

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Новомосковский институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

И.о. директора НИ (ф) РХТУ им. Д.И. Менделеева



**Рабочая программа дисциплины**

**Конструирование и расчет элементов оборудования**

Уровень высшего образования Бакалавриат

Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Направленность (профиль) подготовки «Машины и аппараты химических производств»

Квалификация выпускника Бакалавр

(бакалавр, магистр, дипломированный специалист)

Форма обучения очная

(очная, очно-заочная и др.)

Год начала подготовки 2017

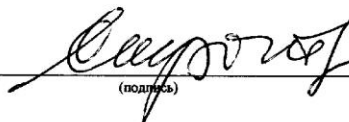
г. Новомосковск – 2017г.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» (уровень бакалавриата), утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2015 г. № 1170.

Разработчик (кн):

НИ РХТУ  
(место работы)

Зав.кафедрой, д.т.н., профессор



/Сафонов Б.П./

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Оборудование химических производств

Протокол № 10 от 20.06 2017 г

Зав.кафедрой, д.т.н., профессор



/Сафонов Б.П./

Эксперт:

АО НАК «АЗОТ»  
(место работы)

начальник ПКО  
(занимаемая должность)



/Орабио А.А./

Рабочая программа согласована с деканом Энерго-механического факультета

Декан факультета, д.т.н., доцент

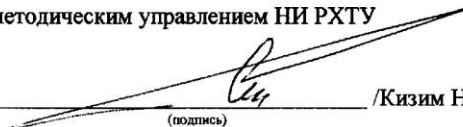


/Логачева В.М./

«21» 06 2017г

Рабочая программа согласована с учебно-методическим управлением НИ РХТУ

Руководитель, д.х.н., профессор



/Кизим Н.Ф./

«21» 06 2017г

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **Нормативные документы, используемые при разработке основной образовательной программы**

Нормативную правовую базу разработки рабочей программы дисциплины составляют:

Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (с учетом дополнений и изменений);

«Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалиста, программам магистратуры», утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ от 05.04.2017 N 301;

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС ВО) (ФГОС-3+) по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20.10.2015 г. N 1170 (Зарегистрировано в Минюсте России 12.11.2015 г. N 39697) (далее – стандарт);

Нормативно-методические документы Минобрнауки России;

Устав ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева;

Положение о Новомосковском институте (филиале) РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Локальные акты Новомосковского института (филиала) РХТУ им. Д.И. Менделеева (далее Институт).

### **Область применения программы**

Программа дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», направленность (профиль) Машины и аппараты химических производств (уровень бакалавриата), соответствующей требованиям ФГОС ВО 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20.10.2015 г. N 1170 (Зарегистрировано в Минюсте России 12.11.2015 г. N 39697).

## **2. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью освоения дисциплины является обеспечение базовой подготовки студентов в области расчета элементов химического оборудования на прочность, жёсткость, устойчивость и вибростойкость.

Задачи преподавания дисциплины:

- приобретение знаний по методикам расчёта элементов оборудования с использованием современных образовательных и информационных технологий;
- приобретения знаний по расчёту элементов оборудования с использованием передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;
- формирование и развитие умений использования стандартных средств автоматизации проектирования при выполнении расчётов элементов оборудования;
- приобретение и формирование навыков оформления проектно-конструкторской документации при расчёте и проектировании химического оборудования.

## **3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Дисциплина Б1.В.06 – Конструирование и расчёт элементов оборудования относится к вариативной части блока 1 Дисциплины (модули). Является обязательной для освоения в 6 семестре, на 3 курсе и в 7 семестре на 4 курсе.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: Математика, Физика, Теоретическая механика, Сопротивление материалов, Материаловедение, Технология конструкционных материалов, Технология металлов. Дисциплина Б1.В.06 является основой для последующих дисциплин: Технологические машины и оборудование химических производств, Технология ремонта и монтажа химического оборудования.

## **4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДОСТИЖЕНИЕ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий (ОПК-1);

- способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки (ПК-1);
- способностью принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-5)

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- базовые информационные ресурсы по методикам расчёта элементов оборудования различного функционального назначения;
- тенденции развития методов расчёта элементов химического оборудования;
- методики расчёта типовых элементов оборудования.

**Уметь:**

- использовать современные технологии накопления информации в области расчёта оборудования
- адаптировать отечественный и зарубежный опыт для расчёта элементов химического оборудования
- использовать стандартные средства автоматизации проектирования для выполнения расчётов элементов оборудования;

**Владеть:**

- навыками обработки результатов расчёта элементов оборудования;
- навыками обобщения информации по методикам расчёта элементов оборудования;
- навыками оформления технической документации по расчёту элементов оборудования.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет **288** часов или **8** зачетных единиц (з.е). 1 з.е. равна 36 академическим часам или 27 астрономическим часам.

| Вид учебной работы                                                                                                                | Всего ак.час. | Семестры<br>ак.час |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------|
|                                                                                                                                   |               | 6                  | 7           |
| <b>Контактная работа обучающегося с педагогическими работниками (всего)</b>                                                       | <b>121,6</b>  | <b>60,3</b>        | <b>61,3</b> |
| В том числе:                                                                                                                      | -             | -                  |             |
| Лекции                                                                                                                            | 60            | 30                 | 30          |
| Практические занятия (ПЗ)                                                                                                         | 46            | 30                 | 16          |
| Семинары (С)                                                                                                                      | -             | -                  | -           |
| Лабораторные работы (ЛР)                                                                                                          | 14            | -                  | 14          |
| Консультации                                                                                                                      | 1             | -                  | 1           |
| Консультации перед экзаменом                                                                                                      | 0,6           | 0,3                | 0,3         |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>                                                                                             | <b>95</b>     | <b>48</b>          | <b>47</b>   |
| <b>Контактная самостоятельная работа</b> (групповые консультации и индивидуальная работа обучающихся с педагогическим работником) | 4             | 2                  | 2           |
| Курсовой проект (работа) (КП)                                                                                                     | 15            | -                  | 15          |
| Расчетно-графические работы (РГЗ)                                                                                                 | -             | -                  | -           |
| Реферат                                                                                                                           | -             | -                  | -           |
| <i>Другие виды самостоятельной работы</i>                                                                                         |               |                    |             |
| Проработка лекционного материала                                                                                                  | 16            | 8                  | 8           |
| Подготовка к лабораторным занятиям                                                                                                | 10            | -                  | 10          |
| Подготовка к практическим занятиям                                                                                                | 24            | 17                 | 7           |
| Выполнение индивидуальных заданий                                                                                                 | 20            | 21                 | -           |
| Подготовка к зачёту                                                                                                               | 5             |                    | 5           |
| Контроль ( <b>экзамен</b> )                                                                                                       | 71,4          | 35,7               | 35,7        |
| <b>Общая трудоемкость ак.час.</b>                                                                                                 | <b>288</b>    | <b>144</b>         | <b>144</b>  |

| Вид учебной работы | Всего ак.час. | Семестры<br>ак.час |          |
|--------------------|---------------|--------------------|----------|
|                    |               | 6                  | 7        |
| <b>з.е.</b>        | <b>8</b>      | <b>4</b>           | <b>4</b> |

## 5.2. Разделы (модули) дисциплины, виды занятий и формируемые компетенции

| № раз-дела | Наименование (темы) раздела дисциплины                                                            | Лекции час. | Занятия семинар-ского типа |                   | СРС* час. | Всего час. | Формы текущего контроля ** | Код формируемой компетенции |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------|-------------------|-----------|------------|----------------------------|-----------------------------|
|            |                                                                                                   |             | Практ. занятия час.        | Лаб. занятия час. |           |            |                            |                             |
| 1          | 2                                                                                                 | 3           | 4                          | 5                 | 6         | 7          | 8                          | 9                           |
|            | 6 семестр                                                                                         |             |                            |                   |           |            |                            |                             |
| 1.         | Тема 1. Основы и принципы конструирования химического оборудования                                | 8           | 8                          | -                 | 12        | 28         | уо                         | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
| 2.         | Тема 2. Расчёт на прочность тонкостенных сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением | 10          | 10                         | -                 | 16        | 36         | т                          | ОПК-1; ПК-1                 |
| 3.         | Тема 3. Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов на устойчивость                                   | 4           | 4                          | -                 | 8         | 16         | уо                         | ОПК-1; ПК-1                 |
| 4.         | Тема 4. Расчёт аппаратов высокого давления                                                        | 8           | 8                          | -                 | 11        | 27         | т                          | ОПК-1; ПК-1                 |
|            | Консультации                                                                                      |             |                            |                   |           |            |                            | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
|            | Консультация перед экзаменом                                                                      |             |                            |                   |           | 0,3        |                            |                             |
|            | Подготовка к экзамену                                                                             |             |                            |                   |           | 35,7       |                            | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
|            | Всего за 6 семестр                                                                                | 30          | 30                         | -                 | 48        | 144        |                            |                             |
|            | 7 семестр                                                                                         |             |                            |                   |           |            |                            |                             |
| 5.         | Тема 5. Конструктивный и прочностной расчёт элементов теплообменных аппаратов                     | 8           | 6                          | 4                 | 10        | 28         | т                          | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
| 6.         | Тема 6. Выбор и расчёт аппаратных фланцев                                                         | 4           | 2                          | -                 | 2         | 8          | уо                         | ОПК-1; ПК-1                 |
| 7.         | Тема 7. Компонировка аппарата. Выбор опор и строповых устройств                                   | 2           | -                          | 4                 | 4         | 10         | т                          | ОПК-1; ПК-1                 |
| 8          | Тема 8. Расчёт аппаратов с вращающимися элементами                                                | 16          | 8                          | 6                 | 11        | 41         | уо                         | ОПК-1; ПК-1                 |
|            | Курсовая работа                                                                                   |             |                            |                   | 20        | 20         |                            | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
|            | Консультации                                                                                      |             |                            |                   |           | 1          |                            | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
|            | Консультации перед экзаменом                                                                      |             |                            |                   |           | 0,3        |                            |                             |
|            | Подготовка к экзамену                                                                             |             |                            |                   |           | 35,7       |                            | ОПК-1; ПК-1;                |

|   |                     |    |    |    |    |     |   |      |
|---|---------------------|----|----|----|----|-----|---|------|
| 1 | 2                   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7   | 8 | 9    |
|   |                     |    |    |    |    |     |   | ПК-5 |
|   | Всего за 7 семестр  | 30 | 16 | 14 | 47 | 144 |   |      |
|   | Итого по дисциплине | 60 | 46 | 14 | 95 | 288 |   |      |

\* СРС – самостоятельная работа студента

\*\* устный опрос (уо), тестирование (т), контрольная работа (кр) (могут быть и другие формы)

### 5.3. Содержание разделов дисциплины

| № раз-дела | Наименование раздела дисциплины                                                           | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | 6 семестр                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.         | Основы и принципы конструирования химического оборудования                                | Общие требования, предъявляемые к конструкции машин и аппаратов. Нормативно-техническая документация для проектирования, расчётов и эксплуатации машин и аппаратов. Несущая способность конструкций. Общие принципы и методология конструирования химического оборудования. Конструкционные материалы в химическом машино-и аппаратостроении.      |
| 2.         | Расчёт на прочность тонкостенных сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением | Основы безмоментной теории оболочек. Элементы моментной теории оболочек. Расчёт толщины стенки цилиндрической обечайки. Выбор допускаемых напряжений, расчётных коэффициентов и конструктивных прибавок. Расчёт днищ. Расчёт укрепления отверстий в стенках аппаратов. Оптимизация размеров корпуса аппарата работающего под внутренним давлением. |
| 3.         | Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов на устойчивость                                   | Устойчивость корпусов тонкостенных цилиндрических сосудов при действии внешнего давления. Устойчивость цилиндрической обечайки при комбинированном нагружении.                                                                                                                                                                                     |
| 4.         | Расчёт аппаратов высокого давления                                                        | Основы расчёта толстостенных однослойных сосудов. Скреплённые сосуды. Конструкции аппаратов высокого давления. Расчёт элементов АД.                                                                                                                                                                                                                |
|            | 7 семестр                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 5.         | Конструктивный и прочностной расчёт элементов теплообменных аппаратов                     | Кожухотрубчатые теплообменные аппараты. Конструктивное определение числа теплообменных труб. Расчёт элементов КТТ на прочность. Конструирование трубного пучка. Реализация многоходовости по трубам и межтрубному пространству                                                                                                                     |
| 6.         | Выбор и расчёт аппаратных фланцев                                                         | Классификация фланцев. Конструкция и применение аппаратных фланцев. Соединительные детали фланцев. Уплотнение фланцевых соединений. Выбор и проверочный расчёт аппаратных фланцевых соединений.                                                                                                                                                    |
| 7.         | Компоновка аппарата. Выбор опор и строповых устройств                                     | Компоновка аппарата. Определение массы элементов аппарата и объёма полостей. Расчёт массы аппарата при монтаже и гидравлическом испытании. Конструкции и выбор опор и строповых устройств аппарата.                                                                                                                                                |
| 8.         | Расчёт аппаратов с вращающимися элементами                                                | Критическая скорость вала. Жёсткие и гибкие валы. Самоцентрирование валов. Расчёт валов на вибростойкость. Расчёт быстровращающихся оболочек и дисков. Расчёт на прочность элементов тихоходных барабанных аппаратов.                                                                                                                              |

### 5.4. Тематический план практических занятий

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий (семинаров)               | Трудоемкость час. | Формы текущего контроля | Код формируемой компетенции |
|-------|----------------------|---------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1     | 2                    | 3                                                       | 4                 | 5                       | 6                           |
|       |                      | 6 семестр                                               |                   |                         |                             |
| 1.    | 1                    | Определение пробного давления и допускаемого напряжения | 2                 | Устный опрос            | ОПК-1; ПК-1                 |
| 2.    | 1                    | Несущая способность элементов конструкций               | 2                 | Устный опрос            | ОПК-1; ПК-1                 |
| 3.    | 1                    | Исследование несущей способности балок                  | 2                 | Защита                  | ОПК-1; ПК-1;                |

| 1         | 2  | 3                                                                    | 4 | 5                   | 6                 |
|-----------|----|----------------------------------------------------------------------|---|---------------------|-------------------|
|           |    | при изгибе                                                           |   | инд. задания        | ПК-5              |
| 4.        | 2. | Расчёт элементов тонкостенных аппаратов на прочность                 | 2 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 5.        | 2. | Исследование напряжённого состояния в стенке тонкостенной обечайки   | 2 | Защита инд. задания | ОПК-1; ПК-1; ПК-5 |
| 6.        | 2  | Расчёт укрепления отверстий                                          | 2 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 7.        | 2  | Оптимизация размеров цельносварного аппарата                         | 4 | Защита инд. задания | ОПК-1; ПК-1; ПК-5 |
| 8.        | 3  | Расчёт тонкостенного сосуда на устойчивость                          | 4 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 9.        | 4  | Исследование напряжённого состояния в стенке толстостенного цилиндра | 4 | Защита инд. задания | ОПК-1; ПК-1; ПК-5 |
| 10.       | 4  | Расчёт на прочность элементов АД                                     | 6 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 7 семестр |    |                                                                      |   |                     |                   |
| 11.       | 5  | Расчёт на прочность элементов КТТ                                    | 6 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 12.       | 6  | Проверочный расчёт аппаратного фланца                                | 2 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 13.       | 8  | Расчёт быстровращающихся валов                                       | 4 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 14.       | 8  | Расчёт быстровращающихся оболочек                                    | 2 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |
| 15.       | 8  | Расчёт элементов тихоходных вращающихся аппаратов                    | 2 | Устный опрос        | ОПК-1; ПК-1       |

