - 1}{1,4} - 1 \right] = 1,543; \\ A_{c2} = \frac{1,421}{1,421 - 1} \left[ 3,566 \frac{1,421 - 1}{1,421} - 1 \right] = 1,517;$$

$$A_{p1} = \frac{1,358}{1,358 - 1} \left[ \begin{array}{cc} \frac{1,358 - 1}{1,358} & \\ 3,591 & 1,358 \\ & - 1 \end{array} \right] = 1,52 ;$$

$$A_{p2} = \frac{1,378}{1,379 - 1} \left[ \begin{array}{cc} \frac{1,378 - 1}{1,378} & \\ 3,5 & 1,378 \\ & - 1 \end{array} \right] = 1,495 .$$

Подставим все известные величины в формулу для определения индикаторной мощности ступеней, кВт:

$$N_{u1} = 0,1 \cdot 10^3 (1 - 0,07) 2,589 \left[ \begin{array}{cc} & \frac{1}{1,358} \\ (1 + 0,1)3,164 & - 0,1 \cdot 5,137 \\ & \cdot 1,72 \end{array} \right] = 620 ,805 \text{ кВт};$$

$$N_{u2} = 0,316 \cdot 10^3 (1 - 0,056) 0,973 \left[ \begin{array}{cc} & \frac{1}{1,378} \\ (1 + 0,1)1,748 & - 0,1 \cdot 2,446 \\ & \cdot 3,078 \end{array} \right] = 377 ,112 \text{ кВт}.$$

Тогда полная индикаторная мощность компрессора:

$$N_u = 620 ,805 + 377 ,112 = 997 ,962 \text{ кВт}.$$

Мощность, потребляемая компрессором, определяется по формуле:

$$N_{\kappa} = \frac{N_u}{\eta_{\text{мех}}}, \quad (24)$$

где  $\eta_{\text{мех}}$  — механический коэффициент полезного действия компрессора, который задают, используя статистические данные близких по параметрам машин (принимаем  $\eta_{\text{мех}} = 0,95$  [8]).

$$\text{Получаем } N_{\kappa} = \frac{997 ,962}{0,95} = 1050 \text{ кВт}.$$

Следовательно, электродвигатель должен обладать мощностью:  $N \geq N_{эд}$ , где  $N_{эд} = 1,2 \cdot N_k$ , откуда  $N_{эд} = 1,2 \cdot 1050 = 1260,583$  кВт.

### Подбор электродвигателя

В тех случаях, когда компрессор не комплектуется специальным фланцевым двигателем и его привод осуществляется через муфту или иным образом, то, зная  $N_{эд}$  и скорость вращения вала, двигатель необходимо подобрать по каталогам.

По справочнику электродвигателей выбираем двигатель СНД-2-17-49-12

Как правило, двигатели этого типа работают в закрытых помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями. Температура окружающего воздуха по ТУ определяется от  $-20$  до  $+40$  °С. При этом ежемесячное значение влажности окружающей среды в наиболее теплый и влажный период должно быть не более 80 % при температуре  $+20$  °С.

Таблица 6– Технические характеристики электродвигателя

| Типоразмер двигателя | Мощность, кВт | Частота вращения, об/мин | КПД, % | $\frac{M_{\max}}{M_{\min}}$ | $\frac{I_n}{I_{\text{ном}}}$ | $\frac{M_n}{M_{\text{ном}}}$ | $\frac{M_s}{M_{\text{ном}}}$ | Момент инерции механизма, кг·м <sup>2</sup> | Масса общая, 10 <sup>3</sup> кг |
|----------------------|---------------|--------------------------|--------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 17-49-12             | 1250          | 600                      | 95,3   | 1,9                         | 5,2                          | 1,1                          | 1,2                          | 3475                                        | 7,2                             |

### Определение температуры нагнетания

Принимая, что сжатие воздуха происходит по адиабате, находим температуру нагнетания по формуле:

$$T_{ni} = T_{вci} \varepsilon_{\psi i}^{\frac{k-1}{k}}, \quad (25)$$

где  $k = 1,4$  – показатель адиабаты,  $\varepsilon_{\psi i}$  – относительное повышение давления в цилиндре (смотри таблицу 1.2).

Таким образом, нам известны значения всех необходимых величин, тогда:

$$T_{n1} = 293 \cdot 3,55^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 407,773 \text{ К};$$

$$T_{n2} = 293 \cdot 3,1^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 404,815 \text{ К}.$$

Допустимой является температура нагнетания до 454 К.

### **Выбор клапанов по пропускной способности**

Допустимые относительные потери мощности в клапанах и соответствующие им значения критерия скорости выбираем по рекомендациям [6]:

$$\underline{I \text{ ступень}}: \left( \frac{\Delta N_{кл}}{N_{ном}} \right)_{\max} = 11,2\% \Rightarrow F_{вс \max} = 0,22 ;$$

$$\underline{II \text{ ступень}}: \left( \frac{\Delta N_{кл}}{N_{ном}} \right)_{\max} = 11,2\% \Rightarrow F_{вс \max} = 0,22 .$$

Скорость звука при условиях в клапане определяем по уравнению:

$$a_{зв} = \sqrt{kRT}, \quad (26)$$

где  $R$  – газовая постоянная воздуха:  $R = 287,2 \text{ Дж/кгК}$ .

$$a_{зв.вс.1} = \sqrt{1,4 \cdot 287,2 \cdot 293} = 343,234 \text{ м/с};$$

$$a_{зв.вс.2} = \sqrt{1,4 \cdot 287,2 \cdot 303} = 349,042 \text{ м/с};$$

$$a_{зв.н.1} = \sqrt{1,4 \cdot 287,2 \cdot 407,77} = 404,915 \text{ м/с};$$

$$a_{зв.н.1} = \sqrt{1,4 \cdot 287,2 \cdot 404,815} = 403,445 \text{ м/с}.$$

Рассчитаем допустимую условную скорость газа в клапане по формуле:

$$\omega_{\phi i} = F_i a_{зв i}, \quad (27)$$

где  $F_i$  – значение критерия скорости (смотри выше).

Тогда:

$$\omega_{\phi.вс.1} = 0,22 \cdot 343,234 = 75,511 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\phi.вс.2} = 0,22 \cdot 349,042 = 76,789 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\phi.н.1} = 0,22 \cdot 349,042 = 76,789 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\phi.н.2} = 0,22 \cdot 404,815 = 89,709 \text{ м/с}.$$

Выберем число клапанов в обеих ступенях:  $z_{кл.вс.1} = 3$ ;  $z_{кл.вс.2} = 2$ ;

$$z_{кл.н.1} = 3; \quad z_{кл.н.2} = 2.$$

Определяем необходимое значение эквивалентной площади клапана по формуле:

$$\Phi_i = \frac{F'_{\Pi i} C_m}{z_{кл.i} \omega \phi.i}, \quad (28)$$

где  $C_m$  – средняя скорость поршня (берем из табл. 2.3).

Тогда:

$$\Phi_{вс.1} = \frac{10^4 \cdot 0,302 \cdot 4,4}{3 \cdot 75,511} = 58,658 ;$$

$$\Phi_{вс.2} = \frac{10^4 \cdot 0,096 \cdot 4,4}{2 \cdot 76,789} = 27,504 ;$$

$$\Phi_{н.1} = \frac{10^4 \cdot 0,302 \cdot 4,4}{3 \cdot 89,709} = 49,374 ;$$

$$\Phi_{н.2} = \frac{10^4 \cdot 0,096 \cdot 4,4}{2 \cdot 88,758} = 23,795 .$$

По найденным необходимым значениям эквивалентной площади клапанов подбираем стандартизованные клапаны типа КТ по ГОСТ 26 – 12 – 2030 – 81 [6].

### I ступень

$$\underline{\text{ВКТ 220} - 3,5 - 1,0} \quad \Phi_{вс.1} = 62,5 ; \quad \underline{\text{НКТ 220} - 3,0 - 1,0} \quad \Phi_{н.1} = 53,4 ;$$

### II ступень

$$\underline{\text{ВКТ 160} - 3,0 - 1,0} \quad \Phi_{вс.2} = 28,6 ; \quad \underline{\text{НКТ 180} - 1,5 - 1,0} \quad \Phi_{н.2} = 23,4 .$$

Проверка компоновки клапанов на крышке цилиндров показывает, что выбранные клапаны могут быть расположены в крышке цилиндра.

