МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
_____ / О.В. Юсупова
"_____" _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.01.04 «Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением»

Код и направление подготовки (специальность)	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Направленность (профиль)	Оборудование нефтегазопереработки
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Заочная
Год начала подготовки	2022
Институт / факультет	Институт нефтегазовых технологий (ИНГТ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств"
Кафедра-разработчик	кафедра "Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	144 / 4
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Самара 2022

Б1.В.01.04 «Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **15.03.02 Технологические машины и оборудование**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 1170 от 20.10.2015 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Доцент, кандидат технических наук	Д.А Крючков
(должность, степень, ученое звание)	(ФИО)

Заведующий кафедрой	И.Д. Ибатуллин, доктор технических наук
	(ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета факультета / института (или учебно-методической комиссии)	А.Ю Чуркина, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)
Руководитель образовательной программы	С.Б. Коныгин, доктор технических наук, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы 6
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 7
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 8
4.1 Содержание лекционных занятий 8
4.2 Содержание лабораторных занятий 9
4.3 Содержание практических занятий 9
4.4. Содержание самостоятельной работы 10
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю) 12
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения 13
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 13
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) 13
9. Методические материалы 14
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) 15

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
	ОПК-5 Способен работать с нормативно-технической документацией, связанной с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил;	ОПК-5.1 Знает нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью	Владеть навыками расчета на прочность оборудования, работающего под давлением
			Знать теоретические основы расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением
			Уметь производить подбор оптимального оборудования, работающего под давлением
		ОПК-5.2 Использует стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	Владеть навыками выбора нормы, стандартов и правила при проектировании оборудования
			Знать стандарты, нормы и правила расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением
			Уметь использовать стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-1 Способен разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	ПК-1.1 Применяет актуальную нормативную документацию при оформлении законченных проектных работ	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ

			Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при разработке конструкторско-технологической документации
			Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
		ПК-1.2 Проектирует отдельные узлы и аппараты для нефтегазовой промышленности	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности
			Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности
			Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности
		ПК-1.3 Знает основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли	Владеть методами применения стандартных прикладных программных продуктов при моделировании процессов, происходящих в технологическом оборудовании нефтегазового производства; - навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования нефтегазового производства.
			Знать основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли; технологическое оборудование нефтегазового производства.

			Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин при проектировании технологических комплексов нефтегазового производства; - использовать стандартные программные средства при проектировании; - использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.
		ПК-1.5 Знает основные законы и принципы расчета процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	Владеть навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов; - навыками расчетов процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли
			Знать принципы действия машин и аппаратов нефтегазовой отрасли; - основные закономерности протекания процессов нефтегазовой отрасли; - методы расчетов процессов и аппаратов; - современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;
			Уметь выполнять инженерные расчеты аппаратов нефтегазовой отрасли; - выбирать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства; - проводить расчет процессов и параметров, определяющих работу аппарата.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **вариативная часть**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины
ОПК-5	Инженерная и компьютерная графика		Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Специальные вопросы конструирования и расчета оборудования; Требования Ростехнадзора по проектированию и эксплуатации оборудования отрасли

ПК-1	Опытно-конструкторские работы и патентоведение в области нефтегазового оборудования; Технологические машины и оборудование общего назначения	Компьютерное моделирование нефтегазового оборудования; Учебная практика: практика по получению первичных профессиональный умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности	Гидроаэродинамика промышленных аппаратов; Дисперсные системы в оборудовании нефтегазопереработки; Конструирование и расчет оборудования нефтегазопереработки; Менеджмент и маркетинг; Основы предпринимательской деятельности; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Производственная практика: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности; Производственная практика: преддипломная практика; Производственная практика: технологическая практика; Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии; Технологические машины и оборудование общего назначения; Технология нефтегазопереработки и нефтехимического синтеза; Технология производства смазочных масел и спецпродуктов; Химия нефти и газа; Экономика и управление производством; Экономика предприятий нефтегазовой отрасли

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	6 семестр часов / часов в электронной форме
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	18	18
Лабораторные работы	8	8
Лекции	2	2
Практические занятия	8	8
Внеаудиторная контактная работа, КСР	4	4
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	113	113
выполнение курсовых работ	23	23

подготовка к лабораторным работам	8	8
подготовка к экзамену	30	30
составление конспектов	52	52
Контроль	9	9
Итого: час	144	144
Итого: з.е.	4	4

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов
1	Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	1	4	4	30	39
2	Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	1	4	4	30	39
3	Курсовая работа	0	0	0	23	23
4	Подготовка к экзамену	0	0	0	30	30
	КСР	0	0	0	0	4
	Контроль	0	0	0	0	9
	Итого	2	8	8	113	144

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема лекции	Содержание лекции (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
6 семестр				
1	Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	Расчет цилиндрических обечаек. Расчет сферических и эллиптических днищ.	Расчет на прочность тонкостенной цилиндрической оболочки по 1 и 4 теориям прочности. Расчет аппаратов из чугуна и неметаллических материалов. Полушаровые, сферические неотбортованные днища, сферические отбортованные (торовые) днища. Расчет на прочность. Эллиптические днища. Плоские днища и крышки. Рас-чет на прочность.	1

2	Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	Расчет обечаек под внешним давлением. Кольца жесткости.	Цилиндрические оболочки, нагруженные осевой сжимающей силой и изгибающим моментом. Обечайки, работающие под совместным действием наружного давления, осевой силы и изгибающего момента. Назначение колец жесткости. Расчет колец жесткости.	1
			Итого за семестр:	**2**
			Итого:	**2**

4.2 Содержание лабораторных занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема лабораторного занятия**	**Содержание лабораторного занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
6 семестр				
1	Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	Лабораторная работа №1. Изучение напряжений и деформаций в зоне соединения эллиптического днища и цилиндрической обечайки.	Теоретический расчет напряжений в эллиптическом днище и цилиндрической обечайки. Измерение напряжений и деформаций в эллиптическом днище и цилиндрической обечайки с помощью тензостанции. Отчет о работе.	4
2	Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	Лабораторная работа №2. Изучение деформаций и напряжений в корпусе колонны ректификации, возникающих под действием изгибающего момента.	Теоретическое определение меридиональных и кольцевых напряжений. Измерение напряжений и деформаций в корпусе колонны с помощью тензостанции. Отчет о работе.	4
			Итого за семестр:	**8**
			Итого:	**8**

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема практического занятия**	**Содержание практического занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
6 семестр				