#### 5.5. Тематический план лабораторных работ

Лабораторный практикум включает выполнение 4 лабораторных работ.

| № п/п | № раздела дисциплины | Наименование лабораторных работ                                                             | Трудоемкость час. | Форма контроля  | Код формируемой компетенции |
|-------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1.    | 5                    | Изучение конструкции кожухотрубчатого теплообменника. Конструктивное определение числа труб | 4                 | Отчет. «Защита» | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
| 2.    | 7                    | Компоновка теплообменного аппарата                                                          | 4                 | Отчет. «Защита» | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
| 3.    | 8                    | Определение критической скорости однопролётного вала                                        | 4                 | Отчет. «Защита» | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
| 4.    | 8                    | Исследование напряжённого состояния быстровращающегося диска                                | 2                 | Отчет. «Защита» | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |

#### 5.6. Тематика курсовых проектов (работ), расчетно-графических работ, рефератов и других видов самостоятельной работы (СРС)

| Самостоятельная работа             | Тематика курсовых проектов (работ), расчетно-графических работ, рефератов и др.                                | Код формируемой компетенции |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Курсовой проект (работа)           | Расчёт на прочность основных элементов кожухотрубчатого теплообменника, многоходового по трубному пространству | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |
| Расчетно-графические задания       | Не предусмотрены                                                                                               |                             |
| Реферат                            | Не предусмотрен                                                                                                |                             |
| Подготовка к практическим занятиям | Определена тематикой практического занятия                                                                     | ОПК-1; ПК-1; ПК-5           |

|                                   |                                         |                      |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Подготовка к лабораторным работам | Определена тематикой лабораторных работ | ОПК-1; ПК-1;<br>ПК-5 |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|

### 5.7. Внеаудиторная СРС

Внеаудиторная СРС направлена на поиск информации в ЭОС и ее использовании при выполнении домашнего задания, являющегося расчетом тех же параметров, что и при контактной работе, но при других условиях.

Перечень индивидуальных заданий приведен в Приложении 3.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### Текущий контроль успеваемости, обеспечивающий оценивание хода освоения дисциплины

Для оценивания результатов обучения в виде знаний текущий контроль организуется в формах:

- устного опроса (индивидуального опроса);
- тестирования (бланкового);

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков (владений) текущий контроль организуется в форме проверки индивидуальных заданий к лабораторным и практическим занятиям.

Отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача тестов, отчетов к лабораторным работам.

Критерии для оценивания устного опроса

Оценка «отлично» выставляется в случае, если студент свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

Оценка «хорошо» выставляется в случае, если студент оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в стандартных ситуациях, но допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если студент допускает существенные ошибки, проявляет отсутствие знаний, умений, по отдельным темам (не более 33%), испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует полное отсутствие или явную недостаточность (менее 33%) знаний, умений в соответствии с планируемыми результатами обучения.

Промежуточная аттестация.

Промежуточная аттестация обучающихся состоит в оценивании промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине.

Промежуточная аттестация в 6 семестре осуществляется в форме экзамена. Промежуточная аттестация в 7 семестре осуществляется в форме зачета и экзамена. В 7 семестре предполагается выполнение курсовой работы.

Зачет проставляется автоматически, если обучающийся выполнил и защитил все лабораторные работы. Защита лабораторной работы включает в себя сдачу на положительную оценку теста по соответствующей теме. Шкала оценки результатов теста: 0–49,9 % правильно выполненных заданий – «неудовлетворительно»; 50–69,9 % – «удовлетворительно»; 70–89,9 % – «хорошо»; 90–100 % – «отлично».

Оценка по экзамену выставляется по результатам ответа студента на вопросы экзаменационного билета. Критерии оценивания приведены в разделе 6.3.

Результаты текущей и промежуточной аттестации каждого обучающегося по дисциплине фиксируются в электронной информационно-образовательной среде Института в соответствии с требованиями Положения об электронной информационно-образовательной среде Новомосковского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

### 6.1 Система оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок

#### Описание показателей и критериев оценивания сформированности части компетенции по дисциплине

|                                                                                                                                                                |                     |                                                          |                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий (ОПК-1) | Формирование знаний | Сформированность знаний (полнота, глубина, осознанность) | <b>Знать:</b><br>- базовые информационные ресурсы по методикам расчёта элементов оборудования различного функционального назначения |
|                                                                                                                                                                | Формирование умений | Сформированность умений (прочность,                      | <b>Уметь:</b><br>- использовать современные технологии накопления информации в области рас-                                         |

|                                                                                                                                                                                                                                      |                                                 |                                                                                                                       |                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                      |                                                 | последовательность, правильность, результативность, рефлексивность)                                                   | чёта оборудования                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                      | Формирование навыков и (или) опыта деятельности | Сформированность навыков и (или) опыта деятельности (качественность, скорость, автоматизм, редуцированность действий) | <b>Владеть:</b><br>- навыками обработки результатов расчёта элементов оборудования                                               |
| способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки (ПК-1)                                                                             | Формирование знаний                             | Сформированность знаний (полнота, глубина, осознанность)                                                              | <b>Знать:</b><br>- тенденции развития методов расчёта элементов химического оборудования                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                      | Формирование умений                             | Сформированность умений (прочность, последовательность, правильность, результативность, рефлексивность)               | <b>Уметь:</b><br>- адаптировать отечественный и зарубежный опыт для расчёта элементов химического оборудования                   |
|                                                                                                                                                                                                                                      | Формирование навыков и (или) опыта деятельности | Сформированность навыков и (или) опыта деятельности (качественность, скорость, автоматизм, редуцированность действий) | <b>Владеть:</b><br>- навыками обобщения информации по методикам расчёта элементов оборудования                                   |
| способностью принимать участие в работах по расчёту и проектированию деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-5) | Формирование знаний                             | Сформированность знаний (полнота, глубина, осознанность)                                                              | <b>Знать:</b><br>- методики расчёта типовых элементов оборудования                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                      | Формирование умений                             | Сформированность умений (прочность, последовательность, правильность, результативность, рефлексивность)               | <b>Уметь:</b><br>- использовать стандартные средства автоматизации проектирования для выполнения расчётов элементов оборудования |
|                                                                                                                                                                                                                                      | Формирование навыков и (или) опыта деятельности | Сформированность навыков и (или) опыта деятельности (качественность, скорость, автоматизм, редуцированность действий) | <b>Владеть:</b><br>- навыками оформления технической документации по расчёту элементов оборудования                              |

|  |  |           |  |
|--|--|-----------|--|
|  |  | действий) |  |
|--|--|-----------|--|

## 6.2. Цель контроля, вид контроля и условия достижения цели контроля

| Цель контроля                                                     | Постановка задания                                                                                         | Вид контроля                                                                                                                                                                   | Условие достижения цели контроля                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Выявление уровня знаний, умений, овладения навыками по дисциплине | Задания ставятся в соответствии с алгоритмом действий, лежащих в основе знаний, умения, овладения навыками | Текущий<br>Оценивание достижения планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы | Цель контроля достигается при выполнении обучающимися соответствующих заданий требующих действий, контрольных задач, упражнений |

### Пример задания для оценки уровня сформированности части компетенции по дисциплине

Определить толщину стенки цилиндрической обечайки с внутренним диаметром из стали 09Г2С аппарата, работающего под давлением 0,5 МПа при температуре 200°C, конструктивная прибавка к толщине стенки составляет 1 мм.

## 6.3. Шкала оценки и критерии уровня сформированности компетенций по дисциплине при текущей аттестации

| Компетенция                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Показатели текущего контроля                    | Уровень сформированности компетенции               |                                               |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                 | высокий                                            | пороговый                                     | не сформирована                                  |
| способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий (ОПК-1); способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки (ПК-1); способностью принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-5) | выполнение лабораторных работ                   | в полном объеме с оценкой* «отлично» или «хорошо». | в полном объеме с оценкой «удовлетворительно» | не выполнены в полном объеме ко времени контроля |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | тестирование                                    | с оценкой «отлично» или «хорошо».                  | с оценкой «удовлетворительно»                 | с оценкой «неудовлетворительно»                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | уровень использования дополнительной литературы | использует самостоятельно                          | по указанию преподавателя                     | с помощью преподавателя                          |

### Критерии оценивания

Оценка «отлично» выставляется в случае, если студент демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

Оценка «хорошо» выставляется в случае, если студент демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям: в ходе контрольных мероприятий студент показывает владение менее 50% приведенных показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует полное отсутствие или явную недостаточность (менее 33%) знаний, умений, навыков в соответствии с планируемыми результатами обучения.

#### 6.4. Шкала оценивания уровня сформированности компетенций при промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

|                                                                                                                                                                           | Показатели оценки (дескрипторы) и результаты достижения планируемых результатов обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Уровень сформированности компетенции                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | высокий                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                         | пороговый                                                                                                                                                                     | не сформирована                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | оценка «отлично»                                                                                                                                                                     | оценка «хорошо»                                                                                                                                         | оценка «удовлетворительно»                                                                                                                                                    | оценка «неудовлетворительно»                                                                                     |
| Компетенция                                                                                                                                                               | 1. Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.<br>2. Уровень выполнения заданий, предусмотренных программой.<br>3. Уровень изложения (культура речи, аргументированность, уверенность).<br>4. Уровень использования справочной литературы.<br>5. Уровень раскрытия причинно-следственных связей.<br>6. Ответы на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность.<br>7. Ответственное отношение к работе, стремление к достижению высоких результатов, готовность к дискуссии. | Демонстрирует полное понимание проблемы.<br>Все требования, предъявляемые к заданию выполнены                                                                                        | Демонстрирует понимание проблемы.<br>Большинство требований, предъявляемых к заданию выполнены.                                                         | Демонстрирует понимание проблемы. В основном требования, предъявляемые к заданию, выполнены.                                                                                  | Демонстрирует непонимание проблемы.<br>Задания не выполнены                                                      |
| способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий (ОПК-1); способно- | <b>знать:</b><br>- базовые информационные ресурсы по методикам расчёта элементов оборудования различного функционального назначения;<br>- тенденции развития методов расчёта элементов химического оборудования;<br>- методики расчёта типовых элементов оборудования<br><b>уметь:</b><br>- использовать современные технологии накопления информации в области расчёта оборудования<br>- адаптировать отечественный и зарубежный опыт для                                                      | <i>Полные ответы на все теоретические вопросы теста.<br/>Практические задания выполнены в полном объеме.<br/>Получены правильные значения всех расчетных (определяемых) величин.</i> | <i>Ответы по существу на все теоретические вопросы теста.<br/>Практические задания выполнены. Допущена неточность в расчете (определении) расчетной</i> | <i>Ответы по существу на все теоретические вопросы теста, но не имеется доказательств, выводов, обоснований.<br/>Намечены схемы решения предложенных практических заданий</i> | <i>Ответы менее чем на половину теоретических вопросов теста.<br/>Решение практических заданий не предложено</i> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |           |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------|--|--|
| стью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки (ПК-1); способностью принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-5) | расчёта элементов химического оборудования;<br>- использовать стандартные средства автоматизации проектирования для выполнения расчётов элементов оборудования.<br><b>владеть:</b><br>- навыками обработки результатов расчёта элементов оборудования;<br>- навыками обобщения информации по методикам расчёта элементов оборудования;<br>- навыками оформления технической документации по расчёту элементов оборудования. |  | величины. |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------|--|--|

## 6.5. Оценочные материалы для текущего контроля

### Вопросы (задания), включаемые в тесты

#### 1. Текущий контроль знаний студентов

#### А) Защита лабораторных работ:

#### Лабораторная работа №1

Изучение конструкции кожухотрубчатого теплообменника. Конструктивное определение числа труб

Вопросы к защите лабораторной работы:

1. Виды кожухотрубчатых теплообменных аппаратов
2. Размещение отверстий на трубных решётках
3. Камеральная разметка трубных решёток
4. Конструктивная реализация многоходовости по трубам для КТТ

#### Лабораторная работа №2

Компоновка теплообменного аппарата

Вопросы к защите лабораторной работы:

1. Основные конструктивные элементы аппарата
2. Определение монтажной массы аппарата
3. Определение массы аппарата при гидравлическом испытании
4. Определение высоты аппарата

5. Выбор опор аппарата
6. Выбор строповых опор аппарата

### **Лабораторная работа №3**

Определение критической скорости однопролётного вала

*Вопросы к защите лабораторной работы:*

1. Формула Донкерли для определения критической скорости вала
2. Формула Релея для определения критической скорости вала
3. Расчёт вала на виброустойчивость
4. Условие вибростойкости жёсткого вала
5. Условие вибростойкости гибкого вала
6. Самоцентрирование валов

### **Лабораторная работа №4**

Исследование напряжённого состояния быстровращающегося диска

*Вопросы к защите лабораторной работы:*

1. Конструкции быстровращающихся дисков
2. Напряжённое состояние материала вращающегося диска. Опасные точки
3. Статическая балансировка вращающихся элементов аппаратов
4. Динамическая балансировка элементов аппаратов

*Б). Защита практических занятий:*

#### **Практическое занятие №1**

Определение пробного давления и допускаемого напряжения

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Единицы измерения давления
2. Температурные шкалы
3. Формула для определения пробного давления
4. Влияние рабочей температуры в аппарате на величину пробного давления
5. Определение допускаемого напряжения для рабочих условий
6. Определение допускаемого напряжения для условий гидравлического испытания

#### **Практическое занятие №2**

Несущая способность конструкций

#### **Практическое занятие № 3**

Исследование несущей способности балок при изгибе

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Геометрические характеристики сечений
2. Условие прочности при растяжении, кручении, изгибе
3. Правила построения эпюр внутренних силовых факторов при изгибе
4. Характеристика сечения, определяющая несущую способность при изгибе
5. Рациональная форма сечения балки, работающей на изгиб

#### **Практическое занятие №4**

Расчёт элементов тонкостенных аппаратов на прочность

#### **Практическое занятие №5**

Исследование напряжённого состояния в стенке тонкостенной обечайки

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Оболочки вращения (сфера, цилиндр и др.).
2. Уравнение Лапласа.
3. Условие тонкостенности сосуда.
4. Формулы для определения толщины стенки для тонкостенных оболочек (сфера, цилиндр, конус), работающих под внутренним давлением.
5. Формулы для определения допускаемого давления для тонкостенных оболочек (сфера, цилиндр, конус), работающих под внутренним давлением.