Основные данные клапанов ВКТ и НКТ в обычном исполнении представим в таблице 7:

Таблица 7 – Результаты расчета клапанов

| Неполный шифр клапана | Эквивалентная площадь $\Phi$ , см <sup>2</sup> , не менее | Мертвый объем клапана $V_m$ , см <sup>3</sup> | Ширина прохода в седле $b$ , мм | Высота подъема пластины $h$ , мм | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $h_{вс} = h_n$ , мм | $h_i$ , мм | $H$ , мм | Число кольцевых проходов |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|------------|---------------------|------------|----------|--------------------------|
| I – ступень           |                                                           |                                               |                                 |                                  |            |            |                     |            |          |                          |
| ВКТ 220 – 3,5 – 1,0   | 62,5                                                      | 515                                           | 7                               | 3,5                              | 220        | 235        | 12                  | 38,0       | 95       | 5                        |
| НКТ 220 – 3,0 – 1,0   | 53,4                                                      | 555                                           | 7                               | 3,0                              | 220        | 235        | 12                  | 37,5       | 95       | 5                        |
| II – ступень          |                                                           |                                               |                                 |                                  |            |            |                     |            |          |                          |
| ВКТ 160 – 3,0 – 1,0   | 28,6                                                      | 294                                           | 8                               | 3,0                              | 160        | 175        | 12                  | 33,5       | 85       | 3                        |
| НКТ 180 – 1,5 – 1,0   | 23,4                                                      | 324                                           | 7                               | 1,5                              | 180        | 195        | 12                  | 36,0       | 90       | 4                        |

### **Подбор пружин клапанов**

Найдем скорректированное значение эквивалентной скорости газа в клапане:

$$\omega_{\phi i} = \frac{F'_{\Pi i} \cdot C_m}{z_{кл. i} \cdot \Phi_i} . \quad (29)$$

Подставим значения:

$$\omega_{\phi . \text{вс} . 1} = \frac{10^4 \cdot 0,302 \cdot 4,4}{3 \cdot 62,5} = 70,869 \text{ М/с}; \quad \omega_{\phi . \text{вс} . 2} = \frac{10^4 \cdot 0,096 \cdot 4,4}{2 \cdot 28,6} = 73,846 \text{ М/с};$$

$$\omega_{\phi . \text{н} . 1} = \frac{10^4 \cdot 0,302 \cdot 4,4}{3 \cdot 53,4} = 82,946 \text{ М/с}; \quad \omega_{\phi . \text{н} . 2} = \frac{10^4 \cdot 0,096 \cdot 4,4}{2 \cdot 23,4} = 90,256 \text{ М/с}.$$

Скорректируем значение критерия скорости газа в клапане:

$$F_i = \frac{\omega_{\phi i}}{a_{3 \text{ в} i}}. \quad (30)$$

Подставим значения:

$$F_{\text{вс} . 1} = \frac{70,869}{343,234} = 0,206 ; \quad F_{\text{вс} . 2} = \frac{91,429}{349,042} = 0,262 ;$$

$$F_{\text{н} . 1} = \frac{82,946}{404,915} = 0,205 ; \quad F_{\text{н} . 2} = \frac{122,463}{403,445} = 0,304 .$$

По известному скорректированному значению критерия скорости  $F_i$  находим максимальное значение потери давления в клапане в теоретическом  $x_{\text{max}i}$  случае. Для этого воспользуемся графиком [6] зависимости  $x_{\text{max}i}$  от  $F_i$ :

$$x_{\text{max} . \text{вс} . 1} = 0,057 ; \quad x_{\text{max} . \text{вс} . 2} = 0,12 ;$$

$$x_{\text{max} . \text{н} . 1} = 0,056 ; \quad x_{\text{max} . \text{н} . 2} = 0,2 .$$

Задаемся отношением:  $\Theta = \frac{x_{\text{н.о.}}}{x_{\text{max}}} = 0,1 \div 0,3$  (принимаем  $\Theta = 0,3$ ).

По известным значениям  $\Theta$  и  $x_{\text{max}i}$  найдем минимальное значение перепада давлений в клапане, необходимого для преодоления силы

упругости пружины в полностью открытом клапане. Для этого воспользуемся формулой:

$$x_{n.o.i} = \Theta x_{\max i} . \quad (31)$$

Подставим значения:

$$x_{n.o.вс.1} = 0,3 \cdot 0,057 = 0,017 ; \quad x_{n.o.вс.2} = 0,3 \cdot 0,12 = 0,036 ;$$

$$x_{n.o.н.1} = 0,3 \cdot 0,056 = 0,017 ; \quad x_{n.o.н.2} = 0,3 \cdot 0,2 = 0,06 .$$

Рассчитаем минимальный перепад давлений необходимый для полного открытия клапана по формуле:

$$\Delta p_{n.o.i} = x_{n.o.i} p_i , \quad (32)$$

где  $p_i$  – давления всасывания и нагнетания в I и II ступени :

$$\Delta p_{n.o.вс.1} = 10^6 \cdot 0,017 \cdot 0,1 = 1700 \text{ Н/м}^2;$$

$$\Delta p_{n.o.вс.2} = 10^6 \cdot 0,036 \cdot 0,316 = 11380 \text{ Н/м}^2;$$

$$\Delta p_{n.o.н.1} = 10^6 \cdot 0,017 \cdot 0,316 = 5372 \text{ Н/м}^2; \quad \Delta p_{n.o.н.2} = 10^6 \cdot 0,06 \cdot 1 = 60000$$

Н/м<sup>2</sup>.

Находим отношение полной высоты подъема пластины к ширине прохода в щели. Значения  $h$  и  $b$  берем из табл. 2.6:

I ступень                      Всасывающие клапаны:  $\frac{h}{b} = \frac{3,5}{7} = 0,5 ;$

Нагнетательные клапаны:  $\frac{h}{b} = \frac{3,0}{7} = 0,429 .$

II ступень                      Всасывающие клапаны:  $\frac{h}{b} = \frac{3,0}{8} = 0,375 ;$

Нагнетательные клапаны:  $\frac{h}{b} = \frac{1,5}{7} = 0,214$  .

На основании полученных значений отношений  $h/b$  находим коэффициент давления потока  $\rho_p$ . Для этого воспользуемся графиком коэффициента давления потока для кольцевых и дисковых клапанов [6]:

$$\rho_{p.вс.1} = 1,28$$

$$\rho_{p.вс.2} = 1,27$$

$$\rho_{p.н.1} = 1,27 ;$$

$$\rho_{p.н.2} = 1,15 .$$

Рассчитаем приведенную силу упругости пружины по формуле:

$$B_{np.i} = \Delta p_{n.o..i} \rho_{p.i} . \quad (33)$$

Все необходимые значения известны, подставим их в приведённую формулу и получим:

$$B_{np.вс.1} = 1700 \cdot 1,28 = 2176 \text{ Н/м}^2; \quad B_{np.вс.2} = 11380 \cdot 1,27 = 14450 \text{ Н/м}^2;$$

$$B_{np.н.1} = 5372 \cdot 1,27 = 6822 \text{ Н/м}^2; \quad B_{np.н.2} = 60000 \cdot 1,15 = 69000 \text{ Н/м}^2.$$

Округляем значения приведенной силы упругости пружины до ближайшего номинального значения из стандартного ряда [6]:

$$B_{np.вс.1} = 2750 \text{ Н/м}^2; \quad B_{np.вс.2} = 20000 \text{ Н/м}^2;$$

$$B_{np.н.1} = 8000 \text{ Н/м}^2; \quad B_{np.н.2} = 70000 \text{ Н/м}^2.$$

Рассчитаем силу давления пружины на пластины клапана по формуле:

$$P_{np.ном.i} = B_{np.i} \cdot f_{ci} , \quad (34)$$

где  $f_c$  – площадь проходного сечения в седле, она определяется по формуле:  $f_{ci} = \frac{\Phi_i}{0,7}$ . (35) Тогда:

$$f_{c.вс.1} = \frac{62,5}{0,7} = 89,286 \text{ см}^2; \quad f_{c.вс.2} = \frac{28,6}{0,7} = 40,857 \text{ см}^2;$$

$$f_{c.н.1} = \frac{53,4}{0,7} = 76,286 \text{ см}^2; \quad f_{c.н.2} = \frac{23,4}{0,7} = 33,429 \text{ см}^2.$$

$$P_{пр.ном.вс.1} = 2750 \cdot 0,00893 = 24,554 \text{ Н};$$

$$P_{пр.ном.вс.2} = 20000 \cdot 0,00409 = 81,8 \text{ Н};$$

$$P_{пр.ном.н.1} = 8000 \cdot 0,00763 = 61,04 \text{ Н};$$

$$P_{пр.ном.н.2} = 70000 \cdot 0,00334 = 233,8 \text{ Н}.$$

На этом тепловой расчет завершен.

### 3.2 Динамический расчет

Как уже отмечалось в тепловом расчёте, компрессор имеет следующую схему (рисунок. 7):

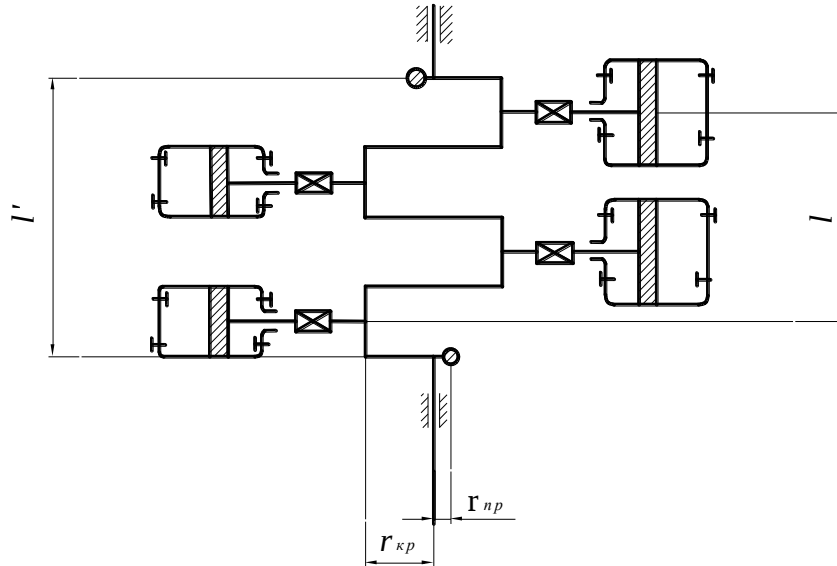


Рисунок 7– Схема двухступенчатого оппозитного компрессора

Рассмотрим механизм движения компрессора – коленчатый вал, шатун, крейцкопф, шток, поршень. Из них поршень, шток и крейцкопф совершают только возвратно-поступательные движения, коленчатый вал – вращательное, шатун – сложно-плоское, которое можно рассматривать как результат сложения двух движений: возвратно-поступательного вместе с крейцкопфом и вращательного вместе с коленчатым валом. В связи с этим массу шатуна  $m_{ш}$  разбивают на две части:  $m_{us} = 0,3m_{ш}$  и  $m_{ur} = 0,7m_{ш}$ .