1	Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	Расчет цилиндрических обечаек.	Расчет толщины стенки обечаек, работающих под внутренним давлением.	2
2	Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	Расчет сферических, эллиптических и конических днищ.	Расчет толщины сферического днища. Расчет толщины эллип-тического днища. Расчет толщины конического днища. Контрольная работа по теме: Расчет вертикального цилиндри-ческого аппарата на прочность.	2
3	Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	Расчет обечаек под внешним давлением.	Расчет длинных и коротких цилиндров, нагруженных внешним давлением.	2
4	Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	Расчет обечаек под внешним давлением (продолжение).	Расчет обечаек, работающих под внешним давлением. Обечайки под действием осевой сжимающей силы, изгибающего момента.	2
Итого за семестр:				**8**
Итого:				**8**

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	**Вид самостоятельной работы**	**Содержание самостоятельной работы** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов**
6 семестр			

Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	Самостоятельное изучение материала по разделу	Понятие о краевой задаче. Алгоритмы решения краевой задачи. Учет краевых сил и моментов. Расчет на прочность тонкостенной цилиндрической оболочки по 1 и 4 теориям прочности. Расчет аппаратов из чугуна и неметаллических материалов. Полушаровые, сферические неотбортованные днища, сферические отбортованные (торовые) днища. Расчет на прочность. Эллиптические днища. Плоские днища и крышки. Расчет на прочность. Конические днища. Днища под действием давления газа или пара, под действием гидростатического столба жидкости, под совместным действием давления газа и столба жидкости. Расчет конических днищ по ГОСТ.	26
Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов	Подготовка к лабораторной работе №1. Изучение напряжений и деформаций в зоне соединения эллиптического днища и цилиндрической обечайки.	Уравнение Лапласа. Деформации и напряжения в цилиндрических обечайках.	4
Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	Самостоятельное изучение материала по разделу.	Понятие о критическом давлении. Расчет длинных и коротких цилиндров, нагруженных внешним давлением. Назначение колец жесткости. Расчет колец жесткости. Цилиндрические оболочки, нагруженные осевой сжимающей силой и изгибающим моментом. Обечайки, работающие под совместным действием наружного давления, осевой силы и изгибающего момента. Расчет сферических, эллиптических и конических днищ под наружным давлением. Способы укрепления отверстий. Расчет укреплений отверстий. Анализ напряжений, возникающих в толстостенных оболочках от давления среды. Вывод расчетной формулы для толщины стенки корпуса по методу максимальных напряжений. Недостатки метода. Расчет корпусов по методу предельных нагрузок. Температурные напряжения в аппаратах высокого давления. Составные многослойные цилиндры. Витые толстостенные цилиндры, оплеточные аппараты. Автофреттаж.	26

Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.	Подготовка к лабораторной работе №2. Изучение деформаций и напряжений в корпусе колонны ректификации, возникающих под действием изгибающего момента.	Расчет механических напряжений в колонном аппарате под действием ветровой нагрузки.	4
Курсовая работа	Курсовая работа	Проектирование колонного аппарата, работающего под давлением. Определение толщины стенок, расчет укрепления отверстий, проверка возможности проведения гидравлических испытаний, расчет на ветровую нагрузку.	23
Подготовка к экзамену	Подготовка к экзамену	Подготовка к экзамену	30
		Итого за семестр:	**113**
		Итого:	**113**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	**Библиографическое описание**	**Ресурс НТБ СамГТУ** (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)
1	Конструирование и расчет оборудования отрасли: лаборатор. практикум / С. Б. Коныгин [и др.], Самар.гос.техн.ун-т.- Самара: 2015.- 85 с	Книжный фонд
2	Конструирование и расчет оборудования отрасли: метод. указания / Д. А. Крючков, С. В. Иваняков, С. Б. Коныгин, Самар.гос.техн.ун-т.- Самара: 2015.- 28 с	Книжный фонд
3	Конструирование сварных химических аппаратов: справ. / А. А. Лащинский ; под ред. А. Р. Толчинского.- М.: 2011.- 383 с	Книжный фонд
4	Машины и аппараты химических производств: учеб. / А. С. Тимонин [и др.].- Калуга: 2014.- 854 с	Книжный фонд
5	Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию: учеб. пособие / под ред. Ю. И. Дытнерского.- М.: 2010.- 493 с	Книжный фонд
6	Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справ. / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский.- М.: 2011.- 752 с	Книжный фонд
7	Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учеб.пособие / С. А. Ахметов [и др.].- СПб.: 2006.- 871 с	Книжный фонд

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	Microsoft Office 2007 Open License Academic	Microsoft (Зарубежный)	Лицензионное
2	Microsoft Windows XP Professional операционная система	Microsoft (Зарубежный)	Лицензионное

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	Консультант плюс	http://www.consultant.ru	Ресурсы открытого доступа
2	РОСПАТЕНТ	http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru	Ресурсы открытого доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Аудитории для лекционных занятий укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Практические занятия

Аудитории для практических занятий укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения:

-компьютерный класс на 12 посадочных мест;

-ПО общего назначения;

-презентационная техника (проектор, экран, компьютер),

Лабораторные занятия

Для лабораторных занятий используются аудитория № 109б/1, оснащенная следующим оборудованием:

-класс на 12 посадочных мест;

-лабораторные стенды

Самостоятельная работа

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интеренет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде СамГТУ: - читальный зал НТБ СамГТУ (ауд. 200 корпус № 8; ауд. 125 корпус № 1; ауд. 41, 31, 34, 35 Главный корпус библиотеки, ауд. 83а, 414, 416, 0209 АСА СамГТУ; ауд. 401 корпус №10); - компьютерные классы (ауд. 208, 210 корпус № 8).

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплен в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершенной. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и

индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации при работе на лабораторном занятии

Проведение лабораторной работы делится на две условные части: теоретическую и практическую.

Необходимыми структурными элементами занятия являются проведение лабораторной работы, проверка усвоенного материала, включающая обсуждение теоретических основ выполняемой работы.

Перед лабораторной работой, как правило, проводится технико-теоретический инструктаж по использованию необходимого оборудования. Преподаватель корректирует деятельность обучающегося в процессе выполнения работы (при необходимости). После завершения лабораторной работы подводятся итоги, обсуждаются результаты деятельности.

Возможны следующие формы организации лабораторных работ: фронтальная, групповая и индивидуальная. При фронтальной форме выполняется одна и та же работа (при этом возможны различные варианты заданий). При групповой форме работа выполняется группой (командой). При индивидуальной форме обучающимися выполняются индивидуальные работы.