#### **Практическое занятие №6**

Расчёт укрепления отверстий в стенках тонкостенных аппаратов

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Конструктивные способы укрепления отверстий в стенках тонкостенных аппаратов.
2. Формула для определения допустимого диаметра, не требующего укрепления.
3. Формула для определения наименьшего расстояния между центрами двух смежных отверстий, при укреплении которых не требуется учитывать их взаимное влияние.
4. Формула для определения условного диаметра.

### **Практическое занятие №7**

Оптимизация размеров цельносварного аппарата, работающего под внутренним давлением

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Формула для определения боковой поверхности аппарата.
2. Формула для определения массы цельносварного аппарата.
3. Форма аппарата, оптимальной массы.
4. Форма аппарата, оптимальной боковой поверхности.

### **Практическое занятие №8**

Расчёт тонкостенного сосуда на устойчивость

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Критическое давление.
2. Гладкая обечайка.
3. Характеристическая длина обечайки.
4. Формула для определения расчётной толщины стенки короткой гладкой обечайки, работающей под внешним давлением.
5. Формула для определения допускаемого внешнего давления короткой гладкой обечайки.

### **Практическое занятие №9**

Исследование напряжённого состояния в стенке толстостенного цилиндра

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Напряжения: нормальные, касательные, главные.
2. Условие толстостенности сосуда.
3. Эпюры напряжений в стенке толстостенного цилиндра.
4. Расчётные напряжения в стенке обечайки толстостенного цилиндра.

### **Практическое занятие №10**

Расчёт на прочность элементов АВД

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Что понимают под АВД?
2. Конструктивное исполнение АВД.
3. Формула для определения толщины стенки обечайки АВД.
4. Формула для определения толщины плоского днища АВД.
5. Формула для определения толщины крышки АВД.
6. Формула для определения диаметра шейки шпильки АВД.

### **Практическое занятие №11**

Расчёт на прочность элементов КТТ

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Основные конструктивные элементы КТТ.
2. Температурные напряжения в элементах КТТ типа ТН.
3. Температурные напряжения в элементах КТТ типа ТК.
4. Напряжения в элементах КТТ типа ТН от давления в аппарате.
5. Напряжения в элементах КТТ типа ТК от давления в аппарате.
6. Формула для определения расчётной толщины трубной решётки КТТ.
7. Формула для расчёта прочности крепления труб в трубной решётке КТТ.
8. Формула для определения толщины линзы аппарата ТК.

### **Практическое занятие №12**

Проверочный расчёт аппаратного фланца

*Вопросы к защите практического занятия:*

1. Виды аппаратных фланцев по конструкции.
2. Виды уплотнительных поверхностей аппаратных фланцев.
3. Выбор аппаратных фланцев.
4. Проверочный расчёт на прочность крепёжных деталей аппаратных фланцев.
5. Проверочный расчёт на прочность прокладки аппаратного фланца.

6. Проверочный расчёт фланцевого соединения на герметичность.

### Практическое занятие №13

Расчёт быстровращающихся валов

Вопросы к защите практического занятия:

1. Конструкции валов.
2. Материал валов. Термическая обработка.
3. Формула для определения диаметра вала из условия вибростойкости.
4. Проверочный расчёт вала на жёсткость.
5. Проверочный расчёт вала на прочность.

### Практическое занятие №14

Расчёт быстровращающихся оболочек

Вопросы к защите практического занятия:

1. Конструкция ротора осадительной центрифуги.
2. Конструкция ротора фильтрующей центрифуги.
3. Формула для определения расчётной толщины стенки цилиндрического сплошного барабана.
4. Формула для определения расчётной толщины стенки конического сплошного барабана.
5. Формула для определения расчётной толщины стенки цилиндрического перфорированного барабана.
6. Формула для определения расчётной толщины стенки конического перфорированного барабана.

### Практическое занятие №15

Расчёт элементов тихоходных вращающихся аппаратов

Вопросы к защите практического занятия:

1. Конструктивные элементы тихоходных вращающихся аппаратов.
2. Формула для конструктивного определения толщины стенки барабана.
3. Формула для определения расчётных напряжений изгиба барабана.
4. Формулы для определения прогиба барабана от распределённой нагрузки и сосредоточенной силы.
5. Формула для определения расчётных напряжений изгиба банджа.
6. Формула для определения расчётных напряжений смятия на линии контакта банджа и опорного ролика.
7. Формула для определения расчётных напряжений смятия на линии контакта банджа и упорного ролика.

В) Тестирование

### Структура контрольных тестов

| №<br>п/п | № и название лабораторной работы (ЛР) или практического занятия (ПР)                               | Структура теста |          |      |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|------|
|          |                                                                                                    | Заданий         | Вопросов |      |
|          |                                                                                                    |                 | База     | Тест |
|          | Лабораторные работы                                                                                | 6               | 60       | 6    |
| 1.       | ЛР №1. Изучение конструкции кожухотрубчатого теплообменника. Конструктивное определение числа труб | 6               | 60       | 6    |
| 2.       | ЛР №2. Компонировка теплообменного аппарата                                                        | 6               | 60       | 6    |
| 3.       | ЛР №3. Определение критической скорости однопролётного вала                                        | 6               | 60       | 6    |
| 4.       | ЛР №4. Исследование напряжённого состояния быстровращающегося диска                                | 6               | 60       | 6    |
|          | Практические занятия                                                                               |                 |          |      |
| 5.       | ПР №1. Определение пробного давления и допускаемого напряжения                                     | 6               | 60       | 6    |
| 6.       | ПР №2. Несущая способность конструкций                                                             | 6               | 60       | 6    |
| 7.       | ПР №3. Исследование несущей способности балок при изгибе                                           | 6               | 60       | 6    |
| 8.       | ПР №4. Расчёт элементов тонкостенных аппаратов на прочность                                        | 6               | 60       | 6    |
| 9.       | ПР №5. Исследование напряжённого состояния в стенке тонкостенной обечайки                          | 6               | 60       | 6    |
| 10.      | ПР №6. Расчёт укрепления отверстий                                                                 | 6               | 60       | 6    |
| 11.      | ПР №7. Оптимизация размеров цельносварного аппарата, работающего под внутренним давлением          | 6               | 60       | 6    |
| 12.      | ПР №8. Расчёт тонкостенного сосуда на устойчивость                                                 | 6               | 60       | 6    |
| 13.      | ПР №9. Исследование напряжённого состояния в                                                       | 6               | 60       | 6    |

| №<br>п/п | № и название лабораторной работы (ЛР) или практического занятия (ПР) | Структура теста |          |      |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|------|
|          |                                                                      | Заданий         | Вопросов |      |
|          |                                                                      |                 | База     | Тест |
|          | стенке толстостенного цилиндра                                       |                 |          |      |
| 14.      | ПР №10. Расчёт на прочность элементов АВД                            | 6               | 60       | 6    |
| 15.      | ПР №11. Расчёт на прочность элементов КТТ                            | 6               | 60       | 6    |
| 16.      | ПР №12. Проверочный расчёт аппаратного фланца                        | 6               | 60       | 6    |
| 17.      | ПР №13. Расчёт быстровращающихся валов                               | 6               | 60       | 6    |
| 18.      | ПР №14. Расчёт быстровращающихся оболочек                            | 6               | 60       | 6    |
| 19.      | ПР №15. Расчёт элементов тихоходных вращающихся аппаратов            | 6               | 60       | 6    |
| 20.      | Итоговый тест                                                        | 20              | 200      | 20   |

### Содержание тестовых материалов

#### 1.1. Конструктивные элементы сосудов и аппаратов

| №<br>вопроса | Вопрос            | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1.1        | Обечайка – это... | <p>цилиндрическая или коническая оболочка замкнутого профиля, открытая с торцов.</p> <p>изделие (устройство), имеющее внутреннюю полость, предназначенное для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ.</p> <p>обечайка, имеющая фланцы для присоединения других частей сосуда.</p> <p>устройство, предназначенное для присоединения к сосуду трубопроводов, трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и т.п.</p> |
| 1.1.2        | Царга – это...    | <p>обечайка, имеющая фланцы для присоединения других частей сосуда.</p> <p>изделие (устройство), имеющее внутреннюю полость, предназначенное для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ.</p> <p>цилиндрическая или коническая оболочка замкнутого профиля, открытая с торцов.</p> <p>устройство, предназначенное для присоединения к сосуду трубопроводов, трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и т.п.</p> |
| 1.1.3.       | Днище – это...    | <p>неотъемная часть корпуса сосуда, ограничивающая внутреннюю полость с торца.</p> <p>отъемная часть сосуда, закрывающая внутреннюю полость.</p> <p>устройство, обеспечивающее доступ во внутреннюю полость.</p> <p>отъемная деталь, позволяющая герметично закрыть отверстия штуцера или бобышки.</p>                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 1.2. Конструкционные материалы для химической аппаратуры

| №<br>вопроса | Вопрос                       | Варианты ответа                                                                                                                        |
|--------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.2.1        | Углеродистая сталь – это ... | <p>сплав на основе железа, содержащий вторым компонентом углерод</p> <p>сплав на основе железа, содержащий вторым компонентом хром</p> |

| № вопроса | Вопрос                          | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                              |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                                 | сплав на основе железа, содержащий вторым компонентом кремний                                                                                                                                                                |
|           |                                 | сплав на основе железа, содержащий вторым компонентом никель                                                                                                                                                                 |
| 1.2.2     | Теплоустойчивая сталь – это ... | Железоуглеродистый конструкционный сплав, для работы при температуре до 600°C                                                                                                                                                |
|           |                                 | железоуглеродистый специальный сплав, для работы в нагруженном состоянии при высокой температуре и обладающий при этом достаточной жаростойкостью                                                                            |
|           |                                 | железоуглеродистый специальный сплав, обладающий стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температуре выше 550°C, работающие в ненагруженном и слабонагруженном состоянии                   |
|           |                                 | железоуглеродистый специальный сплав, обладающий стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и др. |
| 1.2.3.    | Жаропрочная сталь – это ....    | железоуглеродистый специальный сплав, для работы в нагруженном состоянии при высокой температуре и обладающий при этом достаточной жаростойкостью                                                                            |
|           |                                 | Железоуглеродистый конструкционный сплав, для работы при температуре до 600°C                                                                                                                                                |
|           |                                 | железоуглеродистый специальный сплав, обладающий стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температуре выше 550°C, работающие в ненагруженном и слабонагруженном состоянии                   |
|           |                                 | железоуглеродистый специальный сплав, обладающий стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и др. |

### 1.3. Правила проектирование сосудов и аппаратов химических производств, подведомственных Ростехнадзору

| № вопроса | Вопрос                                                               | Варианты ответа                                                                                                               |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.3.1     | Среди перечисленных укажите аппараты, подведомственные Ростехнадзору | сосуды, работающие под давлением пара, газа или токсичных взрывоопасных жидкостей свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см <sup>2</sup> )   |
|           |                                                                      | сосуды, работающие под давлением пара, газа или токсичных взрывоопасных жидкостей свыше 0,1 МПа (1 кгс/см <sup>2</sup> )      |
|           |                                                                      | сосуды, работающие под давлением пара, газа или токсичных взрывоопасных жидкостей свыше 0,01 МПа (0,1 кгс/см <sup>2</sup> )   |
|           |                                                                      | сосуды, работающие под давлением пара, газа или токсичных взрывоопасных жидкостей свыше 0,055 МПа (0,55 кгс/см <sup>2</sup> ) |
| 1.3.2     | Среди перечисленных укажите аппараты, подведом-                      | цистерны и сосуды для транспортирования                                                                                       |

| № вопроса | Вопрос                                                               | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | ственные Ростехнадзору                                               | или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа (0,7 кгс/см <sup>2</sup> ) создаётся периодически для их опорожнения<br>цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,01 МПа (0,1 кгс/см <sup>2</sup> ) создаётся периодически для их опорожнения<br>цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,1 МПа (1 кгс/см <sup>2</sup> ) создаётся периодически для их опорожнения<br>цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,055 МПа (0,55 кгс/см <sup>2</sup> ) создаётся периодически для их опорожнения |
| 1.3.3.    | Среди перечисленных укажите аппараты, подведомственные Ростехнадзору | сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 500 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из с внутренним диаметром не более 500 мм<br>приборы парового и водяного отопления<br>трубчатые печи<br>сосуды, работающие под вакуумом                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

#### 1.4. Способы снижения металлоёмкости металлоконструкций

| № вопроса | Вопрос                                                                            | Варианты ответа                                                                                                 |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.4.1     | Несущая способность балки при изгибе характеризуется её ...                       | осевым моментом сопротивления<br>осевым моментом инерции<br>площадью сечения<br>полярным моментом сопротивления |
| 1.4.2     | Несущая способность конструкции, работающей на растяжение, характеризуется её ... | площадью сечения<br>осевым моментом сопротивления<br>осевым моментом инерции<br>полярным моментом сопротивления |
| 1.4.3.    | Несущая способность вала мешалки характеризуется его ...                          | полярным моментом сопротивления<br>площадью сечения<br>осевым моментом сопротивления<br>осевым моментом инерции |

#### 2.1. Элементы безмоментной теории оболочек вращения

| № вопроса | Вопрос                              | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1.1     | Меридиональное напряжение – это ... | нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной кривой, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, проходящей через ось вращения оболочки<br>касательное напряжение на площадке, перпендикулярной кривой, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, проходящей через ось вращения оболочки<br>нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной окружности, образованной |

| № вопроса | Вопрос                         | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                                | на поверхности оболочки сечением её плоскостью, перпендикулярной оси вращения оболочки<br>касательное напряжение на площадке, перпендикулярной окружности, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, перпендикулярной оси вращения оболочки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2.1.2     | Кольцевое напряжение – это ... | нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной окружности, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, перпендикулярной оси вращения оболочки<br>касательное напряжение на площадке, перпендикулярной окружности, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, перпендикулярной оси вращения оболочки<br>нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной кривой, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, проходящей через ось вращения оболочки<br>касательное напряжение на площадке, перпендикулярной кривой, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, проходящей через ось вращения оболочки |
| 2.1.3.    | Главное напряжение – это ...   | нормальное напряжение на площадке, по которой нет касательных напряжений<br>касательное напряжение на площадке, по которой нет нормальных напряжений<br>касательное напряжение на площадке, перпендикулярной кривой, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, проходящей через ось вращения оболочки<br>нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной кривой, образованной на поверхности оболочки сечением её плоскостью, проходящей через ось вращения оболочки                                                                                                                                                                                        |