Массу колена вала, совершающую вращательное движение, приводят к пальцу кривошипа. Таким образом, масса возвратно-поступательно движущихся частей, приведенная к центру крейцкопфного пальца, для каждого ряда будет определяться следующим образом:

$$m_s = m_n + m_{um} + m_{kp} + m_{us} \cdot \quad (36)$$

Масса вращающихся частей составит:

$$m_r = m_k + 2m_{ur}. \quad (37)$$

Таблица 8 – Массы вращающихся частей

| № п/п | Наименование                              | Масса, кг |
|-------|-------------------------------------------|-----------|
| 1     | Поршень $m_n$                             | 37,44     |
| 2     | Шток $m_{шт}$                             | 28,31     |
| 3     | Крейцкопф с крейцкопфным пальцем $m_{кр}$ | 158       |
| 4     | Шатун $m_{ш}$                             | 24        |
| 5     | Колено вала $m_k$                         | 55        |

$$m_{us} = 0,3 \cdot 24 = 7,2 \text{ кг}; \quad m_{ur} = 0,7 \cdot 24 = 16,8 \text{ кг}.$$

Остальные величины, необходимые для расчета, составляют:

– угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 2\pi n_0$  , (38)

где  $n_0$  – частота вращения коленчатого вала. Тогда

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 4,4 = 27,632 \text{ рад/с};$$

– отношение радиуса кривошипа к длине шатуна  $\lambda = \frac{r_{кр}}{l_{ш}}$  ,

где  $r_{кр}$  – радиус кривошипа;  $l_{ш}$  – длина шатуна:  $l_{ш} = 0,730$  м. Тогда

$$\lambda = \frac{0,160}{0,730} = 0,15 ;$$

– приведённые массы составят:  $m_s = 37,44 + 28,31 + 158 + 7,2 = 230,95$  кг;

$$m_r = 55 + 16,8 = 71,8 \text{ кг}.$$

В рассматриваемой схеме необходимо уравновесить момент сил инерции I и II:

$$m_r r_{кр} l = m_{np} r_{np} l' , \quad (39)$$

где  $r_{кр}$  – радиус установки противовеса. Конструктивно примем  $r_{np} = r_{кр}$ .

Тогда:

$$m_r l = m_{np} l' . \quad (40)$$

Выразим отсюда  $m_{np}$ :

$$m_{np} = \frac{m_r l}{l'} .$$

Подставим значения:

$$m_{np} = \frac{71,8 \cdot 2150}{2450} = 63,01 \text{ кг}.$$

### ***Построение индикаторных диаграмм***

Схематизированные индикаторные диаграммы строятся в координатах усилие – ход поршня. Сначала на индикаторные диаграммы наносятся средние усилия всасывания и нагнетания ( $P_{Гвс}$  и  $P_{Гн}$ ). Они рассчитываются по формулам:

$$P_{Г.вс.i} = P_{вс.i} (1 - x_{1i})^{F_{Пi}} ; \quad P_{Г.н.i} = P_{н.i} (1 + x_{2i})^{F_{Пi}} , \quad (41)$$

где  $x_{1i}$  и  $x_{2i}$  – средние относительные потери давления.

Подставим значения:

$$P_{Г.вс.1} = 10^3 \cdot 0,1(1 - 0,07)0,302 = 28,086 \text{ кН};$$

$$P_{Г.н.1} = 10^3 \cdot 0,316 (1 + 0,056)0,302 = 100,776 \text{ кН};$$

$$P_{Г.вс.2} = 10^3 \cdot 0,316 (1 - 0,056)0,096 = 28,63 \text{ кН};$$

$$P_{Г.н.2} = 10^3 \cdot 1 \cdot (1 + 0,045)0,096 = 100,32 \text{ кН}.$$

Линию сжатия строим в соответствии с уравнением политропы сжатия:

$$P_{Г.i} = \frac{P_{Г.1} S_1^{n_c}}{S_i^{n_c}} , \quad (42)$$

где  $P_{Г1}$ ,  $S_1$  – координаты точки соответствующей началу сжатия;

$P_{Гi}$ ,  $S_i$  – текущие координаты;  $n_c$  – показатель политропы сжатия.

Линию расширения строят аналогично, пользуясь уравнением политропы расширения:

$$P_{\Gamma.j} = \frac{P_{\Gamma.3} S_3^{n_p}}{S_j^{n_p}}, \quad (43)$$

где  $P_{\Gamma.3}$ ,  $S_3$ — координаты точки соответствующей началу расширения;  
 $P_{\Gamma.j}$ ,  $S_j$ — текущие координаты;  $n_{pi}$  — показатель политропы расширения.

Кривые сжатия и расширения строятся до пересечения с линиями средних усилий нагнетания и всасывания соответственно.

Пусть  $S_1 = 42$  мм, тогда при сжатии:

$$P_{\Gamma.2} = \frac{100,776 \cdot 32^{1,386}}{42^{1,386}} = 62,52 \text{ кН}.$$

Другие точки рассчитываются аналогично. В связи с этим остальные расчеты представим в виде таблиц 9,10:

Таблица 9— Расчет процессов сжатия и расширения для I ступени

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $s_i$          | 32    | 42    | 52    | 62    | 72    | 82    | 92    | 102   | 112   |
| $P_{\Gamma.i}$ | 91,14 | 62,52 | 46,50 | 36,44 | 29,62 | 24,74 | 21,88 | 18,28 | 16,05 |
| $s_j$          | 352   | 332   | 312   | 292   | 272   | 252   | 232   | 212   | 192   |
| $P_{\Gamma.j}$ | 25,1  | 27,18 | 29,57 | 32,35 | 35,63 | 39,51 | 44,22 | 49,98 | 57,18 |

Таблица 10 - Расчет процессов сжатия и расширения для II ступени

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $s_i$          | 32    | 42    | 52    | 62    | 72    | 82    | 92    | 102   | 112   |
| $P_{\Gamma.i}$ | 91,27 | 62,25 | 46,09 | 35,99 | 29,16 | 24,29 | 20,66 | 17,86 | 15,66 |
| $s_j$          | 352   | 332   | 312   | 292   | 272   | 252   | 232   | 212   | 192   |
| $P_{\Gamma.j}$ | 25,60 | 27,75 | 30,24 | 33,13 | 36,53 | 40,59 | 45,49 | 51,51 | 59,06 |

Для проверки правильности построения индикаторных диаграмм определим графическим путем индикаторную мощность ступеней и сравним ее с индикаторной мощностью, полученной в результате термодинамического расчета:

$$N_{ui} = P_{ui} S n_0, \quad (44)$$

где  $P_u$  – среднеиндикаторная поршневая сила в ступени, которая находится с помощью планиметрирования индикаторных диаграмм полостей соответствующей ступени.

Учитывая что в нашем случае индикаторные диаграммы обеих полостей в каждой ступени одинаковы, получим:

$$P_{ui} = \frac{2 m_s m_p f_i}{S}, \quad (45)$$

где  $m_p = 2$  – масштабный коэффициент поршневой силы кН/мм,  $m_s = 0,5$  – масштабный коэффициент перемещения поршня,  $f_i$  – площадь соответствующей индикаторной диаграммы одной полости цилиндра, мм<sup>2</sup>.

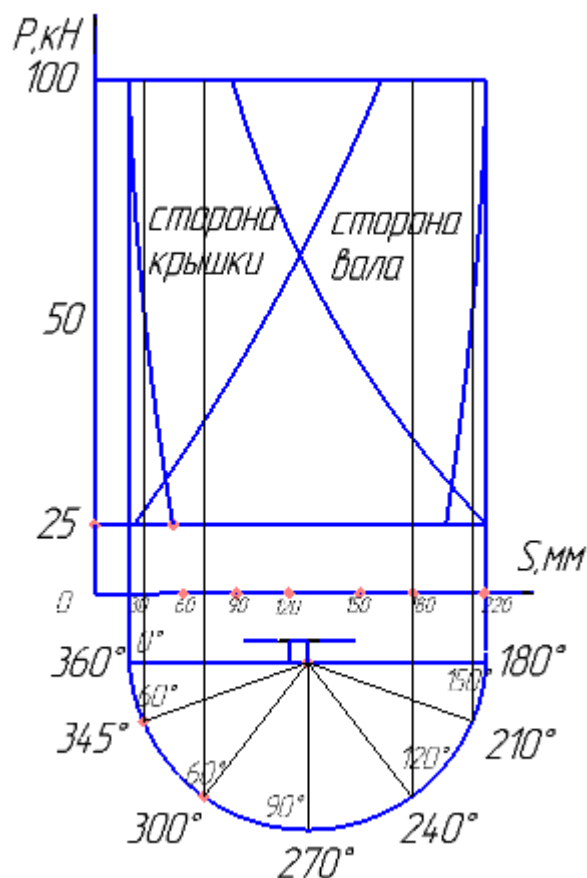


Рисунок 8 –Индикаторная диаграмма полости первой ступени

Индикаторная диаграмма второй ступени строится по такому же принципу.

После построения диаграммы подсчитаем их площади:  $f_1 = 20298$  мм<sup>2</sup>,  $f_2 = 20637$  мм<sup>2</sup>.

Тогда:

$$P_{u1} = \frac{20,5 \cdot 2 \cdot 69558,5}{220} = 612,115 \text{ кН};$$

$$P_{u2} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 40519,93}{320} = 368,363 \text{ кН}.$$

А индикаторная мощность по ступеням будет иметь следующие величины:

$$N_{u1} = 632,350 \cdot 0,22 \cdot 4,4 = 612,115 \text{ кВт};$$

$$N_{u2} = 368,363 \cdot 0,22 \cdot 4,4 = 356,575 \text{ кВт}.$$

При выполнении термодинамического расчета были получены следующие значения:

$$N_{u1} = 620,805 \text{ кВт}; \quad N_{u2} = 377,112 \text{ кВт}.$$

В первом случае погрешность составляет около 4,5 %, а во втором – 1,3 %. Результаты хорошо согласуются, следовательно, построение индикаторных диаграмм выполнено правильно.