По каждой лабораторной работе имеются методические указания по их выполнению, включающие необходимый теоретический и практический материал, содержащие элементы и последовательную инструкцию по проведению выбранной работы, индивидуальные варианты заданий, требования и форму отчётности по данной работе.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.В.01.04 «Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением»

Фонд оценочных средств
по дисциплине
Б1.В.01.04 «Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением»

Код и направление подготовки (специальность)	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Направленность (профиль)	Оборудование нефтегазопереработки
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Заочная
Год начала подготовки	2022
Институт / факультет	Институт нефтегазовых технологий (ИНГТ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств"
Кафедра-разработчик	кафедра "Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	144 / 4
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
	ОПК-5 Способен работать с нормативно-технической документацией, связанной с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил;	ОПК-5.1 Знает нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью	Владеть навыками расчета на прочность оборудования, работающего под давлением
			Знать теоретические основы расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением
			Уметь производить подбор оптимального оборудования, работающего под давлением
		ОПК-5.2 Использует стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	Владеть навыками выбора нормы, стандартов и правила при проектировании оборудования
			Знать стандарты, нормы и правила расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением
			Уметь использовать стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-1 Способен разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	ПК-1.1 Применяет актуальную нормативную документацию при оформлении законченных проектных работ	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ

			Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при разработке конструкторско-технологической документации
			Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
		ПК-1.2 Проектирует отдельные узлы и аппараты для нефтегазовой промышленности	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности
			Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности
			Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности
		ПК-1.3 Знает основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли	Владеть методами применения стандартных прикладных программных продуктов при моделировании процессов, происходящих в технологическом оборудовании нефтегазового производства; - навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования нефтегазового производства.
			Знать основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли; технологическое оборудование нефтегазового производства.

			Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин при проектировании технологических комплексов нефтегазового производства; - использовать стандартные программные средства при проектировании; - использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.
		ПК-1.5 Знает основные законы и принципы расчета процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	Владеть навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов; - навыками расчетов процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли
			Знать принципы действия машин и аппаратов нефтегазовой отрасли; - основные закономерности протекания процессов нефтегазовой отрасли; - методы расчетов процессов и аппаратов; - современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;
			Уметь выполнять инженерные расчеты аппаратов нефтегазовой отрасли; - выбирать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства; - проводить расчет процессов и параметров, определяющих работу аппарата.

Матрица соответствия оценочных средств запланированным результатам обучения

Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	Текущий контроль успеваемости	Промежуточная аттестация
Расчет элементов оборудования на прочность. Элементы конструирования аппаратов				
ОПК-5.1 Знает нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью	**Знать** теоретические основы расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь производить подбор оптимального оборудования, работающего под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками расчета на прочность оборудования, работающего под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да

ОПК-5.2 Использует стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	**Владеть** навыками выбора нормы, стандартов и правила при проектировании оборудования	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь использовать стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать стандарты, нормы и правила расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.1 Применяет актуальную нормативную документацию при оформлении законченных проектных работ	**Знать** основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при разработке конструкторско-технологической документации	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.2 Проектирует отдельные узлы и аппараты для нефтегазовой промышленности	**Уметь** оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.3 Знает основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли	**Знать** основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли; технологическое оборудование нефтегазового производства.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть методами применения стандартных прикладных программных продуктов при моделировании процессов, происходящих в технологическом оборудовании нефтегазового производства; - навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования нефтегазового производства.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин при проектировании технологических комплексов нефтегазового производства; - использовать стандартные программные средства при проектировании; - использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да

ПК-1.5 Знает основные законы и принципы расчета процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	**Уметь** выполнять инженерные расчеты аппаратов нефтегазовой отрасли; - выбирать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства; - проводить расчет процессов и параметров, определяющих работу аппарата.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов; - навыками расчетов процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать принципы действия машин и аппаратов нефтегазовой отрасли; - основные закономерности протекания процессов нефтегазовой отрасли; - методы расчетов процессов и аппаратов; - современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
Расчет цилиндрических оболочек на устойчивость формы. Толстостенные оболочки вращения.				
ОПК-5.1 Знает нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью	**Знать** теоретические основы расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками расчета на прочность оборудования, работающего под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь производить подбор оптимального оборудования, работающего под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ОПК-5.2 Использует стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	**Уметь** использовать стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать стандарты, нормы и правила расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками выбора нормы, стандартов и правила при проектировании оборудования	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.1 Применяет актуальную нормативную документацию при оформлении законченных проектных работ	**Владеть** навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при разработке конструкторско-технологической документации	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.2 Проектирует отдельные узлы и аппараты для нефтегазовой промышленности	**Знать** основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да

	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.3 Знает основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли	**Владеть** методами применения стандартных прикладных программных продуктов при моделировании процессов, происходящих в технологическом оборудовании нефтегазового производства; - навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования нефтегазового производства.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли; технологическое оборудование нефтегазового производства.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин при проектировании технологических комплексов нефтегазового производства; - использовать стандартные программные средства при проектировании; - использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
ПК-1.5 Знает основные законы и принципы расчета процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	**Уметь** выполнять инженерные расчеты аппаратов нефтегазовой отрасли; - выбирать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства; - проводить расчет процессов и параметров, определяющих работу аппарата.	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Знать принципы действия машин и аппаратов нефтегазовой отрасли; - основные закономерности протекания процессов нефтегазовой отрасли; - методы расчетов процессов и аппаратов; - современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
	Владеть навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов; - навыками расчетов процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	Отчет по лабораторным работам, экзамен	Да	Да
Курсовая работа				
ОПК-5.1 Знает нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью	**Уметь** производить подбор оптимального оборудования, работающего под давлением	Защита курсовой работы	Да	Да
	Знать теоретические основы расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Защита курсовой работы	Да	Да
	Владеть навыками расчета на прочность оборудования, работающего под давлением	Защита курсовой работы	Да	Да