2.2. Пробное давление, допускаемое напряжение, коэффициент прочности сварного шва, температура в аппарате

| № вопроса | Вопрос                                                                                             | Варианты ответа                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.2.1     | Максимальное давление, создаваемое при гидравлических (пневматических) испытаниях называется ...   | пробное<br>расчётное<br>рабочее<br>внутреннее                                                                                                                                                                                   |
| 2.2.2     | Для сварного сосуда при рабочем давлении $p=0,25$ МПа пробное давление определяется по формуле ... | $\max \{1,5p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,2\}$<br>$\max \{1,25p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; (p+0,3)\}$<br>$\max \{1,5p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,3\}$<br>$\max \{1,35p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; (p+0,5)\}$      |
| 2.2.3.    | Для сварного сосуда при рабочем давлении $p=0,75$ МПа пробное давление определяется по формуле ... | $\max \{1,25p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; (p+0,3)\}$<br>$\max \{1,5p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,2\}$<br>$\max \{1,25p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; (p+0,3)\}$<br>$\max \{1,35p \cdot [\sigma]_{20}/[\sigma]; (p+0,5)\}$ |

2.3. Расчётные формулы для тонкостенных сосудов

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                       | Варианты ответа                                                                                         |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.3.1     | Расчётная толщина стенки цилиндрической тонкостенной обечайки, нагруженной внутренним давлением, определяется по формуле ... | $s = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p}$                                          |
|           |                                                                                                                              | $s = \frac{p_p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_p}$                                |
|           |                                                                                                                              | $s = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$              |
|           |                                                                                                                              | $s = 0,47 \cdot \frac{D}{100} \cdot \left( \frac{p_p}{10^{-6} \cdot E} \cdot \frac{L}{D} \right)^{0,4}$ |
| 2.3.2     | Расчётная толщина стенки конической тонкостенной обечайки, нагруженной внутренним давлением, определяется по формуле ...     | $s = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$              |
|           |                                                                                                                              | $s = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p}$                                          |
|           |                                                                                                                              | $s = \frac{p_p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_p}$                                |
|           |                                                                                                                              | $s = 0,47 \cdot \frac{D}{100} \cdot \left( \frac{p_p}{10^{-6} \cdot E} \cdot \frac{L}{D} \right)^{0,4}$ |
| 2.3.3.    | Расчётная толщина стенки эллиптического днища, нагруженного внутренним давлением, определяется по формуле ...                | $s = \frac{p_p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_p}$                                |
|           |                                                                                                                              | $s = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$              |
|           |                                                                                                                              | $s = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p}$                                          |
|           |                                                                                                                              | $s = 0,47 \cdot \frac{D}{100} \cdot \left( \frac{p_p}{10^{-6} \cdot E} \cdot \frac{L}{D} \right)^{0,4}$ |

#### 2.4. Укрепление отверстий в стенке тонкостенного сосуда

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                 |               |          |          | Варианты ответа     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|----------|---------------------|
| 2.4.1     | Условие прочности укрепления выреза в стенке сосуда имеет вид ...                                                      |               |          |          | $F_0 \leq \sum F_k$ |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | $s \leq [s]$        |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | $F_0 \geq \sum F_k$ |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | $s \geq [s]$        |
| 2.4.2     | Определите допустимый диаметр $d_0$ отверстия в стенке цилиндрической обечайки, не требующего укрепления (см. таблицу) |               |          |          | 111 мм              |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | 105 мм              |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | 123 мм              |
|           | $D_{B2}$ , м                                                                                                           | $s_{p2}$ , мм | $s$ , мм | $c$ , мм | 134 мм              |
|           | 1,5                                                                                                                    | 10,8          | 14       | 1        |                     |
| 2.4.3.    | Определите допустимый диаметр $d_0$ отверстия в стенке цилиндрической обечайки, не требующего укрепления (см. таблицу) |               |          |          | 116 мм              |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | 123 мм              |
|           |                                                                                                                        |               |          |          | 134 мм              |
|           | $D_{B2}$ , м                                                                                                           | $s_{p2}$ , мм | $s$ , мм | $c$ , мм | 156 мм              |
|           | 1                                                                                                                      | 7,2           | 11       | 1        |                     |

#### 2.5. Расчёт сосудов высокого давления

| № вопроса | Вопрос                                                                          | Варианты ответа                  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 2.5.1.    | Высоким считается давление в сосуде ...                                         | не менее 10 МПа                  |
|           |                                                                                 | не менее 5 МПа                   |
|           |                                                                                 | не менее 100 кгс/см <sup>2</sup> |
|           |                                                                                 | не менее 50 кгс/см <sup>2</sup>  |
| 2.5.2.    | Наименьший расход металла на изготовление ... сосудов высокого давления         | рулонированных                   |
|           |                                                                                 | цельносварных                    |
|           |                                                                                 | ковано-сварных                   |
|           |                                                                                 | штампо-сварных                   |
| 2.5.3.    | Кованые корпуса аппаратов высокого давления изготавливаются из сталей марок ... | 25Х3НМ; 22Х3М                    |
|           |                                                                                 | 09Г2С; 10Г2С                     |
|           |                                                                                 | 35ХМ; 30ХМА                      |
|           |                                                                                 | 25Х1МФ; 25Х2МФА                  |

### 3.1. Фланцевые соединения

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                          | Варианты ответа |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 3.1.1     | Фланцы аппаратов стальные плоские приварные по ГОСТ 28759.2–90 с гладкой уплотнительной поверхностью выполняются ... исполнений | 1, 6, 11        |
|           |                                                                                                                                 | 2, 7, 12        |
|           |                                                                                                                                 | 3, 8, 13        |
|           |                                                                                                                                 | 4, 9, 14        |
| 3.1.2     | Фланцы аппаратов стальные плоские приварные по ГОСТ 28759.2–90 с пазом выполняются ... исполнений                               | 2, 7, 12        |
|           |                                                                                                                                 | 1, 6, 11        |
|           |                                                                                                                                 | 3, 8, 13        |
|           |                                                                                                                                 | 4, 9, 14        |
| 3.1.3.    | Фланцы аппаратов стальные плоские приварные по ГОСТ 28759.2–90 с шипом выполняются ... исполнений                               | 3, 8, 13        |
|           |                                                                                                                                 | 2, 7, 12        |
|           |                                                                                                                                 | 1, 6, 11        |
|           |                                                                                                                                 | 4, 9, 14        |

#### 3.1.1. Число труб одноходового теплообменника

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                    | Варианты ответа |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 3.1.1.1   | Определить $n_{z=1}$ число труб одноходового по трубному пространству теплообменника методом последовательных приближений. Исходные данные: внутренний диаметр аппарата $D_B = 0,6$ м; наружный диаметр теплообменных труб $d_H = 16$ мм. | $n_{z=1} = 468$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 678$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 532$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 484$ |
| 3.1.1.2   | Определить $n_{z=1}$ число труб одноходового по трубному пространству теплообменника методом последовательных приближений. Исходные данные: внутренний диаметр аппарата $D_B = 0,7$ м; наружный диаметр теплообменных труб $d_H = 20$ мм. | $n_{z=1} = 396$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 678$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 532$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 484$ |
| 3.1.1.3   | Определить $n_{z=1}$ число труб одноходового по трубному пространству теплообменника методом последовательных приближений. Исходные данные: внутренний диаметр аппарата $D_B = 0,8$ м; наружный диаметр теплообменных труб $d_H = 20$ мм. | $n_{z=1} = 546$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 678$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 532$ |
|           |                                                                                                                                                                                                                                           | $n_{z=1} = 484$ |

#### 3.3.2. Расчёт толщины трубной решётки теплообменника

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                   |            |          |            | Ответ             |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------------|-------------------|
| 3.3.2.1   | Определите $s_{p,p}$ расчётную толщину трубной решётки теплообменника ТН из стали 16ГС, $[\sigma] = 170$ МПа. Другие исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. |            |          |            | $s_{p,p} = 46$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |          |            | $s_{p,p} = 56$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |          |            | $s_{p,p} = 65$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |          |            | $s_{p,p} = 73$ мм |
|           | $D_B$ , м                                                                                                                                                                                                                                                | $d_H$ , мм | $t$ , мм | $Q_p$ , МН |                   |
|           | 0,7                                                                                                                                                                                                                                                      | 20         | 28       | 1,784      |                   |
|           | D <sub>B</sub> – внутренний диаметр аппарата; d <sub>H</sub> – наружный диаметр труб; t – шаг размещения труб Q <sub>p</sub> – усилие, действующее на решётку                                                                                            |            |          |            |                   |
| 3.3.2.2   | Определите $s_{p,p}$ расчётную толщину трубной решётки теплообменника ТН из стали 16ГС, $[\sigma] = 170$ МПа. Другие исходные данные в таблице. Расчётные                                                                                                |            |          |            | $s_{p,p} = 52$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                          |            |          |            | $s_{p,p} = 46$ мм |

| № вопроса                                                                                                                            | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                            |    |    |      | Ответ                                                                                                                                                                                                                             |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|----|-------|---------------------------|
|                                                                                                                                      | формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с.                                                                                                                                                                    |    |    |      | $s_{p,p} = 65 \text{ мм}$                                                                                                                                                                                                         |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      | $s_{p,p} = 73 \text{ мм}$                                                                                                                                                                                                         |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      | <table><tr><td><math>D_B, \text{ м}</math></td><td><math>d_H, \text{ мм}</math></td><td><math>t, \text{ мм}</math></td><td><math>Q_p, \text{ МН}</math></td></tr><tr><td>0,8</td><td>20</td><td>28</td><td>2,23</td></tr></table> | $D_B, \text{ м}$  | $d_H, \text{ мм}$ | $t, \text{ мм}$   | $Q_p, \text{ МН}$ | 0,8 | 20 | 28    | 2,23                      |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      | $D_B, \text{ м}$                                                                                                                                                                                                                  | $d_H, \text{ мм}$ | $t, \text{ мм}$   | $Q_p, \text{ МН}$ |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      | 0,8                                                                                                                                                                                                                                                               | 20 | 28 | 2,23 |                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
| $D_B$ – внутренний диаметр аппарата; $d_H$ – наружный диаметр труб; $t$ – шаг размещения труб $Q_p$ – усилие, действующее на решётку |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      |                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
| 3.3.2.3                                                                                                                              | Определите $s_{p,p}$ расчётную толщину трубной решётки теплообменника ТН из стали 16ГС, $[\sigma] = 170 \text{ МПа}$ . Другие исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. |    |    |      |                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      | <table><tr><td><math>D_B, \text{ м}</math></td><td><math>d_H, \text{ мм}</math></td><td><math>t, \text{ мм}</math></td><td><math>Q_p, \text{ МН}</math></td></tr><tr><td>0,9</td><td>20</td><td>27</td><td>2,712</td></tr></table>                                |    |    |      | $D_B, \text{ м}$                                                                                                                                                                                                                  | $d_H, \text{ мм}$ | $t, \text{ мм}$   | $Q_p, \text{ МН}$ | 0,9               | 20  | 27 | 2,712 | $s_{p,p} = 59 \text{ мм}$ |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      | $D_B, \text{ м}$                                                                                                                                                                                                                  | $d_H, \text{ мм}$ | $t, \text{ мм}$   | $Q_p, \text{ МН}$ |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      | 0,9                                                                                                                                                                                                                               | 20                | 27                | 2,712             |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      | $s_{p,p} = 48 \text{ мм}$                                                                                                                                                                                                         |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
|                                                                                                                                      | $s_{p,p} = 65 \text{ мм}$                                                                                                                                                                                                                                         |    |    |      |                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
| $s_{p,p} = 73 \text{ мм}$                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      |                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |
| $D_B$ – внутренний диаметр аппарата; $d_H$ – наружный диаметр труб; $t$ – шаг размещения труб $Q_p$ – усилие, действующее на решётку |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |      |                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |                   |     |    |       |                           |

### 3.3.4. Расчёт прочности крепления теплообменных труб

| № вопроса  | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ответ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |               |       |            |               |    |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|------------|---------------|----|-----|
| 3.3.4.1    | Определите $l_p$ расчётную глубину развальцовки в трубной решётке теплообменных труб. Отверстия гладкие. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно. | $l_p = 18,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 25,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 38,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 19,4$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <table><tr><td><math>d_H</math>, мм</td><td><math>n_T</math></td><td><math>Q_p</math>, МН</td><td><math>\alpha_{HT}</math></td></tr><tr><td>20</td><td>397</td><td>1,784</td><td>1,25</td></tr></table><br>$d_H$ – наружный диаметр труб; $n_T$ – число труб; $Q_p$ – усилие, действующее на трубную решётку; $\alpha_{HT}$ – коэффициент неравномерности нагружения труб | $d_H$ , мм    | $n_T$ | $Q_p$ , МН | $\alpha_{HT}$ | 20 | 397 |
| $d_H$ , мм | $n_T$                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $Q_p$ , МН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\alpha_{HT}$ |       |            |               |    |     |
| 20         | 397                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1,784                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1,25          |       |            |               |    |     |
| 3.3.4.2    | Определите $l_p$ расчётную глубину развальцовки в трубной решётке теплообменных труб. Отверстия гладкие. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно. | $l_p = 17,0$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 25,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 38,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 19,4$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <table><tr><td><math>d_H</math>, мм</td><td><math>n_T</math></td><td><math>Q_p</math>, МН</td><td><math>\alpha_{HT}</math></td></tr><tr><td>20</td><td>547</td><td>2,23</td><td>1,25</td></tr></table><br>$d_H$ – наружный диаметр труб; $n_T$ – число труб; $Q_p$ – усилие, действующее на трубную решётку; $\alpha_{HT}$ – коэффициент неравномерности нагружения труб  | $d_H$ , мм    | $n_T$ | $Q_p$ , МН | $\alpha_{HT}$ | 20 | 547 |
| $d_H$ , мм | $n_T$                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $Q_p$ , МН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\alpha_{HT}$ |       |            |               |    |     |
| 20         | 547                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2,23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1,25          |       |            |               |    |     |
| 3.3.4.3    | Определите $l_p$ расчётную глубину развальцовки в трубной решётке теплообменных труб. Отверстия гладкие. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно. | $l_p = 15,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 25,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 38,7$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $l_p = 19,4$ мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |       |            |               |    |     |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <table><tr><td><math>d_H</math>, мм</td><td><math>n_T</math></td><td><math>Q_p</math>, МН</td><td><math>\alpha_{HT}</math></td></tr><tr><td>20</td><td>721</td><td>2,712</td><td>1,25</td></tr></table><br>$d_H$ – наружный диаметр труб; $n_T$ – число труб; $Q_p$ – усилие, действующее на трубную решётку; $\alpha_{HT}$ – коэффициент неравномерности нагружения труб | $d_H$ , мм    | $n_T$ | $Q_p$ , МН | $\alpha_{HT}$ | 20 | 721 |
| $d_H$ , мм | $n_T$                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $Q_p$ , МН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\alpha_{HT}$ |       |            |               |    |     |
| 20         | 721                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2,712                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1,25          |       |            |               |    |     |