### 3.3 Прочностной расчет

#### *Расчет на прочность стержня шатуна*

При расчёте на прочность любой детали необходимо прежде всего определить расчётные нагрузки. В воздушных оппозитных компрессорах в большинстве случаев максимальная нагрузка определяется величиной сил инерции и действует на стержень шатуна при холостом ходе компрессора, когда растягивающая и сжимающая его силы равны:

$$P_p = m_n r \omega^2 (1 + \lambda) \quad \text{и} \quad P_c = m_n r \omega^2 (1 - \lambda), \quad (46)$$

где  $m_n = 65 \text{ кг}$ ;  $r = 0,11 \text{ м}$ ;  $\lambda = 0,15$ ;  $\omega = 27,6 \text{ рад/с}$ .

$$P_p = 33,838 \text{ кН}$$

$$P_c = 22,559 \text{ кН}$$

Геометрические параметры расчётного сечения показаны на рисунке 9  
 $H = d_1 = 0,09 \text{ м}$ ;  $h = L/2 = 0,08/2 = 0,04 \text{ м}$ ;  $a_y = 1/3h = 1/3 \cdot 0,04 = 0,0013 \text{ м}$ ;  
 $d_y = a_y = 0,0013 \text{ м}$  [5].

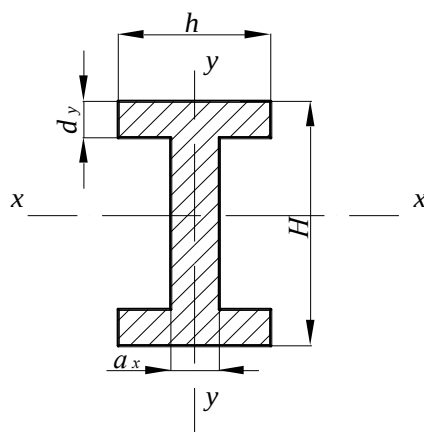


Рисунок 9 – Форма среднего сечения стержня шатуна

Суммарное напряжение от сжатия и продольного изгиба стержня шатуна рассчитываем для сечения, имеющего форму двутавра (рисунок 9), по эмпирическим формулам Навье – Ренкина:

$$\sigma_x = \left[ P_c / f_{cp} + \sigma_{0,05} / \left( \pi^2 E \right) l_{um}^2 / J_x P_c \right]$$

и

$$(47)$$

$$\sigma_y = \left[ P_c / f_{cp} + \sigma_{0,05} / \left( \pi^2 E \right) l_1^2 / 4 J_y P_c \right],$$

где  $[\sigma_{0,05}/(\pi^2 E)] = 0,032$  [4],

$f_{cp}$  – площадь среднего сечения шатуна ( $f_{cp} = 2d_y h + a_x(H - 2d_y)$ );

$J_x, J_y$  – моменты инерции среднего сечения шатуна относительно осей  $xx$  и  $yy$ ;  $l_{um}$  – длина шатуна ( $l_{um} = 0,55$  м);

$l_1$  – расстояние между верхней и нижней головками шатуна ( $l_1 = 0,39$  м).

$$f_{cp} = 2 \cdot 0,0013 \cdot 0,04 + 0,0013 (0,09 - 2 \cdot 0,0013) = 0,00024 \text{ м}^2.$$

Определение моментов инерции проводим по [6]:

$$J_x = 2 \left( \frac{h d_y^3}{12} + 2 h d_y (H/2)^2 + \left( \frac{a_x (H - 2 d_y)^3}{12} \right) \right); \quad (48)$$

$$J_x = 2 \left( 0,04 \cdot 0,0013^3 \right) / 12 + 2 \cdot 0,04 \cdot 0,0013 (0,09 / 2)^2 + \left( 0,0013 (0,09 - 2 \cdot 0,013)^3 / 12 \right) = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$J_y = 2 \left[ \left( d_y h^3 \right) / 12 + d_y h (h/2 + d_y)^2 \right] + \left[ a_x^3 (H - 2 d_y) / 12 \right]; \quad (49)$$

$$J_y = 2 \left[ (0,0013 \cdot 0,04^3) / 12 + 0,0013 \cdot 0,04 (0,04 / 2 + 0,013)^2 \right] + [0,0013^3 (0,09 - 2 \cdot 0,0013) / 12] = 5,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$\sigma_x = \left[ 22559 / 0,00024 + 0,00032 \cdot 0,55^2 / 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 22559 \right] = 100 \text{ МПа};$$

$$\sigma_y = \left[ 22559 / 0,00024 + 0,00032 \cdot 0,39 / 4 \cdot 5,5 \cdot 10^{-8} \cdot 22559 \right] = 105 \text{ МПа}.$$

Напряжение растяжения для шатуна определяем по формуле:

$$\sigma_p = [P_c / f_{cp}] = [22559 / 0,00024] = 93 \text{ МПа}. \quad (50)$$

Для стержня шатуна  $\sigma_p < 100 \text{ МПа}$ .

Средние напряжения цикла:

$$\sigma_{cp_x} = 0,5(\sigma_x + \sigma_p) = 0,5(100 + 93) = 97 \text{ МПа};$$

(51)

$$\sigma_{cp_y} = 0,5(\sigma_y + \sigma_p) = 0,5(105 + 93) = 99 \text{ МПа}.$$

Амплитудные напряжения:

$$\sigma_{AMП_x} = 0,5(\sigma_x - \sigma_p) = 0,5(100 - 93) = 3 \text{ МПа};$$

(52)

$$\sigma_{AMП_y} = 0,5(\sigma_y - \sigma_p) = 0,5(105 - 93) = 6 \text{ МПа}.$$

Запасы усталостной прочности стержня шатуна:

$$n_X = \sigma_{-1} / (\sigma_{AMПX} + \psi_0 \sigma_{cp_x}); \quad n_Y = \sigma_{-1} / (\sigma_{AMПY} + \psi_0 \sigma_{cp_y}), \quad (53)$$

где  $\psi_0$  – коэффициент, зависящий от характеристики материала ( $\psi_0 = 0,05 - 0,20$ ), а  $\sigma_{-I}$  – предел усталости материала ( $\sigma_{-I} = 294$  МПа).

$$n_X = 294 / (3 + 0,2 \cdot 97) = 13 ; \quad n_Y = 294 / (6 + 0,2 \cdot 99) = 11,4 .$$

Согласно схеме, представленной на рисунке 4.2:

$$d_H = (1,3 - 1,7)d_0$$

где  $d_0 = 0,09$  м;  $d_H = 0,135$  м;  $d_{\text{вн}} = (1,2 - 1,22)d_0 = 0,1$  м;  $L = 0,08$  м.

### ***Расчет на прочность верхней головки шатуна***

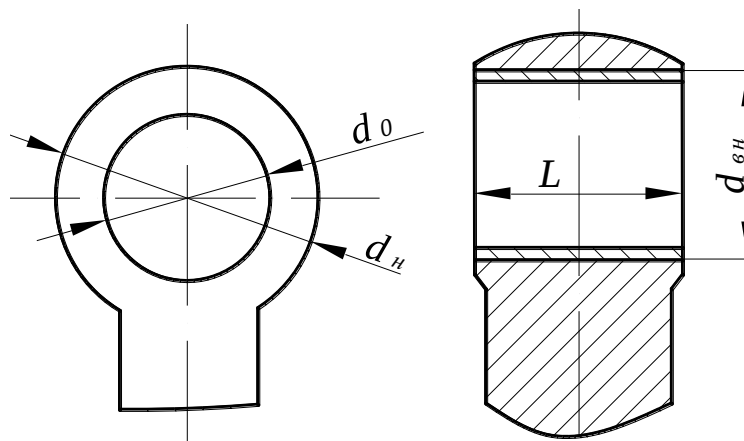


Рисунок 10 – Расчётная схема верхней головки шатуна

Определим среднее давление на головку шатуна по формуле:

$$q_{cp} = P_p / (d_{\text{вн}} L) = 33838 / (0,1 \cdot 0,08) = 4,2 \text{ МПа.} \quad (54)$$

Напряжение растяжения:

$$\sigma_p = q_{cp} (d_H^2 + d_{\text{вн}}^2) / (d_H^2 - d_{\text{вн}}^2)$$

$$\sigma_p = 4,2 (0,135^2 + 0,1^2) / (0,135^2 - 0,1^2) = 14,4 \text{ МПа.} \quad (55)$$

По условиям прочности  $\sigma_p < 20$  МПа.