ОПК-5.2 Использует стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	**Владеть** навыками выбора нормы, стандартов и правила при проектировании оборудования	Защита курсовой работы	Да	Да
	Знать стандарты, нормы и правила расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Защита курсовой работы	Да	Да
	Уметь использовать стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	Защита курсовой работы	Да	Да
ПК-1.1 Применяет актуальную нормативную документацию при оформлении законченных проектных работ	**Уметь** оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	Защита курсовой работы	Да	Да
	Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при разработке конструкторско-технологической документации	Защита курсовой работы	Да	Да
	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ	Защита курсовой работы	Да	Да
ПК-1.2 Проектирует отдельные узлы и аппараты для нефтегазовой промышленности	**Уметь** оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Защита курсовой работы	Да	Да
	Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Защита курсовой работы	Да	Да
	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Защита курсовой работы	Да	Да
ПК-1.3 Знает основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли	**Знать** основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли; технологическое оборудование нефтегазового производства.	Защита курсовой работы	Да	Да
	Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин при проектировании технологических комплексов нефтегазового производства; - использовать стандартные программные средства при проектировании; - использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	Защита курсовой работы	Да	Да
	Владеть методами применения стандартных прикладных программных продуктов при моделировании процессов, происходящих в технологическом оборудовании нефтегазового производства; - навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования нефтегазового производства.	Защита курсовой работы	Да	Да

ПК-1.5 Знает основные законы и принципы расчета процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	**Владеть** навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов; - навыками расчетов процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	Защита курсовой работы	Да	Да
	Уметь выполнять инженерные расчеты аппаратов нефтегазовой отрасли; - выбирать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства; - проводить расчет процессов и параметров, определяющих работу аппарата.	Защита курсовой работы	Да	Да
	Знать принципы действия машин и аппаратов нефтегазовой отрасли; - основные закономерности протекания процессов нефтегазовой отрасли; - методы расчетов процессов и аппаратов; - современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;	Защита курсовой работы	Да	Да
Подготовка к экзамену				
ОПК-5.1 Знает нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью	**Знать** теоретические основы расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Экзамен	Да	Да
	Владеть навыками расчета на прочность оборудования, работающего под давлением	Экзамен	Да	Да
	Уметь производить подбор оптимального оборудования, работающего под давлением	Экзамен	Да	Да
ОПК-5.2 Использует стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	**Уметь** использовать стандарты, нормы и правила при проектировании и эксплуатации производственных объектов	Экзамен	Да	Да
	Знать стандарты, нормы и правила расчета сосудов и аппаратов, работающих под давлением	Экзамен	Да	Да
	Владеть навыками выбора нормы, стандартов и правила при проектировании оборудования	Экзамен	Да	Да
ПК-1.1 Применяет актуальную нормативную документацию при оформлении законченных проектных работ	**Владеть** навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ	Экзамен	Да	Да
	Знать основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при разработке конструкторско-технологической документации	Экзамен	Да	Да
	Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	Экзамен	Да	Да
ПК-1.2 Проектирует отдельные узлы и аппараты для нефтегазовой промышленности	**Знать** основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы используемые при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Экзамен	Да	Да

	Владеть навыками разработки проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Экзамен	Да	Да
	Уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам при проектирование отдельных узлов и аппаратов для нефтегазовой промышленности	Экзамен	Да	Да
ПК-1.3 Знает основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли	**Владеть** методами применения стандартных прикладных программных продуктов при моделировании процессов, происходящих в технологическом оборудовании нефтегазового производства; - навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования нефтегазового производства.	Экзамен	Да	Да
	Знать основные технологические процессы в нефтегазовой отрасли; технологическое оборудование нефтегазового производства.	Экзамен	Да	Да
	Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин при проектировании технологических комплексов нефтегазового производства; - использовать стандартные программные средства при проектировании; - использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	Экзамен	Да	Да
ПК-1.5 Знает основные законы и принципы расчета процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	**Знать** принципы действия машин и аппаратов нефтегазовой отрасли; - основные закономерности протекания процессов нефтегазовой отрасли; - методы расчетов процессов и аппаратов; - современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;	Экзамен	Да	Да
	Владеть навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов; - навыками расчетов процессов и аппаратов нефтегазовой отрасли	Экзамен	Да	Да
	Уметь выполнять инженерные расчеты аппаратов нефтегазовой отрасли; - выбирать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства; - проводить расчет процессов и параметров, определяющих работу аппарата.	Экзамен	Да	Да

Перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Чугуны.
2. Углеродистые и легированные стали.
3. Цветные металлы и их сплавы.
4. Неметаллические материалы.
5. Рабочие, расчетные и пробные давления. Расчетные температуры.
6. Оценка влияния коррозии, прибавки к номинальным расчетным толщинам.
7. Коэффициент прочности сварных соединений.
8. Выбор допускаемых напряжений.
9. Основы расчета на прочность тонкостенных оболочек вращения.
10. Вывод уравнения равновесия элемента (уравнение Лапласа).
11. Дифференциальное уравнение моментной теории оболочек.
12. Алгоритмы решения краевой задачи. Учет краевых сил и моментов.
13. Расчет на прочность тонкостенной цилиндрической оболочки по 1 и 4 теориям прочности.
14. Полушаровые, сферические неотбортованные днища, сферические отбортованные (торовые) днища. Расчет на прочность.
15. Эллиптические днища. Плоские днища и крышки. Расчет на прочность.
16. Конические днища. Расчет конических днищ по ГОСТ.
17. Понятие о критическом давлении. Расчет длинных и коротких цилиндров, нагруженных внешним давлением.
18. Назначение колец жесткости. Расчет колец жесткости.
19. Цилиндрические оболочки, нагруженные осевой сжимающей силой и изгибающим моментом.
20. Расчет сферических, эллиптических и конических днищ под наружным давлением.
21. Анализ напряжений, возникающих в толстостенных оболочках от давления среды.
22. Температурные напряжения в аппаратах высокого давления.
23. Конструкции толстостенных аппаратов.
24. Способы укрепления отверстий. Расчет укреплений отверстий.
25. Фланцевые соединения. Расчет фланцев. Выбор прокладочного материала.
26. Типы горизонтальных опор. Рекомендации по расчету горизонтальных опор.

Ниже представлена примерная структура билета:

Минобрнауки России

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра МОНХП

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

по дисциплине *Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением*

Направление 15.03.02 "Технологические машины и оборудование", профиль "Оборудование нефтегазопереработки"

1 Рабочие, расчетные и пробные давления. Расчетные температуры.

2 Назначение колец жесткости. Расчет колец жесткости.

Составил_____ Д.А. Крючков Утверждаю: зав. кафедрой МОНХП _____ С.Б. Коныгин

«____»_____ 20 г.