### 3.4.3. Проверка прочности болтов

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                        | Варианты ответа         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 3.4.3.1   | Определите расчётные напряжения в болтах фланцевого соединения. Исходные данные: нагрузка на болты $P_{61} = 0,4$ МН; резьба болтов по ГОСТ 24705–2004 $d_6 = M20$ ; число болтов $n_6 = 28$  | $\sigma_{p1} = 61$ МПа  |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 75$ МПа  |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 58$ МПа  |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 84$ МПа  |
| 3.4.3.2   | Определите расчётные напряжения в болтах фланцевого соединения. Исходные данные: нагрузка на болты $P_{61} = 0,64$ МН; резьба болтов по ГОСТ 24705–2004 $d_6 = M20$ ; число болтов $n_6 = 28$ | $\sigma_{p1} = 97$ МПа  |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 75$ МПа  |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 58$ МПа  |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 84$ МПа  |
| 3.4.3.3   | Определите расчётные напряжения в болтах фланцевого соединения. Исходные данные: нагрузка на болты $P_{61} = 1,00$ МН; резьба болтов по ГОСТ 24705–                                           | $\sigma_{p1} = 133$ МПа |
|           |                                                                                                                                                                                               | $\sigma_{p1} = 94$ МПа  |

| № вопроса | Вопрос                                     | Варианты ответа                                                    |
|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|           | 2004 $d_6 = M20$ ; число болтов $n_6 = 32$ | $\sigma_{p1} = 124 \text{ МПа}$<br>$\sigma_{p1} = 118 \text{ МПа}$ |

### 3.5.1. Определение длины распределительной камеры КТТ

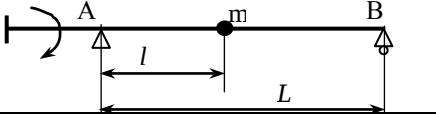
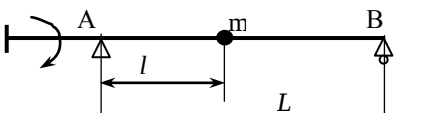
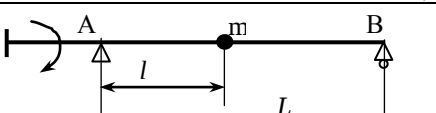
| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ответ        |          |         |     |   |       |              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|---------|-----|---|-------|--------------|
| 3.5.1.1   | <p>Определите <math>l</math> длину распределительной камеры аппарата ТН. В стенку камеры вварен штуцер. Патрубок штуцера выполнен из трубы по ГОСТ 8732–78. Камера фланцем приварным встык соединена с кожухом и днищем. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно.</p> <table><tr><td><math>D_B</math>, м</td><td><math>s</math>, мм</td><td><math>H</math>, м</td></tr><tr><td>0,6</td><td>6</td><td>0,07</td></tr></table> <p><math>D_B</math> – внутренний диаметр камеры; <math>s</math> – толщина стенки камеры; <math>H</math> – общая высота аппаратного фланца</p>  | $D_B$ , м    | $s$ , мм | $H$ , м | 0,6 | 6 | 0,07  | $l = 559$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $D_B$ , м    | $s$ , мм | $H$ , м |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,6          | 6        | 0,07    |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 499$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 708$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 625$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |          |         |     |   |       |              |
| 3.5.1.2   | <p>Определите <math>l</math> длину распределительной камеры аппарата ТН. В стенку камеры вварен штуцер. Патрубок штуцера выполнен из трубы по ГОСТ 8732–78. Камера фланцем приварным встык соединена с кожухом и днищем. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно.</p> <table><tr><td><math>D_B</math>, м</td><td><math>s</math>, мм</td><td><math>H</math>, м</td></tr><tr><td>0,7</td><td>7</td><td>0,08</td></tr></table> <p><math>D_B</math> – внутренний диаметр камеры; <math>s</math> – толщина стенки камеры; <math>H</math> – общая высота аппаратного фланца</p>  | $D_B$ , м    | $s$ , мм | $H$ , м | 0,7 | 7 | 0,08  | $l = 605$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $D_B$ , м    | $s$ , мм | $H$ , м |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,7          | 7        | 0,08    |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 499$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 708$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 625$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |          |         |     |   |       |              |
| 3.5.1.3   | <p>Определите <math>l</math> длину распределительной камеры аппарата ТН. В стенку камеры вварен штуцер. Патрубок штуцера выполнен из трубы по ГОСТ 8732–78. Камера фланцем приварным встык соединена с кожухом и днищем. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно.</p> <table><tr><td><math>D_B</math>, м</td><td><math>s</math>, мм</td><td><math>H</math>, м</td></tr><tr><td>0,8</td><td>6</td><td>0,085</td></tr></table> <p><math>D_B</math> – внутренний диаметр камеры; <math>s</math> – толщина стенки камеры; <math>H</math> – общая высота аппаратного фланца</p> | $D_B$ , м    | $s$ , мм | $H$ , м | 0,8 | 6 | 0,085 | $l = 643$ мм |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $D_B$ , м    | $s$ , мм | $H$ , м |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,8          | 6        | 0,085   |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 499$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 708$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $l = 625$ мм |          |         |     |   |       |              |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |          |         |     |   |       |              |

### 3.5.2. Определение массы элементов аппарата

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ответ          |          |           |     |   |     |  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|-----------|-----|---|-----|--|
| 3.5.2.1   | Определите $m_1$ массу кожуха аппарата, выполненного из горячекатаной стали по ГОСТ 19903–74. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно. | $m_1 = 439$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 387$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 459$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 625$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |          |           |     |   |     |  |
|           | <table><tr><td><math>D_B</math>, м</td><td><math>s</math>, мм</td><td><math>l_1</math>, м</td></tr><tr><td>0,6</td><td>6</td><td>4,9</td></tr></table>                                                                                                                       | $D_B$ , м      | $s$ , мм | $l_1$ , м | 0,6 | 6 | 4,9 |  |
| $D_B$ , м | $s$ , мм                                                                                                                                                                                                                                                                     | $l_1$ , м      |          |           |     |   |     |  |
| 0,6       | 6                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4,9            |          |           |     |   |     |  |
|           | $D_B$ – внутренний диаметр кожуха; $s$ – толщина стенки кожуха; $l_1$ – длина кожуха                                                                                                                                                                                         |                |          |           |     |   |     |  |
| 3.5.2.2   | Определите $m_1$ массу кожуха аппарата, выполненного из горячекатаной стали по ГОСТ 19903–74. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ, 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно. | $m_1 = 683$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 387$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 459$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 625$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                |          |           |     |   |     |  |
|           | <table><tr><td><math>D_B</math>, м</td><td><math>s</math>, мм</td><td><math>l_1</math>, м</td></tr><tr><td>0,7</td><td>7</td><td>5,6</td></tr></table>                                                                                                                       | $D_B$ , м      | $s$ , мм | $l_1$ , м | 0,7 | 7 | 5,6 |  |
| $D_B$ , м | $s$ , мм                                                                                                                                                                                                                                                                     | $l_1$ , м      |          |           |     |   |     |  |
| 0,7       | 7                                                                                                                                                                                                                                                                            | 5,6            |          |           |     |   |     |  |
|           | $D_B$ – внутренний диаметр кожуха; $s$ – толщина стенки кожуха; $l_1$ – длина кожуха                                                                                                                                                                                         |                |          |           |     |   |     |  |
| 3.5.2.3   | Определите $m_1$ массу кожуха аппарата, выполненного из горячекатаной стали по ГОСТ 19903–74. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Ч. 2, НИ РХТУ,                                                        | $m_1 = 751$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 683$ кг |          |           |     |   |     |  |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                              | $m_1 = 387$ кг |          |           |     |   |     |  |

| № вопроса | Вопрос                                                                               |                 |                  | Ответ                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|
|           | 2014, 88 с. Недостающие данные принять самостоятельно.                               |                 |                  | $m_1 = 459 \text{ кг}$ |
|           | $D_B, \text{ м}$                                                                     | $s, \text{ мм}$ | $l_1, \text{ м}$ |                        |
|           | 0,8                                                                                  | 6               | 6,3              |                        |
|           | $D_B$ – внутренний диаметр кожуха; $s$ – толщина стенки кожуха; $l_1$ – длина кожуха |                 |                  |                        |

#### 4.1.1. Расчёт критической частоты вращения однопролётного вала

| № вопроса                     | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ответ                         |       |      |        |   |    |   |        |                               |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|------|--------|---|----|---|--------|-------------------------------|
| 4.1.1.1                       | <p>Определите <math>n_{кр}</math> критическую скорость стального (<math>E = 1,99 \cdot 10^5</math> МПа) вала, несущего диск (см. рисунок). Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с.</p> <div><table><tr><th>m, кг</th><th>d, мм</th><th>L, м</th><th>l</th></tr><tr><td>5</td><td>15</td><td>1</td><td>0,25 L</td></tr></table></div> <p>m – масса диска; d – диаметр вала;</p>   | m, кг                         | d, мм | L, м | l      | 5 | 15 | 1 | 0,25 L | $n_{кр} = 876 \text{ c}^{-1}$ |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m, кг                         | d, мм | L, м | l      |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5                             | 15    | 1    | 0,25 L |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $n_{кр} = 924 \text{ c}^{-1}$ |       |      |        |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $n_{кр} = 755 \text{ c}^{-1}$ |       |      |        |   |    |   |        |                               |
| $n_{кр} = 631 \text{ c}^{-1}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |       |      |        |   |    |   |        |                               |
| 4.1.1.2                       | <p>Определите <math>n_{кр}</math> критическую скорость стального (<math>E = 1,99 \cdot 10^5</math> МПа) вала, несущего диск (см. рисунок). Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с.</p> <div><table><tr><th>m, кг</th><th>d, мм</th><th>L, м</th><th>l</th></tr><tr><td>5</td><td>15</td><td>1</td><td>0,3 L</td></tr></table></div> <p>m – масса диска; d – диаметр вала;</p>   | m, кг                         | d, мм | L, м | l      | 5 | 15 | 1 | 0,3 L  | $n_{кр} = 782 \text{ c}^{-1}$ |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m, кг                         | d, мм | L, м | l      |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5                             | 15    | 1    | 0,3 L  |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $n_{кр} = 876 \text{ c}^{-1}$ |       |      |        |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $n_{кр} = 924 \text{ c}^{-1}$ |       |      |        |   |    |   |        |                               |
| $n_{кр} = 755 \text{ c}^{-1}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |       |      |        |   |    |   |        |                               |
| 4.1.1.3                       | <p>Определите <math>n_{кр}</math> критическую скорость стального (<math>E = 1,99 \cdot 10^5</math> МПа) вала, несущего диск (см. рисунок). Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с.</p> <div><table><tr><th>m, кг</th><th>d, мм</th><th>L, м</th><th>l</th></tr><tr><td>5</td><td>15</td><td>1</td><td>0,35 L</td></tr></table></div> <p>m – масса диска; d – диаметр вала;</p> | m, кг                         | d, мм | L, м | l      | 5 | 15 | 1 | 0,35 L | $n_{кр} = 722 \text{ c}^{-1}$ |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m, кг                         | d, мм | L, м | l      |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5                             | 15    | 1    | 0,35 L |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $n_{кр} = 782 \text{ c}^{-1}$ |       |      |        |   |    |   |        |                               |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $n_{кр} = 876 \text{ c}^{-1}$ |       |      |        |   |    |   |        |                               |
| $n_{кр} = 924 \text{ c}^{-1}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |       |      |        |   |    |   |        |                               |

#### 4.2.1. Расчёт на прочность быстровращающихся оболочек

| № вопроса                  | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  | Ответ                       |                     |                          |     |      |      |                             |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-----------------------------|---------------------|--------------------------|-----|------|------|-----------------------------|
| 4.2.1.1                    | <p>Определите <math>s_{ц,р}</math> расчётную толщину стенки цилиндрического сплошного барабана ротора центрифуги (<math>\rho_m = 7900 \text{ кг/м}^3</math>; <math>[\sigma] = 150 \text{ МПа}</math>). Барабан загружен наполовину. Электросварка автоматическая. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> <table><tr><td><math>R, \text{ м}</math></td><td><math>n, \text{ об/мин}</math></td><td><math>\rho_c, \text{ кг/м}^3</math></td></tr><tr><td>0,7</td><td>1000</td><td>1200</td></tr></table> <p><math>R</math> – внутренний радиус барабана; <math>n</math> – частота вращения барабана; <math>\rho_m</math> – плотность материала барабана; <math>\rho_c</math> – плотность среды в барабане</p> |  |  | $R, \text{ м}$              | $n, \text{ об/мин}$ | $\rho_c, \text{ кг/м}^3$ | 0,7 | 1000 | 1200 | $s_{ц,р} = 10,5 \text{ мм}$ |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  | $R, \text{ м}$              | $n, \text{ об/мин}$ | $\rho_c, \text{ кг/м}^3$ |     |      |      |                             |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  | 0,7                         | 1000                | 1200                     |     |      |      |                             |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  | $s_{ц,р} = 11,2 \text{ мм}$ |                     |                          |     |      |      |                             |
|                            | $s_{ц,р} = 8,4 \text{ мм}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |                             |                     |                          |     |      |      |                             |
| $s_{ц,р} = 9,7 \text{ мм}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |                             |                     |                          |     |      |      |                             |
| 4.2.1.2                    | <p>Определите <math>s_{ц,р}</math> расчётную толщину стенки цилиндрического сплошного барабана ротора центрифуги (<math>\rho_m = 7900 \text{ кг/м}^3</math>; <math>[\sigma] = 150 \text{ МПа}</math>). Барабан загружен наполовину. Электросварка автоматическая. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> <table><tr><td><math>R, \text{ м}</math></td><td><math>n, \text{ об/мин}</math></td><td><math>\rho_c, \text{ кг/м}^3</math></td></tr><tr><td>0,6</td><td>1000</td><td>1200</td></tr></table> <p><math>R</math> – внутренний радиус барабана; <math>n</math> – частота вращения барабана; <math>\rho_m</math> –</p>                                                                                |  |  | $R, \text{ м}$              | $n, \text{ об/мин}$ | $\rho_c, \text{ кг/м}^3$ | 0,6 | 1000 | 1200 | $s_{ц,р} = 6,0 \text{ мм}$  |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  | $R, \text{ м}$              | $n, \text{ об/мин}$ | $\rho_c, \text{ кг/м}^3$ |     |      |      |                             |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  | 0,6                         | 1000                | 1200                     |     |      |      |                             |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  | $s_{ц,р} = 11,2 \text{ мм}$ |                     |                          |     |      |      |                             |
|                            | $s_{ц,р} = 8,4 \text{ мм}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |                             |                     |                          |     |      |      |                             |
| $s_{ц,р} = 9,7 \text{ мм}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |                             |                     |                          |     |      |      |                             |