Момент инерции:

$$J = 1/96 \cdot L (d_H - d_{BH})^3 = 1/96 \cdot 0,08 (0,135 - 0,1)^3 = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4. \quad (56)$$

Амплитудное напряжение:

$$\sigma_{AMП} = 0,5 \sigma_P = 7,35 \text{ МПа}. \quad (57)$$

Среднее напряжение:

$$\sigma_{cp} = \sigma_{AMП} = 7,35 \text{ МПа}. \quad (58)$$

Запас усталостной прочности головки шатуна:

$$n = 2 \sigma_{-1} / (\sigma_P [\kappa_{\sigma} \psi_0]), \quad (59)$$

где  $\kappa_{\sigma} = 1 - 2$ ,

$$n = 2 \cdot 294 / (14,4 [2 \cdot 0,2]) = 102$$

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

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 4Е31   | Павленюку Степану Степановичу |

| Институт            | ИПР         | Кафедра             | ТИМ                                                                                                     |
|---------------------|-------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уровень образования | бакалавриат | Направление/профиль | 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» |

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

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | 1. Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску.<br>2. Стоимость электроэнергии – 5,8 руб. кВт·ч – для юр. лиц.                           |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                           | Согласно российскому законодательству по оплате труда:<br>30% премии на заработную плату;<br>20% надбавки на заработную плату;<br>1,3 – районный коэффициент для г. Томска. |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений (27,1% отчисления на социальные нужды).                                                         |

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

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.<br>2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.<br>3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                        | 1. Расчет основной заработной платы исполнителей темы.<br>2. Расчет отчислений на социальные нужды.<br>3. Расчет электроэнергии и прочих расходов.<br>4. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.                                                                                                                                                             |

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, в том числе таблиц):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений.
2. Матрица SWOT.
3. Календарный график проведения НИ.
4. Бюджет проект.

|                                                      |               |
|------------------------------------------------------|---------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.05.2017 г. |
|------------------------------------------------------|---------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Антонова И.С. | к.э.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4Е31   | Павленюк Степан Степанович |         |      |

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

### **Введение**

В последние десятилетия основное количество научных разработок связано с инженерной, а не с фундаментальной сферой. Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

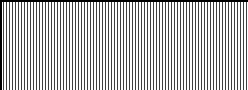
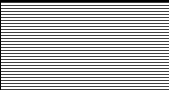
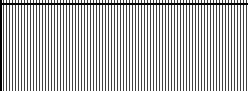
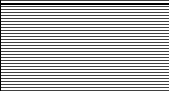
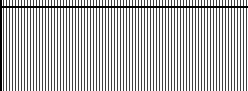
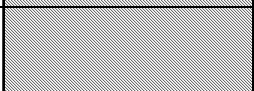
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать научно-исследовательскую работу.

#### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.

Продукт: Поршневой компрессор в зависимости от сжимающего элемента для пневматического оборудования.

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.

Таблица 11 – Карта сегментирования рынка

|                 |         | Вид компрессорного оборудования                                                     |                                                                                      |                                                                                      |
|-----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |         | Поршневой                                                                           | Винтовой                                                                             | Мембранный                                                                           |
| Размер компании | Крупные |   |                                                                                      |   |
|                 | Средние |   |   |   |
|                 | Мелкие  |  |  |  |

 – «Ariel»;

 – «Comprag»;

 – «AndreasHofer».

Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все размеры компаний для поршневого компрессорного оборудования;

- Наиболее привлекательными сегментами рынка являются средние и мелкие компании, связанные с применением винтовой компрессорной установки.

#### 4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить 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 и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки                                  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|                                                  |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Эксплуатационные характеристики               | 0,1          | 5              | 3               | 2               | 0,5                   | 0,3             | 0,2             |
| 2. Срок службы                                   | 0,1          | 5              | 3               | 2               | 0,5                   | 0,3             | 0,2             |
| 3. Ремонтопригодность                            | 0,1          | 3              | 4               | 2               | 0,3                   | 0,4             | 0,2             |
| 4. Производительность                            | 0,11         | 5              | 4               | 3               | 0,55                  | 0,44            | 0,33            |
| 5. Надежность                                    | 0,1          | 4              | 4               | 3               | 0,4                   | 0,4             | 0,3             |
| 6. Простота монтажа                              | 0,09         | 3              | 3               | 4               | 0,27                  | 0,27            | 0,36            |
| Экономические критерии оценки эффективности      |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1. Конкурентоспособность продукта                | 0,02         | 3              | 3               | 2               | 0,06                  | 0,06            | 0,04            |

|                                     |          |           |           |           |             |             |             |
|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 2. Уровень проникновения на рынок   | 0,07     | 4         | 4         | 3         | 0,28        | 0,28        | 0,21        |
| 3. Цена                             | 0,08     | 5         | 4         | 3         | 0,4         | 0,32        | 0,24        |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,1      | 4         | 3         | 3         | 0,4         | 0,3         | 0,3         |
| 5. Обслуживание                     | 0,1      | 4         | 5         | 5         | 0,4         | 0,5         | 0,5         |
| 6. Финансирование                   | 0,03     | 3         | 3         | 2         | 0,09        | 0,09        | 0,06        |
| <b>Итого</b>                        | <b>1</b> | <b>48</b> | <b>43</b> | <b>35</b> | <b>4,15</b> | <b>3,66</b> | <b>2,94</b> |

- Бф – поршневая компрессорная установка;
- Бк1-винтовая компрессорная установка;
- Бк2 мембранная компрессорная установка.

Анализ конкурентных технических решений показал, что целесообразно использовать поршневую компрессорную установку, так как она обладает рядом преимуществ. Наивысший вклад несут такие характеристики как: цена, надёжность, производительность, срок службы и эксплуатационные характеристики.

1. Конкурент 1 – винтовые компрессорные установки

$$K_{кс1}=4,15/3,66= 1,13.$$

2. Конкурент 2 – мембранная компрессорная установка

$$K_{кс2}=4,15 /2,94= 1,411.$$

В каждом случае предприятие признано конкурентоспособным, т.к.  $K_{кс}>1$ .

### **SWOT-анализ**

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей

возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (таблица 13).

Таблица 13 – Матрица SWOT

|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                         | <p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Квалифицированный персонал;</p> <p>С2. Высокий срок эксплуатации компрессора;</p> <p>С3. Надежность данного оборудования по сравнению с другими;</p> <p>С4. Определение возможных опасных проявлений при работе компрессора до его производства;</p> <p>С5. Наличие финансирования компании.</p> | <p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Остановка компрессорной установки в процессе монтажа;</p> <p>Сл2. Уменьшение производительности компрессорной установки;</p> <p>Сл3. Не испытан в работе;</p> <p>Сл4. Сложность сборки оборудования.</p> |
| <p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Существование потенциального спроса на</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| данную разработку со стороны газодобывающих и нефтяных компаний;<br>В3. Развитие технологий в данной отрасли;<br>В4. Повышение стоимости конкурентных исследований.                                                                                                |  |  |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на данные исследования;<br>У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции;<br>У3. Снижение бюджета на исследование, со стороны инвестора;<br>У4. Появление новых конкурентных разработок. |  |  |

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице14, таблице 15, таблице 16, таблице 17.

Таблица 14 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта     |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|                         | B1 | +  | -  | -  | -  | 0  |
|                         | B2 | 0  | +  | 0  | 0  | -  |
|                         | B3 | +  | +  | +  | 0  | 0  |
|                         | B4 | +  | 0  | 0  | -  | 0  |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C1, B2C2, B3C1C2C3, B4C1.

Таблица 15 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта    |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|                        | B1 | -   | -   | -   | -   |
|                        | B2 | -   | -   | 0   | -   |
|                        | B3 | -   | -   | 0   | +   |
|                        | B4 | -   | 0   | -   | -   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: B3Сл2Сл4

Таблица 16 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта          |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|                         | У1 | -  | -  | -  | -  | -  |
|                         | У2 | -  | -  | +  | 0  | -  |

|  |    |   |   |   |   |   |
|--|----|---|---|---|---|---|
|  | У3 | - | + | - | - | - |
|  | У4 | - | 0 | + | - | - |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2С1С3, У3С2, У4С3С4.

Таблица 17 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

| Слабые стороны проекта |    |     |     |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта         |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|                        | У1 | -   | -   | -   | -   |
|                        | У2 | -   | +   | -   | -   |
|                        | У3 | -   | -   | -   | 0   |
|                        | У4 | -   | -   | -   | -   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2Сл2

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 18).

Таблица 18 - Матрица SWOT

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Квалифицированный персонал;<br>С2.Высокий срок эксплуатации компрессора;<br>С3.Надежность данного оборудования по сравнению с другими;<br>С4. Определение возможных опасных проявлений при работе | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Остановка компрессорной установки в процессе монтажа;<br>Сл2. Уменьшение производительности компрессорной установки;<br>Сл3. Не испытан в работе;<br>Сл4.Сложность сборки оборудования. |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                              | компрессора до его производства;<br>С5. Наличие финансирования компании.                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;<br>В2. Существование потенциального спроса на данную разработку со стороны газодобывающих и нефтяных компаний;<br>В3. Развитие технологий в данной отрасли;<br>В4. Повышение стоимости конкурентных исследований. | Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:<br>В1С1-для исследования проекта необходимы лаборатории ТПУ, допуск к которым имеет квалифицированный персонал.<br>В2С2-при потенциальном спросе со стороны газодобывающих и нефтяных компаний возможно повышение срока эксплуатации. | Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:<br>В3СЛ3- С созданием новых технологий появится возможность усовершенствования в сборке оборудования.                                                 |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Отсутствие спроса на данные исследования;<br>У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции;<br>У3. Снижение бюджета на исследование, со стороны инвестора;<br>У4. Появление новых конкурентных разработок.                           | Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:<br>У2С1-возможно развитие новых государственных требований к сертификации продукта, если при их создании участвует квалифицированный персонал.<br>У4С3-с появлением новых                                                                  | Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»<br>У2СЛ2 введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции может привести к уменьшению производительности компрессорной установки |

|  |                                                                        |  |
|--|------------------------------------------------------------------------|--|
|  | разработок появится угроза уменьшения надежности данного оборудования. |  |
|--|------------------------------------------------------------------------|--|

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.3 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составим список этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по категориям работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 19.

Таблица 19– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                                  | № раб | Содержание работ                               | Должность исполнителя             |
|-----------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Разработка технического задания, выбор направления исследований | 1     | Составление и утверждение технического задания | Руководитель проекта              |
|                                                                 | 2     | Подбор и изучение материалов по теме           | Исполнитель                       |
|                                                                 | 3     | Проведение патентных исследований              | Исполнитель                       |
|                                                                 | 4     | Календарное планирование работ по теме         | Руководитель проекта, исполнитель |

|                                                |   |                                                     |                                   |
|------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5 | Проведение теоретических расчетов и обоснований     | Исполнитель                       |
|                                                | 6 | Подбор модели компрессора и проведение исследования | Исполнитель                       |
| Обобщение и оценка результатов                 | 7 | Оценка результатов исследования                     | Руководитель проекта, исполнитель |
| Оформления отчета по исследовательской работе  | 8 | Составление пояснительной записки                   | Руководитель проекта, исполнитель |

#### 4.4 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (60)$$

где  $t_{ожі}$  – 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  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое

вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (61)$$

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.