Примеры заданий для выполнения контрольных работ.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

«Механический расчет аппарата, работающего под внутренним избыто

Задания на контрольную работу: сделать эскиз аппарата, определить толщину цилиндрической оболоч
напряжения в оболочке и днищах при рабочих условиях, определить значения пробного давления и давл

Вариант	Материал	Рабочее давление, кгс/см^2 (абс.)	Рабочая температура, °С	Диаметр, мм	Высота цилиндрической части, м	Верхнее днище	Ниж дн
1	09Г2С	10	40	600	5	Эллиптическое	Полуш
2	16ГС	5	360	1200	10	Полушаровое	Эллипт
3	Ст3	4	370	2000	15	Полушаровое	Кони
4	16ГС	15	260	1800	12	Полушаровое	Эллипт
5	09Г2С	25	280	2200	17	Эллиптическое	Полуш
6	Ст3	40	120	800	18	Эллиптическое	Кони
7	16ГС	45	130	1000	25	Полушаровое	Эллипт
8	09Г2С	12	170	1200	30	Эллиптическое	Кони
9	Ст3	17	190	1400	7	Полушаровое	Эллипт
10	16ГС	23	210	2000	4	Эллиптическое	Кони
11	09Г2С	7	240	4000	22	Полушаровое	Эллипт
12	Ст3	5	225	1600	18	Эллиптическое	Кони
13	16ГС	50	115	1400	18	Полушаровое	Эллипт
14	Ст3	25	320	400	13	Эллиптическое	Кони
15	09Г2С	20	310	600	15	Полушаровое	Кони
16	Ст3	60	290	1000	15	Полушаровое	Эллипт
17	16ГС	75	280	1000	8	Эллиптическое	Кони
18	09Г2С	4	220	1200	9	Полушаровое	Эллипт
19	Ст3	6	240	1400	10	Эллиптическое	Кони
20	09Г2С	35	120	2000	18	Полушаровое	Эллипт
21	16ГС	22	190	1800	22	Полушаровое	Эллипт
22	Ст3	18	180	1200	25	Полушаровое	Кони
23	09Г2С	13	130	1000	14	Полушаровое	Эллипт
24	16ГС	42	220	800	15	Эллиптическое	Кони
25	Ст3	15	255	600	14	Полушаровое	Эллипт

Примерные вопросы для подготовки к отчету по лабораторной работе

Перечень лабораторных работ, а так же вопросы для подготовке к отчету по лабораторным работам представлены в:

Коныгин С.Б., Григорян Л.Г., Кац Н.Г., Игнатенков Ю.И., Крючков Д.А, Коноваленко Д.В. Конструирование и расчет оборудования отрасли: Лабораторный практикум. Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2015. 25 с.

Лабораторная работа №1.

1. Как распределены механические напряжения в эллиптическом днище?
2. Чем объясняется наличие краевых напряжений?
3. Объясните назначение отбортовки днищ.
4. Как объяснить эпюру экспериментальных напряжений?

Лабораторная работа №2.

1. Как влияет изгибающий момент на меридиональные и кольцевые напряжения в колонне?
2. Как зависит величина механических напряжений от координаты приложения изгибающей силы?
3. Какие участки корпуса колонны будут подвержены растяжению, а какие сжатию?
4. Какой вид нагрузки (давление или изгибающая сила) вносит больший вклад в величину механических напряжений в корпусе колонны?
5. Как зависит величина механических напряжений от размеров колонного аппарата?

Пример задания на курсовую работа.

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой МОНХП
_____
"__"_____201_ г.

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу по дисциплине
"Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением "

Трехфазный сепаратор

Назначение: Разделение газо-жидкостной смеси

Описание конструкции. Эскиз трехфазного сепаратора представлен на рисунке 1. Трёхфазный сепаратор представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат диаметром D устанавливаемый на двух седловых опорах, оснащенный штуцерами для входа эмульсии, выхода нефти, выхода воды и выхода газа, необходимыми технологическими штуцерами и штуцерами для КИПиА. Назначение штуцеров представлено в таблице 1.

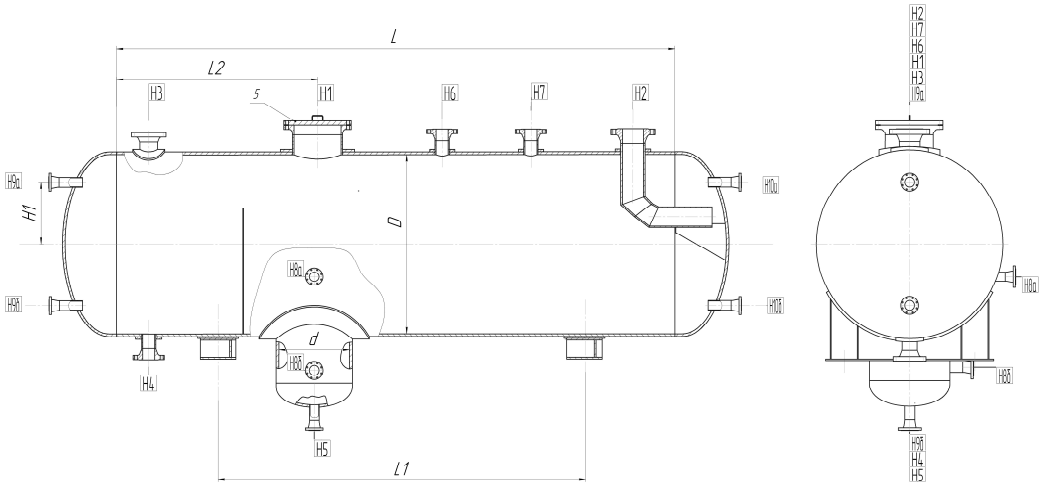


Рисунок 1.

Таблица 1 – Назначение штуцеров колонны.

Штуцер	Назначение
Н1	Люк-лаз
Н2	Вход эмульсии
Н3	Выход газа
Н4	Выход нефти
Н5	Выход воды
Н6	Воздушник
Н7	Для замера давления
Н8а,б	Для замера уровня воды
Н9а,б	Для замера уровня нефти
Н10а,б	Для замера уровня нефти

В записке должны присутствовать:

1. Чертеж общего вида аппарата на формате А-4.
2. Схемы укрепления отверстий.
3. Схема размещения опоры.

Указания к выполнению работы. Значения исходных величин для сепаратора представлены в таблице 2. Выполнить эскиз сепаратора в соответствии с заданием. Провести механические расчеты по вариантам, представленным в таблице 3. Работу оформить в соответствии с требованиями по оформлению текстовых учебных документов кафедры МОНХП. Записка должна содержать:

1. Титульный лист
2. Реферат
3. Содержание
4. Введение
5. Основную часть
6. Заключение
7. Список использованной литературы

Таблица 2 – Исходные данные для расчетов трехфазного сепаратора.