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ответ                        |           |                              |     |      |      |                                                                                                                        |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----|------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | плотность материала барабана; $\rho_c$ – плотность среды в барабане                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                              |           |                              |     |      |      |                                                                                                                        |
| 4.2.1.3   | <p>Определите <math>s_{н,р}</math> расчётную толщину стенки цилиндрического сплошного барабана ротора центрифуги (<math>\rho_m = 7900 \text{ кг/м}^3</math>; <math>[\sigma] = 150 \text{ МПа}</math>). Барабан загружен наполовину. Электросварка автоматическая. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> <table border="1"> <tr> <td>R, м</td><td>n, об/мин</td><td><math>\rho_c</math>, кг/м<sup>3</sup></td></tr> <tr> <td>0,7</td><td>1100</td><td>1200</td></tr> </table> <p>R – внутренний радиус барабана; n – частота вращения барабана; <math>\rho_m</math> – плотность материала барабана; <math>\rho_c</math> – плотность среды в барабане</p> | R, м                         | n, об/мин | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> | 0,7 | 1100 | 1200 | $s_{н,р} = 13,8 \text{ мм}$<br>$s_{н,р} = 11,2 \text{ мм}$<br>$s_{н,р} = 8,4 \text{ мм}$<br>$s_{н,р} = 9,7 \text{ мм}$ |
| R, м      | n, об/мин                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> |           |                              |     |      |      |                                                                                                                        |
| 0,7       | 1100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1200                         |           |                              |     |      |      |                                                                                                                        |

#### 4.2.2. Расчёт допустимой частоты вращения быстровращающихся оболочек

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Ответ                        |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|------------------------------|-----|----|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.2.2.1   | <p>Определите <math>[n_d]</math> допустимую частоту вращения цилиндрического сплошного барабана ротора центрифуги (сталь 12X18H10T, <math>\rho_m = 7900 \text{ кг/м}^3</math>; <math>[\sigma] = 150 \text{ МПа}</math>). Барабан загружен наполовину. Электросварка автоматическая. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> <table border="1"> <tr> <td>R, м</td><td>s, мм</td><td><math>\rho_c</math>, кг/м<sup>3</sup></td></tr> <tr> <td>0,7</td><td>8</td><td>1200</td></tr> </table> <p>R – внутренний радиус барабана; s – исполнительная толщина стенки барабана; <math>\rho_m</math> – плотность материала барабана; <math>\rho_c</math> – плотность среды в барабане</p>  | R, м                         | s, мм | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> | 0,7 | 8  | 1200 | $[n_d] = 1233 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 1189 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 1087 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 968 \text{ об/мин}$ |
| R, м      | s, мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |
| 0,7       | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1200                         |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |
| 4.2.2.2   | <p>Определите <math>[n_d]</math> допустимую частоту вращения цилиндрического сплошного барабана ротора центрифуги (сталь 12X18H10T, <math>\rho_m = 7900 \text{ кг/м}^3</math>; <math>[\sigma] = 150 \text{ МПа}</math>). Барабан загружен наполовину. Электросварка автоматическая. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> <table border="1"> <tr> <td>R, м</td><td>s, мм</td><td><math>\rho_c</math>, кг/м<sup>3</sup></td></tr> <tr> <td>0,6</td><td>6</td><td>1200</td></tr> </table> <p>R – внутренний радиус барабана; s – исполнительная толщина стенки барабана; <math>\rho_m</math> – плотность материала барабана; <math>\rho_c</math> – плотность среды в барабане</p>  | R, м                         | s, мм | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> | 0,6 | 6  | 1200 | $[n_d] = 1311 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 1189 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 1087 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 968 \text{ об/мин}$ |
| R, м      | s, мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |
| 0,6       | 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1200                         |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |
| 4.2.2.3   | <p>Определите <math>[n_d]</math> допустимую частоту вращения цилиндрического сплошного барабана ротора центрифуги (сталь 12X18H10T, <math>\rho_m = 7900 \text{ кг/м}^3</math>; <math>[\sigma] = 150 \text{ МПа}</math>). Барабан загружен наполовину. Электросварка автоматическая. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> <table border="1"> <tr> <td>R, м</td><td>s, мм</td><td><math>\rho_c</math>, кг/м<sup>3</sup></td></tr> <tr> <td>0,7</td><td>10</td><td>1200</td></tr> </table> <p>R – внутренний радиус барабана; s – исполнительная толщина стенки барабана; <math>\rho_m</math> – плотность материала барабана; <math>\rho_c</math> – плотность среды в барабане</p> | R, м                         | s, мм | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> | 0,7 | 10 | 1200 | $[n_d] = 1460 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 1189 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 1087 \text{ об/мин}$<br>$[n_d] = 968 \text{ об/мин}$ |
| R, м      | s, мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup> |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |
| 0,7       | 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1200                         |       |                              |     |    |      |                                                                                                                                 |

#### 4.3.1. Расчёт на прочность барабанов

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ответ                                                                                                                            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.3.1.1   | <p>Определите <math>\sigma_n</math> напряжения изгиба барабана тихоходного вращающегося аппарата. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно</p> | $\sigma_n = 5,46 \text{ МПа}$<br>$\sigma_n = 6,56 \text{ МПа}$<br>$\sigma_n = 3,84 \text{ МПа}$<br>$\sigma_n = 7,75 \text{ МПа}$ |

| № вопроса                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |                |                |                |                |                 |                | Ответ                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | D <sub>б</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                              | L <sub>б</sub> | l <sub>1</sub> | m <sub>б</sub> | m <sub>м</sub> | m <sub>в</sub> | N <sub>пр</sub> | n <sub>б</sub> |                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | м                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                | кг             |                |                | кВт             | об/мин         |                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 12             | 7              | 6900           | 1035           | 414            | 10              | 4,06           |                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | D <sub>б</sub> – диаметр барабана; L <sub>б</sub> – длина барабана; l <sub>1</sub> – расстояние между бандажами; m <sub>б</sub> , m <sub>м</sub> , m <sub>в</sub> – масса барабана, материала в барабане, венцовой шестерни; N <sub>пр</sub> – мощность привода; n <sub>б</sub> – частота вращения барабана |                |                |                |                |                |                 |                |                           |
| 4.3.1.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Определите σ <sub>и</sub> напряжения изгиба барабана тихоходного вращающегося аппарата. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно     |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 4,30 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> =6,56 МПа  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 3,84 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 7,75 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | D <sub>б</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                              | L <sub>б</sub> | l <sub>1</sub> | m <sub>б</sub> | m <sub>м</sub> | m <sub>в</sub> | N <sub>пр</sub> | n <sub>б</sub> |                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | м                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                | кг             |                |                | кВт             | об/мин         |                           |
| 1,2                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 7              | 9970           | 1496           | 598            | 10             | 4,06            |                |                           |
| D <sub>б</sub> – диаметр барабана; L <sub>б</sub> – длина барабана; l <sub>1</sub> – расстояние между бандажами; m <sub>б</sub> , m <sub>м</sub> , m <sub>в</sub> – масса барабана, материала в барабане, венцовой шестерни; N <sub>пр</sub> – мощность привода; n <sub>б</sub> – частота вращения барабана |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                |                           |
| 4.3.1.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Определите σ <sub>и</sub> напряжения изгиба барабана тихоходного вращающегося аппарата. Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно     |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 6,11 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 4,56 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 3,84 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                | σ <sub>и</sub> = 7,75 МПа |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | D <sub>б</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                              | L <sub>б</sub> | l <sub>1</sub> | m <sub>б</sub> | m <sub>м</sub> | m <sub>в</sub> | N <sub>пр</sub> | n <sub>б</sub> |                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | м                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |                | кг             |                |                | кВт             | об/мин         |                           |
| 1,2                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 9,3            | 11180          | 1677           | 671            | 10             | 4,06            |                |                           |
| D <sub>б</sub> – диаметр барабана; L <sub>б</sub> – длина барабана; l <sub>1</sub> – расстояние между бандажами; m <sub>б</sub> , m <sub>м</sub> , m <sub>в</sub> – масса барабана, материала в барабане, венцовой шестерни; N <sub>пр</sub> – мощность привода; n <sub>б</sub> – частота вращения барабана |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                |                |                |                |                 |                |                           |

4.4.1. Определение частоты вращения, при которой на посадочной поверхности диска появляется пластическая деформация металла

| № вопроса | Вопрос                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                             | Ответ               |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| 4.4.1.1   | Определите $n_T$ частоту вращения, при которой на посадочной поверхности диска появляется пластическая деформация металла ( $\sigma_T = 300$ МПа, $\rho = 7850$ кг/м <sup>3</sup> ). Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно |                                             | $n_T = 4043$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 3784$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 4295$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 3954$ об/мин |
|           | $R_1 = 0,2$ м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $R_1$ – радиус посадочной поверхности диска |                     |
|           | $R_2 = 0,5$ м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $R_2$ – наружный радиус диска               |                     |
| 4.4.1.2   | Определите $n_T$ частоту вращения, при которой на посадочной поверхности диска появляется пластическая деформация металла ( $\sigma_T = 300$ МПа, $\rho = 7850$ кг/м <sup>3</sup> ). Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно |                                             | $n_T = 3364$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 3784$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 4295$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 3954$ об/мин |
|           | $R_1 = 0,25$ м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $R_1$ – радиус посадочной поверхности диска |                     |
|           | $R_2 = 0,6$ м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $R_2$ – наружный радиус диска               |                     |
| 4.4.1.3   | Определите $n_T$ частоту вращения, при которой на посадочной поверхности диска появляется пластическая деформация металла ( $\sigma_T = 300$ МПа, $\rho = 7850$ кг/м <sup>3</sup> ). Исходные данные в таблице. Расчётные формулы см. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть3. Учебное пособие по КРЭО. Новомосковск, 2015. – 68 с. Недостающие данные принять самостоятельно |                                             | $n_T = 3201$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 3784$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 4295$ об/мин |
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             | $n_T = 3954$ об/мин |
|           | $R_1 = 0,27$ м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $R_1$ – радиус посадочной поверхности диска |                     |
|           | $R_2 = 0,63$ м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $R_2$ – наружный радиус диска               |                     |

| Конструирование и расчёт элементов оборудования |        |
|-------------------------------------------------|--------|
| Тест по теме « _____ »                          |        |
| Вопрос                                          | Ответы |
| №1.                                             |        |
| №2.                                             |        |
| №3.                                             |        |
| №4.                                             |        |
| №5.                                             |        |

## 2. Оценивание окончательных результатов изучения дисциплины

### Экзаменационные вопросы (6 семестр)

1. Номенклатура химического оборудования
2. Сосуд, аппарат. Основные конструктивные элементы
3. Требования, предъявляемые к машинам и аппаратам химических производств
4. Несущая способность конструкций. Экономичность профилей при изгибе
5. Конструктивные способы снижения металлоёмкости конструкций
6. Требования, предъявляемые к конструкционным материалам для химического оборудования
7. Углеродистые и низколегированные стали для химического оборудования
8. Высоколегированные стали для химического оборудования
9. Цветные сплавы, применяемые для изготовления химической аппаратуры
10. Неметаллические материалы, применяемые для изготовления химической аппаратуры
11. Давление: рабочее, расчётное, условное, пробное
12. Допускаемое напряжение материала при расчёте аппаратов на прочность
13. Главные напряжения. Виды напряжённого состояния материала элементов оборудования
14. Теории прочности. Расчётные напряжения элементов оборудования
15. Оболочка вращения. Образующая, меридиан. Примеры.
16. Безмоментная теория оболочек. Уравнение Лапласа
17. Расчёт на прочность сферической тонкостенной оболочки
18. Расчёт на прочность конической тонкостенной оболочки
19. Расчёт на прочность цилиндрической тонкостенной оболочки
20. Расчёт на прочность стандартного тонкостенного эллиптического днища
21. Оптимизация размеров цельносварного аппарата, нагруженного внутренним давлением
22. Расчёт на прочность и устойчивость гладких обечаек, нагруженных внешним давлением
23. Основы расчёта на прочность толстостенных сосудов
24. Конструкция аппарата высокого давления
25. Обечайки аппаратов высокого давления: конструкция и расчёт
26. Крышки аппаратов высокого давления: конструкция и расчёт
27. Шпильки аппаратов высокого давления: конструкция и расчёт
28. Укрепление отверстий тонкостенных сосудов: конструктивные способы и расчёт
29. Аппаратура, подведомственная Ростехнадзору
30. Основные правила проектирования химического оборудования
31. Некоторые правила устройства и изготовления сварных аппаратов
32. Конструирование аппаратуры из высоколегированной стали
33. Конструирование аппаратуры из медных и алюминиевых сплавов
34. Конструирование эмалированной и пластмассовой аппаратуры

### Темы экзаменационных задач

1. Несущая способность элементов оборудования
2. Определение пробного давления
3. Расчёт тонкостенной оболочки под внутренним давлением
4. Укрепление отверстий тонкостенных сосудов
5. Устойчивость формы тонкостенных сосудов
6. Расчёт на прочность АД

### Экзаменационные вопросы (7 семестр)

1. Конструкция и расчёт обечайки КТТ.
2. Конструкция и расчёт распределительной камеры КТТ.
3. Конструкция и расчёт днища КТТ.
4. Конструкция и расчёт трубной решётки КТТ.
5. Крепление труб в трубной решётке. Проверка прочности.
6. Конструкция и расчёт линзового компенсатора КТТ.
7. Конструкция и расчёт трубного пучка КТТ.
8. Конструктивный расчёт числа труб на один ход КТТ.
9. Температурные напряжения в трубах и кожухе аппарата ТН.

10. Напряжения от давления в трубах и кожухе аппарата ТН.
11. Температурные напряжения в трубах и кожухе аппарата ТК.
12. Напряжения от давления в трубах и кожухе аппарата ТК.
13. Классификация аппаратных фланцев по конструктивному исполнению.
14. Классификация аппаратных фланцев по форме кольца и привалочной поверхности.
15. Соединительные детали аппаратных фланцев и проверка их прочности
16. Обтюрация фланцевых соединений. Проверка прочности обтюраторов.
17. Проверка фланцевого соединения на герметичность.
18. Опоры вертикальных аппаратов. Конструкция, выбор.
19. Опоры горизонтальных аппаратов. Конструкция, выбор.
20. Строповые устройства аппаратов. Конструкции, выбор.
21. Конструкции валов. Материалы. Термическая обработка.
22. Резонанс. Критическая скорость вала.
23. Расчёт валов на вибростойкость.
24. Жёсткий вал. Гибкий вал. Самоцентрирование вала.
25. Проверочный расчёт валов на прочность.
26. Проверочный расчёт валов на жёсткость.
27. Расчёт на прочность сплошного барабана ротора центрифуги.
28. Расчёт на прочность перфорированного барабана ротора центрифуги.
29. Расчёт допустимой частоты вращения сплошного барабана ротора центрифуги.
30. Расчёт допустимой частоты вращения перфорированного барабана ротора центрифуги.
31. Конструкции быстровращающихся дисков. Напряжённое состояние диска.
32. Упруго-пластическое состояние быстровращающегося диска постоянной толщины.
33. Статическая балансировка аппаратов и машин.
34. Динамическая балансировка аппаратов и машин.
35. Расчёт на прочность барабана тихоходного вращающегося аппарата.
36. Расчёт на прочность роликов опорной станции тихоходного вращающегося аппарата.