#### 4.5 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (62)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (63)$$

где  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 53$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 53 - 14} = 1,22$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 20.

Таблица 20 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы                                         | Трудоёмкость работы  |                      |                           | Исполнители                       | Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$ |
|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                         | $t_{\min}$ , Чел-дни | $t_{\max}$ , Чел-дни | $t_{\text{ож}}$ , Чел-дни |                                   |                                             |                                                 |
| Составление и утверждение технического задания          | 1                    | 4                    | 2,2                       | Руководитель проекта              | 2                                           | 3                                               |
| Подбор и изучение материалов по теме                    | 10                   | 14                   | 11,6                      | Исполнитель                       | 12                                          | 15                                              |
| Проведение патентных исследований                       | 4                    | 6                    | 4,8                       | Исполнитель                       | 5                                           | 61                                              |
| Календарное планирование работ по теме                  | 1                    | 3                    | 1,8                       | Руководитель проекта, исполнитель | 1                                           | 2                                               |
| Проведение теоретических расчетов и обоснований         | 7                    | 13                   | 9,4                       | Исполнитель                       | 10                                          | 13                                              |
| Построение модели компрессора и проведение исследования | 11                   | 22                   | 15,4                      | Исполнитель                       | 15                                          | 19                                              |
| Оценка результатов исследования                         | 5                    | 7                    | 5,8                       | Руководитель проекта, исполнитель | 3                                           | 4                                               |

|                                   |   |    |     |                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|----|-----|-----------------------------------|---|---|
| Составление пояснительной записки | 7 | 14 | 9,8 | Руководитель проекта, исполнитель | 5 | 6 |
|-----------------------------------|---|----|-----|-----------------------------------|---|---|

На основе таблицы 20 строим план график, представленный в таблице 21.

Таблица 21 – Календарный план график проведения НИР по теме

| № работ | Вид работ                                                          | Испол нители  | Т <sub>кп</sub> , кал. дни | Продолжительность выполнения работ |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |
|---------|--------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|--|
|         |                                                                    |               |                            | Фев.                               |   | Март |   |   | Апрель |   |   | Май |   |   |  |
|         |                                                                    |               |                            | 2                                  | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 |  |
| 1       | Составление и утверждение технического задания                     | Руков.        | 3                          | ■                                  |   |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |
| 2       | Подбор и изучение материалов по теме                               | Испол.        | 18                         |                                    | ▬ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |  |
| 3       | Проведение патентных исследований                                  | Испол.        | 8                          |                                    |   |      | ▬ |   |        |   |   |     |   |   |  |
| 4       | Календарное планирование работ по теме                             | Руков. испол. | 2                          |                                    |   |      |   | ■ |        |   |   |     |   |   |  |
| 5       | Проведение теоретических расчетов и обоснований                    | Дипл.         | 1<br>5                     |                                    |   |      |   |   | ▬      |   |   |     |   |   |  |
| 6       | Построение модели лубрикаторно го насоса и проведение исследования | Дипл.         | 22                         |                                    |   |      |   |   |        |   | ▬ |     |   |   |  |
| 7       | Оценка результатов исследования                                    | Руков. испол. | 5                          |                                    |   |      |   |   |        |   |   |     | ■ |   |  |



В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{рас\ i} = 804 \text{ руб}, \quad (64)$$

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

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

$Ц_i$  – 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.

Таблица 22– Прочие затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за ед. руб. | Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб. |
|--------------|-------------------|------------|------------------|-----------------------------------------------|
| Ручка        | Шт.               | 4          | 40               | 192                                           |
| Бумага       | Шт.               | 150        | 3                | 540                                           |
| Карандаш     | Шт.               | 3          | 20               | 72                                            |
| Итого:       |                   |            |                  | 804                                           |

Затраты на электроэнергию: тариф на энергию для юридических лиц составляет 5,8 руб. кВт\*ч. Ежемесячный расход электроэнергии составлял 120 кВт. Период выполнения равен 3,5 месяца. Итого за период выполнения работы, затраты на электроэнергию составили 2436 руб.

Затраты на интернет: стоимость ежемесячного тарифа составляет 360 руб. Итого за период выполнения работы, затраты на интернет составили 1080 руб.

Затраты на аренду компьютера: 10000 руб. в месяц. Период выполнения равен 3,5 месяца. Итого за период выполнения работы, затраты на аренду составили 35000 руб.

#### **4.8 Основная заработная плата исполнителей темы**

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Таблица 23– Расчет основной заработной платы

| № п/п  | Наименование этапов                                     | Исполнители по категориям         | Трудоемкость, чел.-дн. | Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб. | Всего заработная плата по тарифу(окладам), тыс. руб. |
|--------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1      | Составление и утверждение технического задания          | Руководитель проекта              | 2,2                    | 1326                                                       | 2917                                                 |
| 2      | Подбор и изучение материалов по теме                    | Исполнитель                       | 11,6                   | 583                                                        | 6762                                                 |
| 3      | Проведение патентных исследований                       | Исполнитель                       | 4,8                    | 583                                                        | 2798                                                 |
| 4      | Календарное планирование работ по теме                  | Руководитель проекта, исполнитель | 1,8                    | 1909                                                       | 3436                                                 |
| 5      | Проведение теоретических расчетов и обоснований         | Исполнитель                       | 9,4                    | 583                                                        | 5480                                                 |
| 6      | Построение модели компрессора и проведение исследования | Исполнитель                       | 15,4                   | 583                                                        | 8978                                                 |
| 7      | Оценка результатов исследования                         | Руководитель проекта, исполнитель | 5,8                    | 1909                                                       | 11072                                                |
| 8      | Составление пояснительной записки                       | Руководитель проекта, исполнитель | 9,8                    | 1909                                                       | 18708                                                |
| Итого: |                                                         |                                   |                        |                                                            | 60151                                                |

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (65)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

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

$$З_{осн} = T_p \cdot З_{дн}, \quad (66)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{68976 \cdot 10,4}{224} = 3202 \text{ руб}, \quad (67)$$

где  $З_m$  – 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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 24 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени              | Руководитель<br>проекта | Исполнитель |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Календарное число дней                   | 365                     | 365         |
| Количество нерабочих дней:<br>- выходные | 53                      | 53          |

|                                              |     |     |
|----------------------------------------------|-----|-----|
| - праздничные                                | 26  | 26  |
| Потери рабочего времени:                     |     |     |
| - отпуск                                     | 48  | 72  |
| - невыходы по болезни                        | 14  | 14  |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 224 | 200 |

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 33162 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 68976 \text{ руб. (68)}$$

где  $З_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $З_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $З_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители          | $З_{тс}$ ,<br>тыс.<br>руб. | $k_{пр}$ | $k_d$ | $k_p$ | $З_m$ ,<br>тыс.<br>руб. | $З_{дн}$ ,<br>тыс.<br>руб. | $T_p$ ,<br>раб.<br>дн. | $З_{осн}$ ,<br>тыс.<br>руб. |
|----------------------|----------------------------|----------|-------|-------|-------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Руководитель проекта | 33162                      | 0,3      | 0,3   | 1,3   | 68976                   | 3202                       | 11                     | 35222                       |
| Исполнитель          | 14584                      | 0,3      | 0,3   | 1,3   | 30334                   | 1408                       | 51                     | 71808                       |
| Итого:               |                            |          |       |       |                         |                            |                        | 107030                      |

#### 4.9 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 35222 = 4226 \text{ руб}; \quad (69)$$

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 71808 = 8616 \text{ руб},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

#### 4.10 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (35222 + 4226) = 10690 \text{ руб}, \quad (70)$$

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (71808 + 8616) = 21794 \text{ руб},$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта

1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 26 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель                                           | Основная заработная<br>плата, тыс. руб | Дополнительная<br>заработная плата, тыс.<br>руб |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                       | Исп. 1                                 |                                                 |
| Руководитель                                          | 35222                                  | 4226                                            |
| Дипломник                                             | 71808                                  | 8616                                            |
| Коэффициент<br>отчислений во<br>внебюджетные<br>фонды | 0,271                                  |                                                 |
| Итого                                                 |                                        |                                                 |
| Исполнение 1                                          | 32484                                  |                                                 |

#### 4.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи                                             | Сумма, руб. | Примечание |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 107030      | Пункт 4.7  |
| 2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 12842       | Пункт 4.8  |

|                                         |        |               |
|-----------------------------------------|--------|---------------|
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды     | 32484  | Пункт 4.9     |
| 4. Прочие затраты                       | 804    | Пункт 4.7     |
| 5. Затраты на электроэнергию и интернет | 3516   | Пункт 4.7     |
| 6. Затраты на аренду компьютера         | 35000  | Пункт 4.7     |
| 7. Затраты на оформление патента        | 1602   | Пункт 4.11    |
| 8. Бюджет затрат НТИ                    | 193278 | Сумма ст. 1-7 |

#### 4.12 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{193278}{193278} = 1, \quad (71)$$

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

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (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:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (72)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

| Критерии                   | Весовой коэффициент параметра | Поршневой компрессор | Осевой компрессор | Мембранный компрессор |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 1.Безопасность             | 0,15                          | 5                    | 4                 | 3                     |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,15                          | 5                    | 2                 | 4                     |
| 3.Срок службы              | 0,1                           | 4                    | 3                 | 5                     |
| 4.Простота монтажа         | 0,20                          | 3                    | 4                 | 2                     |
| 5. Надежность              | 0,25                          | 4                    | 3                 | 4                     |
| 6. Материалоемкость        | 0,15                          | 4                    | 4                 | 2                     |
| ИТОГО                      | 1                             | 4,1                  | 3,35              | 2,85                  |

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,1.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта. Таким образом применение поршневого компрессора остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность.