Параметр	Обозн.	Единицы измерения	Варианты значений			
			А	Б	В	Г
Диаметр аппарата	D	мм	2000	2500	3000	3500
Диаметр сборника воды	d	мм	800	900	1000	1200
Длинна цилиндрической части	L	мм	6000	8000	10000	12000
Расстояние между опорами	L_1	мм	4000	5500	7000	8500
Расстояние до люка лаза	L_2	мм	2000	3000	4000	5000
Расстояние до уровнемера	H_1	мм	700	900	1200	1400
Диаметр штуцера Н1	d_{H1}	мм	500	550	600	650
Диаметр штуцера Н2	d_{H2}	мм	300	350	400	450
Диаметр штуцера Н3	d_{H3}	мм	600	700	800	1000
Диаметр штуцера Н4	d_{H4}	мм	300	350	400	450
Диаметр штуцера Н5	d_{H5}	мм	150	200	250	300
Диаметр штуцера Н6	d_{H6}	мм	50	50	50	50
Диаметр штуцера Н7	d_{H7}	мм	50	50	50	50
Диаметр штуцера Н8	d_{H8}	мм	50	50	50	50
Диаметр штуцера Н9	d_{H9}	мм	50	50	50	50
Диаметр штуцера Н10	d_{H10}	мм	50	50	50	5
Материал корпуса			16ГС	Ст3	09Г2С	17ГС
Прибавка на коррозию	c	мм	2	3	1	4
Температура в сепараторе	T	°C	80	110	50	90
Давление в сепараторе	P	кгс/см^2	4,0	3,5	3,0	6

Таблица 3 – Варианты расчетов трехфазного сепаратора.

Вариант	Требуемые расчеты
I	Толщина всех цилиндрических обечаек и днищ, расчёт толщины плоской крышки люка-лаза, проведение гидроиспытаний, укрепление штуцеров Н1 и Н9, расчет и выбор опоры аппарата.
II	Толщина всех цилиндрических обечаек и днищ, расчёт толщины плоской крышки люка-лаза, проведение гидроиспытаний, укрепление штуцера Н9 и обечайки диаметром d, расчет и выбор опоры аппарата.
III	Толщина всех цилиндрических обечаек и днищ, расчёт толщины плоской крышки люка-лаза, проведение гидроиспытаний, укрепление штуцеров Н3 и Н9, расчет и выбор опоры аппарата.
IV	Толщина всех цилиндрических обечаек и днищ, расчёт толщины плоской крышки люка-лаза, проведение гидроиспытаний, укрепление штуцеров Н2 и Н9, расчет и выбор опоры аппарата.

Принял студент: _____ _____

Выдал: доцент к.т.н. Крючков Д.А _____

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

Д.А. КРЮЧКОВ, С.Б. КОНЫГИН,
Д.В. КОНОВАЛЕНКО, Л.Г. ГРИГОРЯН,
Н.Г. КАЦ, Ю.И. ИГНАТЕНКОВ

Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением

Лабораторный практикум

Самара
Самарский государственный технический университет
2020

УДК 621.01 – 66.05

Крючков Д.А, Коныгин С.Б., Коноваленко Д.В, Григорян Л.Г., Кац Н.Г., Игнатенков Ю.И.

Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением: Лабораторный практикум. Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2017. 25 с.

Рассмотрены вопросы теоретических расчетов и экспериментальных измерений механических нагрузок, возникающих в элементах конструкций нефтегазового оборудования.

Рекомендуется для студентов дневной, заочной и дистанционной форм обучения по направлению "Технологические машины и оборудование" и специальности "Оборудование нефтегазопереработки" и "Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов".

Ил. 10. Табл. 4. Библиогр.: 7 назв.

Печатается по решению методического совета нефтетехнологического факультета Самарского государственного технического университета

Рецензент: к.х.н., доцент Смирнов Б.Ю.

© Д.А. Крючков, С.Б. Коныгин, Д.В. Коноваленко, Л.Г. Григорян, Н.Г. Кац, Ю.И. Игнатенков, 2020
© Самарский государственный технический университет, 2020

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ТЕНЗОСТАНЦИИ

Теоретические основы.

Для экспериментального исследования напряжений и деформаций, возникающих в конструкциях нефтегазового оборудования, широко используется тензорезистивный метод. В этом случае на поверхность исследуемого элемента наклеиваются тензорезисторы – резисторы, у которых сопротивление изменяется при их деформации. Изменение сопротивления резистора связано с деформацией по следующей формуле

$$\frac{\Delta R_m}{R_m} = K \frac{\Delta L}{L}, \qquad (1)$$

где ΔR_m – изменение сопротивления тензодатчика,

R_m – исходное сопротивление тензодатчика,

K – коэффициент тензочувствительности,

ΔL – абсолютная деформация,

L – исходная длина тензорезистора.

Для измерения изменений сопротивления часто используется мостовая схема, приведенная на рисунке 1. Измерительный мост имеет четыре плеча R_1, R_2, R_3 и R_m. На измерительный мост подается напряжение U. При выполнении условия

$$R_m R_2 = R_1 R_3 \qquad (2)$$

мост является сбалансированным, и выходное напряжение $\Delta U = 0$. При деформации элемента конструкции значение R_m изменяется, баланс моста нарушается и появляется выходное напряжение ΔU.

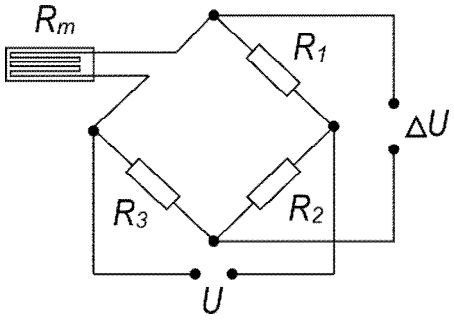


Рис. 1. Измерительная мостовая схема "четверть моста".

Цель работы.

Целью работы является изучение студентами принципа тензометрических измерений механических напряжений, возникающих в элементах конструкций нефтегазового оборудования.

Описание лабораторной установки.

Для проведения описанных измерений использована тензостанция МС-212 (производитель ООО НПП "Мера"), приведенная на рисунке 2. К измерительным разъемам тензостанции подключаются тензодатчики, установленные на исследуемых элементах конструкции. Результаты измерений передаются с тензостанции на компьютер, оснащенный специализированной программой "Recorder".



Рис.2. Тензостанция МС-212 с персональным компьютером.