Темы экзаменационных задач

1. Расчёт трубного пучка КТТ
2. Расчёт на прочность элементов КТТ
3. Выбор и расчёт аппаратного фланца.
4. Компоновка аппарата. Выбор опор и строповых устройств.
5. Расчёт вала на прочность и вибростойкость.
6. Расчёт барабана ротора центрифуги.
7. Расчёт быстровращающегося диска.

Форма экзаменационного билета по дисциплине «Конструирование и расчёт элементов оборудования»

«Утверждаю»  
Зав. кафедрой ОХП  
\_\_\_\_\_  
Сафонов Б.П.

**Министерство образования и науки РФ**  
**Российский химико-технологический университет**  
**имени Д.И. Менделеева**  
**Новомосковский институт (филиал)**  
**Направление подготовки бакалавров**  
**15.03.02 Технологические машины и оборудования**  
**Направленность Машины и аппараты химических производств**  
**Кафедра Оборудование химических производств**

**Конструирование и расчёт элементов оборудования \_\_ семестр**  
**Экзаменационный билет № \_\_\_\_**

- 1.
- 2.
- 3.

.....

**Лектор, профессор \_\_\_\_\_ (Сафонов Б.П.)**

#### **Вопросы для устного опроса**

**Тема 1. Основы и принципы конструирования химического оборудования.**

1. Номенклатура химического оборудования.
2. Требования, предъявляемые к оборудованию.
3. Углеродистые стали, применяемые для элементов машин и аппаратов.
4. Легированные стали и сплавы, применяемые для элементов машин и аппаратов.

5. Неметаллические материалы, применяемые для элементов машин и аппаратов.

**Тема 2.** Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением.

1. Конструктивные элементы сосудов и аппаратов.
2. Виды нагружения элементов аппаратов. Несущая способность элементов аппаратов.
3. Тонкостенные сосуды. Формула Лапласа.
4. Формулы для определения толщины стенки и допускаемого давления для сосуда, работающего под внутренним давлением.
5. Конструктивная реализация укрепления отверстий тонкостенных оболочек.

**Тема 3.** Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов на устойчивость.

1. Критическое давление.
2. Гладкие обечайки, короткие обечайки.
3. Формулы для определения толщины стенки аппаратов, работающих под внешним давлением.
4. Формулы для определения допускаемого давления аппаратов, работающих под внешним давлением.
5. Расчёт на устойчивость, аппаратов при комбинированном нагружении

**Тема 4.** Расчёт аппаратов высокого давления.

1. Условие толстостенности аппарата.
2. Конструктивные элементы аппарата высокого давления.
3. Формулы для определения толщины стенки аппаратов высокого давления.
4. Обтюрация аппаратов высокого давления.
5. Крепёжные элементы аппаратов высокого давления.

**Тема 5.** Конструктивный и прочностной расчёт элементов теплообменных аппаратов.

1. Классификация теплообменных аппаратов.
2. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты. Виды.
3. Размещение труб в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах.
4. Формулы для определения толщины трубной решётки.
5. Формулы для расчёта прочности крепления труб в трубной решётки.

**Тема 6.** Выбор и расчёт аппаратных фланцев.

1. Классификация фланцев.
2. Выбор аппаратных фланцев.
3. Проверка прочности крепёжных элементов фланцевых соединений.
4. Проверка прочности прокладки фланцевых соединений
5. Проверка герметичности фланцевого соединения.

**Тема 7.** Компоновка аппарата. Выбор опор и строповых устройств.

1. Конструирование распределительной камеры теплообменника
2. Определение монтажной массы аппарата.
3. Определение массы аппарата при гидроиспытании.
4. Виды опор аппаратов. Выбор опор.
5. Виды строповых устройств аппаратов. Выбор строповых устройств.

**Тема 8.** Расчёт аппаратов с вращающимися элементами.

1. Критическая скорость вала. Формулы Донкерли и Релея.
2. Условие вибростойкости жёсткого и гибкого вала.
3. Формулы для определения толщины стенки ротора центрифуги.
4. Формулы для определения предельной скорости вращения диска.
5. Статическая и динамическая балансировка аппаратов и машин.

### **Критерии оценивания и шкала оценок по заданиям билета**

Оценка «отлично» выставляется в случае, если студент отвечает на все задания билета, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

Оценка «хорошо» выставляется в случае, если студент оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в стандартных ситуациях, но допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если студент допускает существенные ошибки, проявляет отсутствие знаний, умений, по отдельным темам (не более 33%), испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует полное отсутствие или явную недостаточность (менее 33%) знаний, умений в соответствии с планируемыми результатами обучения.

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Организация образовательного процесса регламентируется учебным планом и расписанием учебных занятий. Язык обучения (преподавания) - русский. Для всех видов аудиторных занятий «час» устанавливается продолжительностью 45 минут. Зачетная единица составляет 27 астрономических часов или 36 академических час. Через каждые 45 мин контактной работы делается перерыв продолжительностью 5 мин, а после двух часов контактной работы делается перерыв продолжительностью 10 мин.

Сетевая форма реализации программы дисциплины не используется.

Обучающийся имеет право на зачет результатов обучения по дисциплине, если она освоена им при получении среднего профессионального образования и (или) высшего образования, а также дополнительного образования (при наличии) (далее - зачет результатов обучения). Зачтенные результаты обучения учитываются в качестве результатов промежуточной аттестации. Зачет результатов обучения осуществляется в порядке и формах, установленных локальным актом НИ РХТУ – Порядок и формы зачета результатов обучения по отдельным дисциплинам (модулям) и практикам, освоенным обучающимся, при реализации образовательных программ высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета в Новомосковском институте (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» от 22.12.2017 г.

### **7.1. Образовательные технологии**

Учебный процесс при преподавании дисциплины основывается на использовании традиционных, инновационных и информационных образовательных технологий. Традиционные образовательные технологии представлены лекциями, лабораторными и практическими занятиями (занятия семинарского типа). Инновационные образовательные технологии используются в виде применения активных и интерактивных форм проведения занятий. Информационные образовательные технологии реализуются путем активизации самостоятельной работы студентов в информационной образовательной среде. При проведении учебных занятий обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств (включая проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, ролевых игр, тренингов, анализ ситуаций и имитационных моделей, преподавание дисциплин (модулей) в форме курсов, составленных на основе результатов научных исследований, проводимых организацией, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей).

### **7.2. Лекции**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов содержания дисциплины.

На первой лекции лектор обязан предупредить студентов, применительно к какому базовому учебнику (учебникам, учебным пособиям) будет прочитан курс.

Лекционный курс обеспечивает более глубокое понимание учебных вопросов при значительно меньшей затрате времени, чем это требуется среднестатистическому студенту на самостоятельное изучение материала.

### **7.3. Практические занятия**

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, направлены на отработку навыков, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы дисциплины.

Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций при контактной работе. В обязанности преподавателя входят: оказание методической помощи и консультирование студентов по соответствующим темам курса, ответы на вопросы, управление процессом решения задач.

### **7.4. Лабораторные работы**

Лабораторный практикум начинается с ознакомления с техникой безопасности.

По каждой лабораторной работе студент оформляет письменный отчет. Текущий контроль на лабораторных работах проводится в виде устных опросов – «защита» по итогам лабораторных работ. Оценивается ход лабораторных работ, достигнутые результаты, качество оформления отчета, своевременность сдачи.

## 7.5. Самостоятельная работа студента

Для успешного усвоения дисциплины необходимо не только посещать аудиторные занятия, но и вести активную самостоятельную работу. При самостоятельной проработке курса обучающиеся должны:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- изучить рекомендованную основную и дополнительную литературу, составлять тезисы, аннотации и конспекты наиболее важных моментов;
- использовать для самопроверки материала оценочные средства.

## 7.6. Реферат

*Реферат не предусмотрен*

## 7.7. Методические рекомендации для преподавателей

### Основные принципы обучения

1. Цель обучения – развить мышление, выработать мировоззрение; познакомить с идеями и методами науки; научить применять принципы и законы для решения простых и нестандартных конструкторско-технологических задач.

2. Обучение должно органически сочетаться с воспитанием. Нужно развивать в студентах волевые качества и трудолюбие. Ненавязчиво, к месту прививать элементы культуры поведения. В частности, преподаватель должен личным примером воспитывать в студентах пунктуальность и уважение к чужому времени. Недопустимо преподавание односеместровой учебной дисциплины превращать в годичное.

3. Обучение должно быть не пассивным (сообщим студентам некоторый объем информации, расскажем, как решаются те или иные задачи), а активным. Нужно строить обучение так, чтобы в овладении материалом основную роль играла память логическая, а не формальная. Запоминание должно достигаться через глубокое понимание.

4. Одно из важнейших условий успешного обучения – умение организовать работу студентов.

5. Отношение преподавателя к студентам должно носить характер доброжелательной требовательности. Для стимулирования работы студентов нужно использовать поощрение, одобрение, похвалу, но не порицание (порицание может применяться лишь как исключение). Преподаватель должен быть для студентов доступным.

6. Необходим регулярный контроль работы студентов. Правильно поставленный, он помогает им организовать систематические занятия, а преподавателю достичь высоких результатов в обучении.

7. Важнейшей задачей преподавателей, ведущих занятия по дисциплине, является выработка у студентов осознания необходимости и полезности знания дисциплины как теоретической и практической основы для изучения профильных дисциплин.

8. С целью более эффективного усвоения студентами материала данной дисциплины рекомендуется при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий использовать современные технические средства обучения, а именно презентации лекций, наглядные пособия в виде схем приборов, деталей и конструкций приборов, компьютерное тестирование.

9. Для более глубокого изучения предмета и подготовки ряда вопросов (тем) для самостоятельного изучения по разделам дисциплины преподаватель предоставляет студентам необходимую информацию о использовании учебно-методического обеспечения: учебниках, учебных пособиях, сборниках примеров и задач и описание лабораторных работ, наличии Интернет-ресурсов.

При текущем контроле рекомендуется использовать компьютерное или бланковое тестирование, контрольные коллоквиумы или контрольные работы.

Контрольное (итоговое) тестирование включает в себя задания по всем темам раздела рабочей программы дисциплины.

10. Цель лекции – формирование у студентов ориентировочной основы для последующего усвоения материала методом самостоятельной работы. Содержание лекции должно отвечать следующим дидактическим требованиям:

- изложение материала от простого к сложному, от известного к неизвестному;
- логичность, четкость и ясность в изложении материала;
- возможность проблемного изложения, дискуссии, диалога с целью активизации деятельности студентов;
- опора смысловой части лекции на подлинные факты, события, явления, статистические данные;
- тесная связь теоретических положений и выводов с практикой и будущей профессиональной деятельностью студентов.

Преподаватель, читающий лекционные курсы, должен знать существующие в педагогической практике варианты лекций, их дидактические и воспитывающие возможности, а также их место в структуре процесса обучения.

11. При проведении аттестации студентов важно всегда помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний студентов. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и студента.

### **Организация лабораторного практикума**

Освоение студентом лабораторного практикума – необходимая составная часть работы студента при освоении дисциплины. Каждый студент за 7 семестр должен выполнить 4 лабораторных работы.

Все студенты перед началом работы в лаборатории проходят инструктаж по технике безопасности. Каждый студент в специальном журнале ставит свою подпись о том, что он прослушал инструктаж по технике безопасности работы в лаборатории и обязуется выполнять все пункты инструктажа.

## **7.8. Методические указания для студентов**

### **По подготовке к лекционным занятиям**

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления теоретических знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Студентам необходимо:

1. перед каждой лекцией просматривать рабочую программу дисциплины;
2. перед следующей лекцией необходимо просмотреть по конспекту материал предыдущей.

При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале не удалось, необходимо обратиться к лектору или к преподавателю на практических занятиях. Не оставляйте «белых пятен» в освоении материала!

### **Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

**Тема 1.** Основы и принципы конструирования химического оборудования. **Литература:** о-1; д-1; д-2

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Номенклатура химического оборудования.
2. Требования, предъявляемые к оборудованию.
3. Углеродистые стали, применяемые для элементов машин и аппаратов.
4. Легированные стали и сплавы, применяемые для элементов машин и аппаратов.
5. Неметаллические материалы, применяемые для элементов машин и аппаратов.

**Тема 2.** Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением. **Литература:** о-1; д-1; д-2

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Конструктивные элементы сосудов и аппаратов.
2. Виды нагружения элементов аппаратов. Несущая способность элементов аппаратов.
3. Тонкостенные сосуды. Формула Лапласа.
4. Формулы для определения толщины стенки и допускаемого давления для сосуда, работающего под внутренним давлением.
5. Конструктивная реализация укрепления отверстий тонкостенных оболочек.

**Тема 3.** Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов на устойчивость. **Литература:** о-1; д-1; д-2

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Критическое давление.
2. Гладкие обечайки, короткие обечайки.
3. Формулы для определения толщины стенки аппаратов, работающих под внешним давлением.
4. Формулы для определения допускаемого давления аппаратов, работающих под внешним давлением.
5. Расчёт на устойчивость, аппаратов при комбинированном нагружении

**Тема 4.** Расчёт аппаратов высокого давления. **Литература:** о-1; д-1; д-2

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Условие толстостенности аппарата.
2. Конструктивные элементы аппарата высокого давления.
3. Формулы для определения толщины стенки аппаратов высокого давления.
4. Обтюрация аппаратов высокого давления.
5. Крепёжные элементы аппаратов высокого давления.

**Тема 5.** Конструктивный и прочностной расчёт элементов теплообменных аппаратов. **Литература:** о-1; д-1; д-3

**Вопросы для самопроверки:**

1. Классификация теплообменных аппаратов.
2. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты. Виды.
3. Размещение труб в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах.
4. Формулы для определения толщины трубной решётки.
5. Формулы для расчёта прочности крепления труб в трубной решётки.

**Тема 6.** Выбор и расчёт аппаратных фланцев. **Литература:** о-1; д-1; д-3

**Вопросы для самопроверки:**

1. Классификация фланцев.
2. Выбор аппаратных фланцев.
3. Проверка прочности крепёжных элементов фланцевых соединений.
4. Проверка прочности прокладки фланцевых соединений
5. Проверка герметичности фланцевого соединения.

**Тема 7.** Компоновка аппарата. Выбор опор и строповых устройств. **Литература:** о-1; д-1; д-3

**Вопросы для самопроверки:**

1. Конструирование распределительной камеры теплообменника
2. Определение монтажной массы аппарата.
3. Определение массы аппарата при гидротестировании.
4. Виды опор аппаратов. Выбор опор.
5. Виды строповых устройств аппаратов. Выбор строповых устройств.