Данный раздел выполнялся на основе рекомендаций [18]

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 4Е31   | Павленюку Степану Степановичу |

| Институт            | ИПР         | Кафедра                   | ТПМ                                                                                                     |
|---------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уровень образования | бакалавриат | Направление/специальность | 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» |

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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul> | <p>Оборудование: поршневой компрессор.<br/>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>- повышенный уровень вибрации.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенная температура маслосистемы;</li> <li>- пожароопасность;</li> <li>- взрывоопасность;</li> <li>- наличие быстро движущихся элементов;</li> <li>- работа с опасными веществами.</li> </ul> <p>Воздействие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- загрязнение атмосферы;</li> <li>- загрязнение гидросферы;</li> <li>- загрязнение литосферы.</li> </ul> <p>Возникновение чрезвычайных ситуаций:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- аварийная остановка при превышении рабочей температуры компрессора;</li> <li>- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;</li> <li>- нарушение рабочего режима маслосистемы;</li> <li>- обрыв штока поршня и как следствие разрушение компрессора;</li> <li>- пожар при повреждении системы подачи газа;</li> <li>- нарушение герметичности газовых систем;</li> <li>- попадание жидкости в цилиндры поршневого компрессора.</li> </ul> |
| <p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация<br/>ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования<br/>ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования<br/>ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Общие требования<br/>ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные<br/>СанПиН 2.2.1/2.1.1.200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | предприятий, сооружений и иных объектов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства))</li> </ul> | <p>Физико-химическая природа вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенные уровни шума;</li> <li>- повышенные уровни вибрации.</li> </ul> <p>Действие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ухудшение слуха;</li> <li>- влияние на нервную систему;</li> <li>- раздражение человека;</li> <li>- нарушение работы сердечно-сосудистой системы;</li> <li>- головные боли;</li> <li>- тошнота.</li> </ul> <p>Средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- шумопоглощающая изоляция;</li> <li>- звукоизолирующие кожухи;</li> <li>- активные средства виброзащиты.</li> </ul> <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- противошумные наушники;</li> <li>- противошумные вкладыши;</li> <li>- вибродемпфирующие перчатки;</li> <li>- рукавицы, нагрудники, специальные костюмы.</li> </ul> <p>–</p>                                                                                                       |
| <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>                              | <p>Источник опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- быстродвижущиеся элементы;</li> <li>- патрубков подачи топлива;</li> <li>- маслосистема;</li> <li>- камера сжатия.</li> </ul> <p>Средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защитные экраны;</li> <li>- термостойкие перчатки;</li> <li>- системы пожаротушения.</li> </ul> <p>Причины проявления опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- критическая температура компрессора;</li> <li>- накопление деформаций в штоке поршня;</li> <li>- нарушение герметичности системы.</li> </ul> <p>Причины пожаров:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механическое повреждение топливного патрубка;</li> <li>- утечка газа.</li> </ul> <p>Профилактические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обучение пожарной ТБ;</li> <li>- контроль оборудования.</li> </ul> <p>Первичные средства пожаротушения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- огнетушитель;</li> <li>- песок.</li> </ul> |
| <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды</li> </ul>                                                                                                                     | <p>Защита селитебной зоны:</p> <p>Учет санитарно-защитной зоны при строительстве газокompрессорных станций.</p> <p>Воздействие на атмосферу:</p> <p>Выбросы продуктов сгорания топлива, содержащие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;</li> <li>– компоненты неполного сгорания топлива.</li> </ul> <p>Воздействие на гидросферу:</p> <p>возможный разлив смазочно-охлаждающих жидкостей.</p> <p>Воздействие на литосферу:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><i>твердые бытовые отходы при техническом обслуживании и ремонте компрессорных установок.</i></p> <p><i>Решения по обеспечению экологической безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- соблюдение инструкций при операциях по наливу и сливу смазочно-охлаждающих жидкостей;</li> <li>- Все работники должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90;</li> <li>- применение индивидуальных средств защиты по типовым отраслевым нормам при работе с нефтепродуктами.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul> | <p><i>Возможные ЧС на объекте:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- аварийная остановка при превышении рабочей температуры компрессора;</li> <li>- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;</li> <li>-нарушение рабочего режима маслосистемы;</li> <li>- обрыв штока поршня и как следствие разрушение компрессора;</li> <li>- пожар при повреждении системы подачи газа;</li> <li>-нарушение герметичности газовых систем;</li> <li>-попадание жидкости в цилиндры поршневого компрессора.</li> </ul> <p><i>Превентивные меры по предупреждению ЧС: проведение эмпирических испытаний после получения результатов при моделировании процессов в программном комплексе является наиболее важной мерой на пути предупреждения чрезвычайной ситуации.</i></p> <p><i>Для повышения устойчивости поршневого компрессора к возможной ЧС необходимо перед изготовлением штоков провести ряд исследований с помощью ЭВМ.</i></p> <p><i>Также при применении иных материалов при изготовлении штока, следует произвести эмпирические исследования, выявляющие прочность тела из данного материала в процессе эксплуатации.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.</li> </ul> |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>                                                                                                         | <p><i>Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве".</i></p> <p><i>Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                              | <p>установленном порядке.</p> <p>К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.</p> <p>Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);</li> <li>– ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);</li> <li>– повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).</li> </ul> |
| <b>Перечень графического материала:</b>                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность         | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры | Невский Е.С. |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                        | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 4Е31   | Павленюк Степан Степанович |         |      |

## **5. Социальная ответственность.**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена исследованию подбора поршневого компрессора. В связи с этим данный раздел ВКР посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при работе с компрессорной установкой.

В качестве персонала рассматривается машинист технологических компрессоров.

Рабочим местом машиниста является машинный зал компрессорной установки.

В обязанности машиниста входит обслуживание отдельных технологических компрессоров, щитов управления агрегатного уровня. Запуск и остановка технологических компрессоров, контроль за работой технологического оборудования, регулирование технологического режима работы компрессорных установок. Выявление и устранение неисправностей в работе компрессорных установок, ремонт компрессоров, их приводов, аппаратов, узлов газовых коммуникаций и вспомогательного оборудования цехов.

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, сохранения работоспособности в процессе деятельности, повышения его производительности, а также охраны окружающей среды.

### **5.1 Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов, вредного воздействия на окружающую среду**

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственных факторы» выделяем следующие вредные факторы производственной среды на газокompрессорной станции при работе с компрессорной установкой:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень вибрации.

Основными источниками повышенной загазованности, вибрации и шума является компрессорная установка (поршневой компрессор и двигатель). В зависимости от мощности компрессорной установки частота вращения вала может достигать 1000 об/мин и более, что значительно увеличивает шум подшипниковых узлов.

Оппозитное расположение поршней и их возвратно-поступательное движение создают сильную вибрацию и шум. Наличие даже минимального дисбаланса в технической системе многократно преумножается в сильные вибрации, которые воздействуют на машинистов, работающих в непосредственной близости от газокompрессорной станции.

К опасным факторам относятся следующие:

- повышенная температура маслосистемы;
- пожароопасность;
- наличие быстродвижущихся элементов.

Компрессорная установка включает в себя поршневой компрессор с приводом от газопоршневого двигателя, использующий природный газ в качестве топлива. Газ при смешении с воздухом образует взрывоопасную смесь. Утечки газа в машинном зале компрессорной установки могут достичь высокой концентрации и привести к взрыву и последующему пожару на предприятии.

Воздействие на окружающую среду оказывают выхлопной газ с механическими примесями, возможные разливы смазочно-охлаждающих жидкостей, твердые бытовые отходы, образуемые при ремонтных операциях компрессорной установки.

## **5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

В зависимости от длительного и интенсивного воздействия шума происходит большее или меньшее снижение чувствительности органов слуха, выражающееся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания воздействия шума, а при большой длительности и

(или) интенсивности шума происходят необратимые потери слуха (тугоухость), характеризующиеся постоянным изменением порога слышимости.

Шум оказывает влияние на весь организм человека: угнетает центральную нервную систему, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни, может приводить к профессиональным заболеваниям.

Шум с уровнем звукового давления до 30...35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40...70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия и при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха – профессиональной тугоухости.

Также шум влияет на производительность труда. Увеличение уровня шума на 1-2 дБ приводит к снижению производительности труда на 1%.

По ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» допустимый уровень шума на рабочем месте газоперекачивающего агрегата составляет 80 дБ. Однако при работе компрессорной установки уровень шума может достигать 100 дБ.

Для снижения вредного воздействия шума на организм человека необходимо применение коллективных и индивидуальных средств защиты.

В качестве средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.029-80 персонал необходимо снабдить противошумными наушниками, закрывающими ушную раковину снаружи, либо противошумными вкладышами, перекрывающими наружный слуховой проход и прилегающие к нему.

Допустимый уровень вибрации для работы с компрессорной установкой считается от 5 до 11 мкм. Вибрация, достигающая до 15 мкм, может привести к аварийной остановке оборудования.

Для снижения вибрации в составе компрессорной установки предусматриваются депульсаторы на входе и на выходе каждой ступени компримирования.

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ). Болеют, как правило, мужчины среднего возраста.

Вибрация может действовать как локально (например, на рабочие руки), так и на весь организм. Но в любом случае она способна к распространению, отражаясь на нервной и опорно-двигательной системе.

По ГОСТ 26568-85 к коллективным средствам защиты от вибрации относятся активные средства виброзащиты.