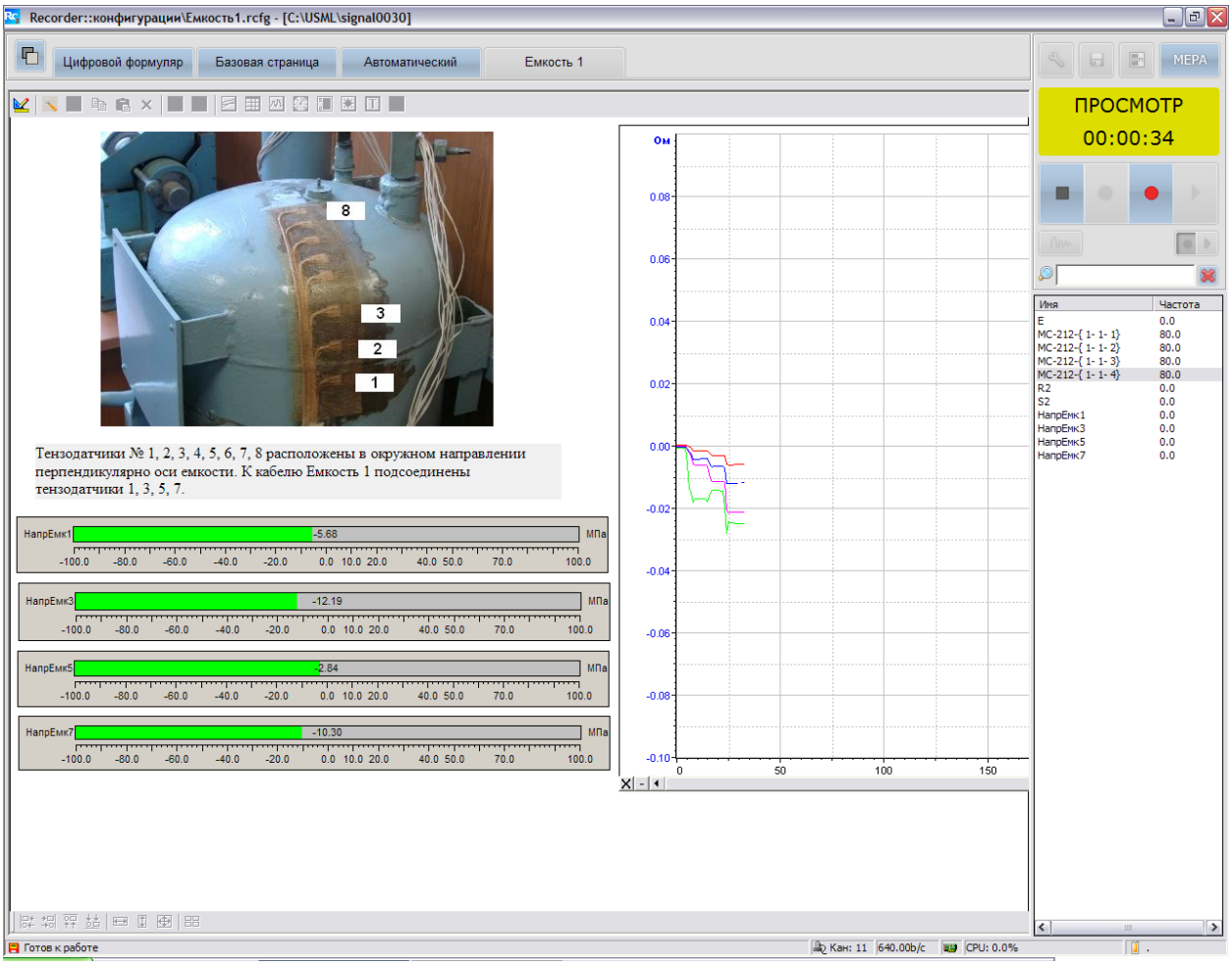


Рис.3. Окно программы "Recorder" для работы с тензостанцией.

Основное окно программы "Recorder" приведено на рисунке 3. Загрузка нужной конфигурации системы проводится нажатием на кнопку "МЕРА" в верней правой части экрана и выбором пункта "Загрузить конфигурацию". Балансировка каналов перед началом измерения производится поочередно двойным щелчком на названии канала в списке (правая часть экрана, каналы обозначены выражением вида МС-212-{1-1-1}). После чего появляется окно, приведенное на рисунке 4. Здесь необходимо нажать на кнопку "Балансировка нуля", дождаться окончания процесса и нажать кнопку "ОК".

После завершения балансировки каналов можно начать процесс измерения, нажав на кнопку запуска (кнопка с желтым кружком в правой верхней части экрана). При этом значения механических напряжений будут отображаться на соответствующих полях на

экране (как в виде индикаторов, так и в виде графиков). Для остановки измерений необходимо нажать кнопку остановки (кнопка с серым квадратом в верхней правой части экрана).