**Тема 8.** Расчёт аппаратов с вращающимися элементами. **Литература:** о-1; д-1; д-4

**Вопросы для самопроверки:**

1. Критическая скорость вала. Формулы Донкерли и Релея.
2. Условие вибростойкости жёсткого и гибкого вала.
3. Формулы для определения толщины стенки ротора центрифуги.
4. Формулы для определения предельной скорости вращения диска.
5. Статическая и динамическая балансировка аппаратов и машин.

**По подготовке к практическим занятиям**

Освоение студентом учебного материала по курсу КРЭО реализуется на практических занятиях. Каждый студент за 6, 7 семестр должен проработать 15 практических занятий. В процессе выполнения практических занятий студент осваивает методы расчёта элементов оборудования.

**По подготовке к лабораторной работе**

Освоение студентом лабораторного практикума – необходимая составная часть работы студента при освоении курса КРЭО. Каждый студент за 7 семестр должен выполнить 4 лабораторных работы.

**По выполнению курсовой работы**

Выполнение курсовой работы преследует цель закрепить навыки проведения комплексных расчётов элементов оборудования по стандартным методикам.

**По работе с литературой**

В рабочей программе дисциплины представлен список основной и дополнительной литературы – это учебники, учебно-методические пособия или указания. Дополнительная литература – учебники, монографии, сборники научных трудов, журнальные и газетные статьи, различные справочники, энциклопедии, Интернет-ресурсы.

Любая форма самостоятельной работы студента (подготовка к занятию семинарского типа, выполнение курсовой работы) начинается с изучения соответствующей литературы как в библиотеке / электронно-библиотечной системе, так и дома. Изучение указанных источников расширяет границы понимания предмета дисциплины.

При работе с литературой выделяются следующие виды записей. Конспект – краткая схематическая запись основного содержания научной работы. Целью является не переписывание произведения, а выявление его логики, системы доказательств, основных выводов. Хороший конспект должен сочетать полноту изложения с краткостью. Цитата – точное воспроизведение текста. Заключается в кавычки. Точно указывается страница источника. Тезисы – концентрированное изложение основных положений прочитанного материала. Аннотация – очень краткое изложение содержания прочитанной работы. Резюме – наиболее общие выводы и положения работы, ее концептуальные итоги.

## 7.9. Методические рекомендации по обучению лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Профессорско-преподавательский состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

Предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования).

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);

- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Лабораторные работы выполняются методом вычислительного эксперимента.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы.

Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов при тестировании с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### а) основная литература

| Основная литература                                                                                                                                     | Режим доступа                  | Обеспеченность |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|
| О-1. Поникаров И.И. Конструирование и расчёт элементов химического оборудования : Учебник / И.И. Поникаров, С.И.Поникаров. – М.: Альфа-М, 2010. – 79 с. | Библиотека НИ РХТУ – экз. АБ11 | Да             |

#### б) дополнительная литература

| Дополнительная литература                                                                                                                                                                                                                                                                           | Режим доступа                                                                                                                                                                                                                                                 | Обеспеченность |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Д-1. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учебное пособие / М. Ф. Михалев, Н.П.Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михалёва. – 2-е изд. исправленное и дополненное. М.: ООО «Торгово-Издательский Дом «Арис», 2010. – 309 с. | Библиотека НИ РХТУ – экз. АБ28                                                                                                                                                                                                                                | Да             |
| Д-2. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть 1. Учебное пособие по КРЭО. Изд. 2-е/ ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт,                                                                                                                                | Электронная библиотека НИ РХТУ<br><a href="http://moodle.nirhtu.ru/pluginfile.php/23494/mod_resource/content/4/%D0%9A%D0%A0%D0%AD%D0%9E.%20%D0%A7">http://moodle.nirhtu.ru/pluginfile.php/23494/mod_resource/content/4/%D0%9A%D0%A0%D0%AD%D0%9E.%20%D0%A7</a> | Да             |

|                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Новомосковск, 2014. – 98 с.                                                                                                                                                                       | %D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%201.pdf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
| Д-3. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть 2. Учебное пособие по КРЭО. Изд. 3-е/ ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт, Новомосковск, 2017. – 118 с. | Электронная библиотека НИ РХТУ<br><a href="http://moodle.nirhtu.ru/pluginfile.php/28129/mod_resource/content/1/%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C2017%20%D0%BA%D1%80%D1%8D%D0%BE-2-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C-3-%D0%B8%D0%B7%D0%B4-%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf">http://moodle.nirhtu.ru/pluginfile.php/28129/mod_resource/content/1/%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C2017%20%D0%BA%D1%80%D1%8D%D0%BE-2-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C-3-%D0%B8%D0%B7%D0%B4-%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf</a> | Да |
| Д-4. Сафонов Б.П. Расчёт элементов химического оборудования. Часть 3. Учебное пособие по КРЭО. ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт, Новомосковск, 2015. – 68 с.            | Электронная библиотека НИ РХТУ<br><a href="http://moodle.nirhtu.ru/pluginfile.php/24685/mod_resource/content/2/%D0%BA%D1%80%D1%8D%D0%BE%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%203.pdf">http://moodle.nirhtu.ru/pluginfile.php/24685/mod_resource/content/2/%D0%BA%D1%80%D1%8D%D0%BE%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%203.pdf</a>                                                                                                                                                                                       | Да |

## 8.2. Информационные и информационно-образовательные ресурсы

При освоении дисциплины студенты должны использовать информационные и информационно-образовательные ресурсы следующих порталов и сайтов:

1. Система федеральных образовательных порталов. Система открытого образования. Консалтинговый центр ИОС ОО РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.openet.ru> (дата обращения: 11.12.2017).
2. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Система федеральных образовательных порталов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/> (дата обращения: 11.12.2017).
3. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». URL: <http://window.edu.ru/> (дата обращения: 11.12.2017).
4. Электронная библиотека кафедры «Оборудование химических производств» <http://moodle.nirhtu.ru/course/view.php?id=171> (дата обращения: 26.12.2017).

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспеченные доступом в электронную информационно-образовательную среду Института, помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы             | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы                                  | Приспособленность помещений для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекционная аудитория 108 (корпус 4)                                                   | Учебные столы, стулья, доска, мел<br>Переносная презентационная техника (постоянное хранение в ауд. 109 а) | приспособлено                                                                                            |
| Аудитория для проведения лабораторных занятий 108 (корпус 4): лабораторная работа № 1 | Учебные столы, стулья, доска, мел<br>Теплообменник кожухотрубчатый                                         | приспособлено                                                                                            |
| Аудитория для проведения занятий лабораторных занятий 121 (корпус                     | Учебные столы, стулья, доска, мел<br>Установки для определения критической скорости валов                  | приспособлено                                                                                            |

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы                                      | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                    | Приспособленность помещений для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4): лабораторная работы № 2, 3                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                          |
| Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций обучающихся 113 (корпус 4)                               | Учебные столы, стулья, доска, мел<br>Переносная презентационная техника (постоянное хранение в ауд. 109 а)                                                                                                                                                                                                                   | приспособлено                                                                                            |
| Аудитория для самостоятельной работы студентов и лабораторных занятий 350 (корпус 5)<br>лабораторная работа №4 | Экран для проектора Drapen Diplomat; компьютеры - 10 шт. ПК Dell Optiplex 755 (монитор 17"), системный блок, клавиатура, мышь; компьютер преподавателя - 1 шт. Realm MB ASUS AM2 WS Proteus/ Athlok 64*2 6000 + / 4 Gb; проектор - Hitachi CP - X 327 разрешение 1024*768; МФУ (принтер - копир - сканер) FS - 1035 MFP/ DP/ | приспособлено                                                                                            |

#### **Технические средства обучения, служащие для предоставления учебной информации большой аудитории**

Ноутбук ACER с оперативной памятью 504 МБ, жестким диском 1 Гб; - с возможностью просмотра видеоматериалов и презентаций, с неограниченным доступом в Интернет, электронным образовательным и информационным ресурсам, базе данных электронного каталога Института, системе управления учебными курсами Moodle, учебно-методическим материалам.

- Сканер Epson Perfection 1670 - скорость сканирования (цветн.) ч/б 13 сек (A4, 300dpi); цв. 18 сек (A4, 300dpi);

- Ксерокс Canon FC 210 - копировальный аппарат максимальное разрешение -600x600 dpi, скорость копирования (стр/мин)- 4 стр/мин

- Проектор ACER - портативный, технология 1 x DLP, разрешение 800x600, проекционный коэффициент 1.95 ÷ 1.95 : 1

- Принтер HP LaserJet 1200 - максимальный формат: A4, скорость печати: 14 стр/мин (ч/б A4), время выхода первого отпечатка: 10 с (ч/б), максимальное разрешение для ч/б печати: 1200x1200 dpi

- Экран на треноге Da-line – ширина экрана 1,85 м., высота 1,70 м.

#### **Программное обеспечение**

Microsoft Office 365, Windows 7, Windows XP, AutoCAD-15, Adobe Reader

Реквизиты подтверждающего документа [The Novomoskovsk university \(the branch\) - EMDEPT - DreamSpark Premium](http://e5.onthehub.com/WebStore/Welcome.aspx?vsro=8&ws=9f5a10ad-c98b-e011-969d-0030487d8897) <http://e5.onthehub.com/WebStore/Welcome.aspx?vsro=8&ws=9f5a10ad-c98b-e011-969d-0030487d8897>

Номер учетной записи e5: 100039214

#### **Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

В системе Moodle НИ РХТУ по адресу <http://moodle.nirhtu.ru/course/view.php?id=105> (дата обращения 25.12.2017) размещены электронные образовательные ресурсы для освоения дисциплины Конструирование и расчёт элементов оборудования:

1. Регламент дневного отделения: экзаменационные вопросы 6 и 7 семестра.
2. Формы учебных материалов: титульные листы лабораторных работ, РПЗ курсовой работы; форма задания на курсовую работу.
3. Нормативные документы: стандарты и другие руководящие документы для выполнения расчётных и конструкторских работ в рамках освоения ООП.
4. Практические и лабораторные работы: формы протокола и варианты выполнения практических работ №3, 5, 7, 9 и лабораторных работ №1, 2, 3, 4.
5. Примеры расчёта элементов оборудования.
6. Курсовая работа: пример оформления РПЗ курсовой работы, справочные материалы для выполнения курсовой работы.
7. Заочное отделение: контрольная работа №1, 2.

## АННОТАЦИЯ

### рабочей программы дисциплины

#### Конструирование и расчёт элементов оборудования

**1. Общая трудоемкость** (з.е./ час): 8/288. Контактная работа 121,6 час., из них: лекционные 60, лабораторные 14, практические 46. Самостоятельная работа студента 95 час. Дисциплина изучается на 3 курсе в 6 семестре и на 4 курсе в 7 семестре. Форма промежуточного контроля: 6 семестр – экзамен; 7 семестр – зачет, экзамен, курсовая работа.

#### **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина Б1.В.06 – Конструирование и расчёт элементов оборудования относится к вариативной части блока 1 Дисциплины (модули). Является обязательной для освоения в 6 семестре, на 3 курсе и в 7 семестре на 4 курсе.

#### **3. Цель и задачи изучения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является обеспечение базовой подготовки студентов в области расчета элементов химического оборудования на прочность, жёсткость, устойчивость и вибростойкость.

Задачи преподавания дисциплины:

- приобретение знаний по методикам расчёта элементов оборудования с использованием современных образовательных и информационных технологий;
- приобретения знаний по расчёту элементов оборудования с использованием передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;
- формирование и развитие умений использования стандартных средств автоматизации проектирования при выполнении расчётов элементов оборудования;
- приобретение и формирование навыков оформления проектно-конструкторской документации при расчёте и проектировании химического оборудования.

#### **4. Содержание дисциплины**

Тема 1. Основы и принципы конструирования химического оборудования.

Тема 2. Расчёт на прочность тонкостенных сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением

Тема 3. Расчёт тонкостенных сосудов и аппаратов на устойчивость.

Тема 4. Расчёт аппаратов высокого давления.

Тема 5. Конструктивный и прочностной расчёт элементов теплообменных аппаратов.

Тема 6. Выбор и расчёт аппаратных фланцев.

Тема 7. Компоновка аппарата. Выбор опор и строповых устройств.

Тема 8. Расчёт аппаратов с вращающимися элементами.

#### **5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы**

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующим результатом обучения по дисциплине:

- способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий (ОПК-1);
- способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки (ПК-1);
- способностью принимать участие в работах по расчету и проектированию деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-5)

##### **Знать:**

- базовые информационные ресурсы по методикам расчёта элементов оборудования различного функционального назначения;
- тенденции развития методов расчёта элементов химического оборудования;
- методики расчёта типовых элементов оборудования.

##### **Уметь:**

- использовать современные технологии накопления информации в области расчёта оборудования;
- адаптировать отечественный и зарубежный опыт для расчёта элементов химического оборудования;
- использовать стандартные средства автоматизации проектирования для выполнения расчётов элементов оборудования.

##### **Владеть:**

- навыками обработки результатов расчёта элементов оборудования;
- навыками обобщения информации по методикам расчёта элементов оборудования;
- навыками оформления технической документации по расчёту элементов оборудования.

### Порядок оценивания

Оценка «отлично» выставляется в случае, если студент демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

Оценка «хорошо» выставляется в случае, если студент демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям: в ходе контрольных мероприятий студент показывает владение менее 50% приведенных показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если студент демонстрирует полное отсутствие или явную недостаточность (менее 33%) знаний, умений, навыков в соответствии с планируемыми результатами обучения.

### Перечень индивидуальных заданий

1. Исследование несущей способности балок при изгибе.
2. Исследование напряжённого состояния в стенке тонкостенной обечайки.
3. Оптимизация размеров цельносварного аппарата, работающего под внутренним давлением.
4. Исследование напряжённого состояния в стенке толстостенного цилиндра

### ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ на 2018-2019 учебный год

В рабочую программу дисциплины КРЭО (направление подготовки 15.03.02) вносятся следующие изменения:

1. Изменено название министерства:  
старое: Министерство образования и науки Российской Федерации  
новое: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
2. Основная и дополнительная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины представлена в приложении к ОПОП и на сайте института <http://moodle.nirhtu.ru/course/>
3. Перечень лицензионного программного обеспечения
  - 3.1. Операционная система MS Windows 7 бессрочные права и бессрочная лицензия по подписке Microsoft Imagine Premium, идентификатор подписки: a936248f-3805-4c6a-a64f-8c344976ef6d, идентификатор подписчика: ICM-164914
  - 3.2. СУБД MS Access 2003 бессрочные права и бессрочная лицензия по подписке Microsoft Imagine Premium, идентификатор подписки: a936248f-3805-4c6a-a64f-8c344976ef6d, идентификатор подписчика: ICM-164914

Дополнения и изменения в рабочей программе рассмотрены и одобрены на заседании кафедры

« 12 » \_\_ 09 \_\_\_\_\_ 2018 г, протокол № 2

Руководитель ОПОП  /Сафонов Б.П./