Следовательно к индивидуальным средствам защиты от вибрации должно относиться: специальные вибродемпфирующие перчатки, рукавицы, нагрудники, специальные костюмы, обувь.

### **5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

Маслосистема представлена совокупностью трубопроводов, которые расположены по всей поверхности компрессора. Соприкосновение с системой при работающей установке может привести к ожогам различной степени, в зависимости от времени контакта и температуры трубопроводов. В качестве средства защиты необходимо использовать термостойкие перчатки.

Причиной пожара может стать утечка газа, который используется в качестве топлива в газопоршневом двигателе. Чтобы избежать утечку газа, применяется система контроля загазованности. На компрессорные установки должна предусматриваться система пенного пожаротушения, которая

состоит из резервуара с водой, насосной станции, сети пенных трубопроводов. Также должен быть противопожарный трубопровод с установленными гидрантами. Обязательно наличие огнетушителей на территории компрессорной установки.

## **5.4 Охрана окружающей среды**

### ***Защита селитебной зоны***

При строительстве дожимных компрессорных установок, в которых в качестве привода поршневого компрессора используется газопоршневой двигатель, учитываются нормы санитарно-защитной зоны согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Для снижения неблагоприятного воздействия на организм человека и на окружающую среду для станции данная зона составляет 500м.

### ***Воздействие на атмосферу***

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми газопоршневым двигателем, размещение компрессорных установок осуществляется с учетом господствующего направления ветра, чтобы уменьшить попадание веществ, загрязняющих атмосферный воздух, на селитебную зону.

Газопоршневой двигатель использует в качестве топлива природный газ, который представляет собой смесь продуктов сгорания с избыточным горением. В общем случае продукты сгорания могут содержать:

- продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;
- компоненты неполного сгорания топлива.

Выхлопные газы с продуктами неполного сгорания загрязняют атмосферу. Частицы, содержащиеся в выхлопном газе, наносят вред здоровью человека, попадая в органы дыхания. Для снижения концентрации вредных веществ выхлопных газов необходима более тщательная подготовка топливного газа, для снижения содержания механических примесей.

### ***Воздействие на гидросферу***

Возможным воздействием может являться разлив смазочно-охлаждающих жидкостей, а также отработанного масла компрессорной

установки в случае несоблюдения правил замены жидкостей и их транспортировки.

### ***Воздействие на литосферу***

Работа компрессорной установки подразумевает осуществление регулярного технического обслуживания. Замена отработавших материалов и узлов приводит к образованию твердых отходов производства (металлолом, фторопласт, прочий бытовой и технический мусор). Для утилизации бытовых отходов применяются полигоны твердых бытовых отходов.

### ***Решения по обеспечению экологической безопасности***

При выполнении работ по наливу, сливу, зачистке транспортных средств и хранилищ следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, разработанные для каждого предприятия с учетом специфики производства.

Работающие с нефтепродуктами должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

При работе с отработанными нефтепродуктами, являющимися легковоспламеняющимися и ядовитыми веществами, необходимо применять индивидуальные средства защиты по типовым отраслевым нормам.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, уменьшения пожарной опасности и улучшения условий труда рекомендуются установки герметичного налива и слива, стационарные шланговые устройства, системы автоматизации процессов сливно-наливных операций.

Режим слива и налива нефтепродуктов, конструкция и условия эксплуатации средств хранения и транспортирования должны удовлетворять требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018-93.

Устройства полигонов твердых бытовых отходов должны организовываться в соответствии с СанПиНом 2.1.7.722-98.

## **5.5 Защита в чрезвычайных ситуациях**

### ***Перечень возможных ЧС на объекте***

Возможные ЧС на объекте:

- нарушение рабочего режима маслосистемы;
- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;
- пожар при повреждении системы подачи газа;
- обрыв штока поршня, как следствие разрушение компрессора;
- нарушение герметичности газовых систем;
- попадание жидкости в цилиндры поршневого компрессора.

Наиболее типичной ЧС является обрыв штока поршня поршневого компрессора.

### ***Описание превентивных мер по предупреждению ЧС***

В поршневом компрессоре одним из основных рабочих органов является шток поршня, который совершает возвратно-поступательное движение в цилиндре. В качестве средств защиты необходимо использовать защитные экраны, закрывающие непосредственно компрессорную часть по ГОСТ 12.2.062-81.

Причиной обрыва штока или его деформации может послужить следующее:

- При попадании капельной жидкости в цилиндр может произойти гидроудар;
- Высокая степень сжатия;
- Изменение компонентного состава газа;

Вследствие этого обрыв штока приводит к повреждению компрессора и травмированию человека.

Во избежание данных последствий рекомендуются следующие операции:

- Сепарирование газа;
- Контроль компонентного состава газа;

- Работать в зоне допустимых давлений и не завышать степень сжатия на цилиндр;
- Центровка штока;
- Контроль вибрации компрессора.

Так как в процессе моделирования невозможно учесть всех факторов, влияющих на работу штока, то при смене его материала возможны некоторые неполадки, которые вызваны данными упущениями, которые в дальнейшем могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Поэтому рекомендуется провести детальные практические испытания данных образцов штоков с целью предупреждения подобных эксцессов.

В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.

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

Компрессорная установка является объектом повышенной опасности для всего персонала, а также объектом, на котором установлено дорогостоящее оборудование, эксплуатировать которое должны специалисты предприятия, которые прошли обучение и имеют допуск к работе оборудования, транспорта, а также знают, как действовать в случаях аварий, в нештатных ситуациях.

Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве", который разработан в соответствии с "Положением о Федеральном горном и промышленном надзоре России" и учитывают требования Федерального закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 N 116-ФЗ, а также других действующих нормативных документов.

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие

противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке.

Лица женского пола могут привлекаться к проведению отдельных газоопасных работ, предусмотренных технологическими регламентами и инструкциями и допускаемых законодательством о труде женщин.

К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.

Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда; руководителей и специалистов, лиц, ответственных за безопасную эксплуатацию газового хозяйства и ведение технического надзора, а также лиц, допускаемых к выполнению газоопасных работ, должно проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию.

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации.

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);

- 2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);
- 3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

Стандарты, использованные в данной работе:

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

ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Общие требования.

ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

ГОСТ 12.0.004-90 Система стандартов безопасности труда.

## **Заключение**

В ходе выполнения бакалаврской работы был рассчитан и подобран поршневой воздушный компрессор 4BM10- 120/9, предназначенный для снабжения сжатым воздухом пневматического инструмента и оборудования в различных областях промышленности.

Приводом компрессора служит синхронный двигатель СДН, мощностью 1250 кВт и частотой 600 об/мин.

В теоретической части дипломной работы были рассмотрены классификация и принцип действия поршневого компрессора.

В экономической части дипломной работы выполнен SWOT – анализ проекта, были выявлены его сильные и слабые стороны, произведен расчет бюджета затрат.

В главе социальная ответственность были рассмотрены, как опасные, так и вредные факторы, и проанализированы способы борьбы с ними. Также рассмотрены возможные воздействия на окружающую среду, например на атмосферу, гидросферу и литосферу.

### **Список использованных источников**

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – М.: Машиностроение, 1992. – Т.1 – 3.
2. Видякин Ю.А. и др. Оппозитные компрессоры / Ю.А. Видякин, Е.Б. Доброклонский, Т.Ф. Кондратьева. – Л.: Машиностроение, 1979. – 279 с.
3. Кошкин Н.Н., Стукаленко А.К., Бухарин Н.Н. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 464 с.
4. Объёмные компрессоры: Атлас конструкций / Г.А. Поспелов, П.И. Пластинин, А.И. Шварц и др.; Под общ.ред. Г.А. Поспелова. – М.: Машиностроение, 1994. – 120 с.
5. Поспелов Г.А., Биктанова Р.Г., Галиев Р.М. Руководство по курсовому и дипломному проектированию по холодильным и компрессорным машинам – М.: Машиностроение. – 264 с.
6. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Т. 1 .Теория и расчет. – М.: Колос, 2000. – 456 с.
7. Сакун И.А. и др. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / Е.М. Бамбушек, Н.Н. Бухарин, Е.Д. Герасимов и др.; Под общ.ред. И.А. Сакуна. – Л.: Машиностроение, 1987. – 423 с.
8. Фотин Б.С. и др. Поршневые компрессоры / Б.С. Фотин, И.Б. Пирумов, И.К. Прилуцкий, П.И. Пластинин. – Л.: Машиностроение, 1987. – 372 с.
9. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. – Л.: Машиностроение, 1969. – 744 с.
10. Холодильные компрессоры / Под общ.ред. А.В. Быкова. – М.: Легкая и пищевая про-ть, 1981. – 280 с.
11. Юша В.Л., Ваняшов А.Д. Изучение устройства самодействующих клапанов поршневых компрессоров: Метод.указания. – Омск: ОмГТУ, 2000. – 32 с.

12. Поршневые компрессоры 1 том / Пластилин П.И. - Москва «КолосС», 2004 г. - 456с.

13. Поршневые компрессоры. Основы проектирования. 2 том / Пластилин П.И. - Москва «КолосС», 2008 г. - 711с.

14. Управление энергией сжатого воздуха: проблемы потребления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studopedia.org/1-88320.html> (дата обращения: 20.04.2017).

15. Основные понятия о сжатом воздухе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2011/fkita/lyubchak/library/article9.ht> (дата обращения: 20.04.2017).

16. Назначение сжатого воздуха [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uchebilka.ru/literatura/5649/index.html?page=6> (дата обращения: 07.04.2017).

17. Классификация компрессоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.intech-gmbh.ru/compressors\\_classification.php](http://www.intech-gmbh.ru/compressors_classification.php) (дата обращения: 15.04.2017).

[http://www.intech-gmbh.ru/compressors\\_classification.php](http://www.intech-gmbh.ru/compressors_classification.php)

18. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.