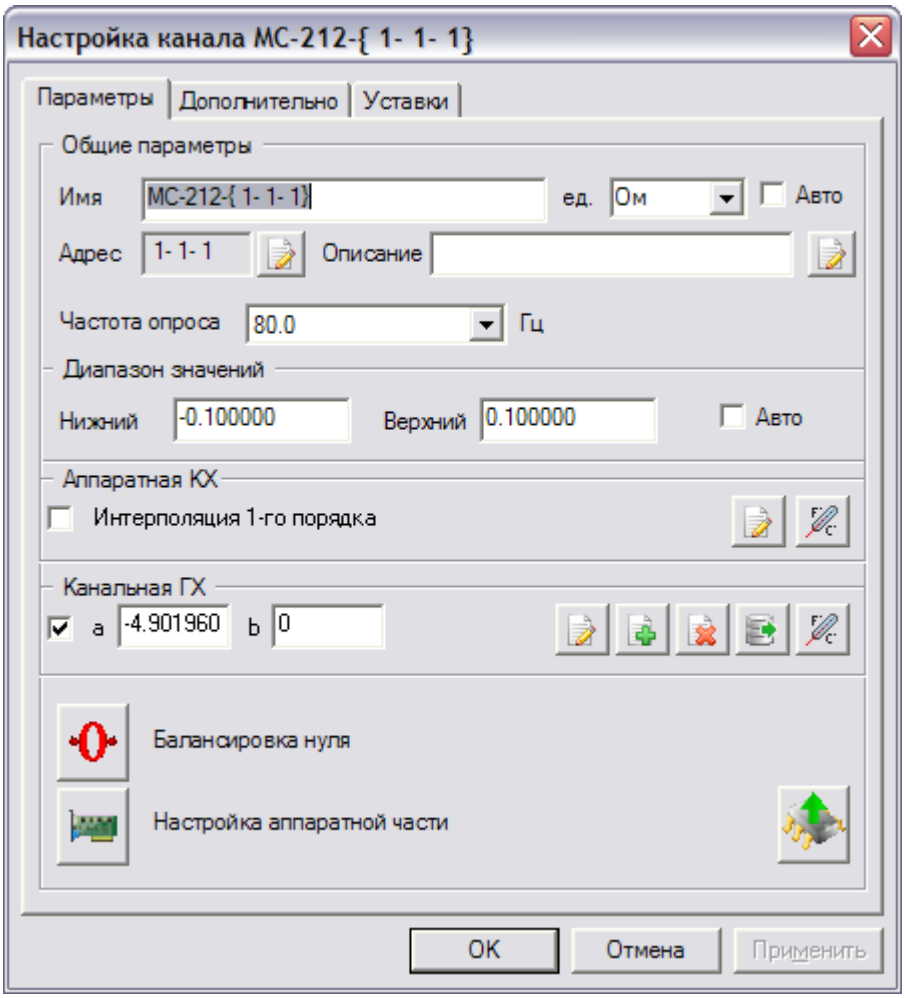


Рис.4. Окно настройки канала тензостанции.

В данной лабораторной работе с помощью тензорезистивного метода исследуется простейшая стальная консольная балка, работающая на изгиб (рисунок 5). Основные геометрические размеры исследуемой балки приведены на рисунке 6. Балка нагружается путем подвешивания груза на крючок, расположенный на ее свободном конце. На поверхности балки наклеен тензодатчик, который регистрирует возникающие механические напряжения.



Рис. 5. Лабораторная установка для исследования механических напряжений в балке.

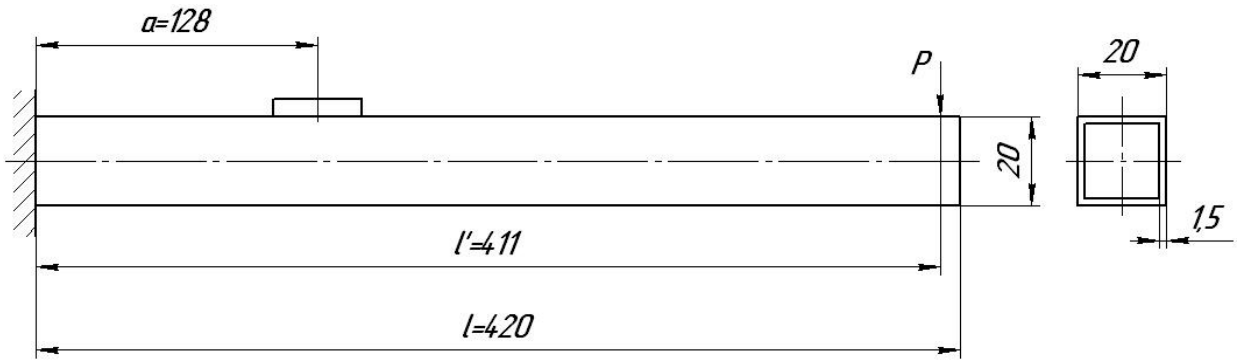


Рис. 6. Основные размеры исследуемой балки.

Изгибающий момент в месте установки тензодатчика определяется по формуле

$$M = mg(l' - a), \tag{3}$$

где m – масса груза,

g – ускорение силы тяжести,

l' – расстояние от заделки до места подвеса груза,

a – координата тензодатчика.

Момент инерции сечения балки равен

$$I = \frac{b^4}{12} - \frac{(b - 2d)^4}{12}, \tag{4}$$

где b – ширина балки,

d – толщина металла.

Максимальные механические напряжения в точке установки тензодатчика равны

$$\sigma_m = \frac{Mb}{2I}. \qquad (5)$$

Порядок выполнения работы.

1. Получить у преподавателя массы грузов для нагружения балки.
2. По формулам (3) – (5) рассчитать теоретические значения напряжений в балке. Результаты расчетов свести в таблицу 1.
3. К выключенной тензостанции подключить разъем от балки.
4. Включить тензостанцию и компьютер. Дать тензостанции прогреться в течении 5 – 10 минут.
5. Запустить программу "Recorder".
6. Загрузить конфигурацию "Балка.cfg".
7. Без нагружения балки произвести балансировку каналов тензостанции.
8. Запустить процесс измерения механических напряжений.
9. Поочередно нагружая балку грузами, измерить экспериментальные значения механических напряжений $\sigma_э$. Результаты измерений свести в таблицу 1.
10. Снять нагрузку с балки, выключить тензостанцию и компьютер, отсоединить измерительный разъем от тензостанции.
11. Вычислить относительную погрешность по формуле

$$\delta = \frac{\sigma_m - \sigma_э}{\sigma_m} \cdot 100\%. \qquad (6)$$

12. Сделать выводы по работе. Объяснить причины расхождения теоретических и экспериментальных данных.

Таблица 1

Результаты исследований механических напряжений в балке

Номер эксперимента	Теоретическое значение σ_m, МПа	Экспериментальное значение $\sigma_э$, МПа	Относительная погрешность δ, %
1			
2			
3			
4			
5			

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать: краткие сведения о тензорезистивном методе, порядок выполнения работы, результаты расчетов и измерений, выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается принцип тензорезистивного метода?
2. Что такое коэффициент тензочувствительности?
3. Как работает измерительный мост?
4. Для чего производится балансировка нуля тензостанции?
5. Выведите формулу для расчета механических напряжений в балке.
6. Как изменятся показания тензодатчика, если он будет наклеен с другой стороны балки?
7. Как изменятся показания тензодатчика, если он будет наклеен ближе к заделке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ДНИЩА И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБЕЧАЙКИ

Тонкостенные оболочки в виде цилиндров, шаровых сегментов, эллипсоидов вращения и подобного типа широко применяются в аппаратостроении. Корпуса аппаратов состоят из соединенных между собой элементов оболочек вращения и пластин.

Для упрощения расчетов напряженное состояние тонких оболочек принимается двухосным, что вполне допустимо ввиду малой величины радиальных напряжений, возникающих в тонкостенных оболочках, у которых отношение толщины к радиусу не превышает 0,05.

Рассмотрим уравнение равновесия элемента *abcd* оболочки (рис. 1,2), выделенного двумя меридиональными и нормальными к ним сечениями. Обозначим первый главный радиус кривизны (радиус кривизны меридиана) через R_1, а второй главный радиус кривизны (радиус кривизны сечения, перпендикулярного меридиану) через R_2.

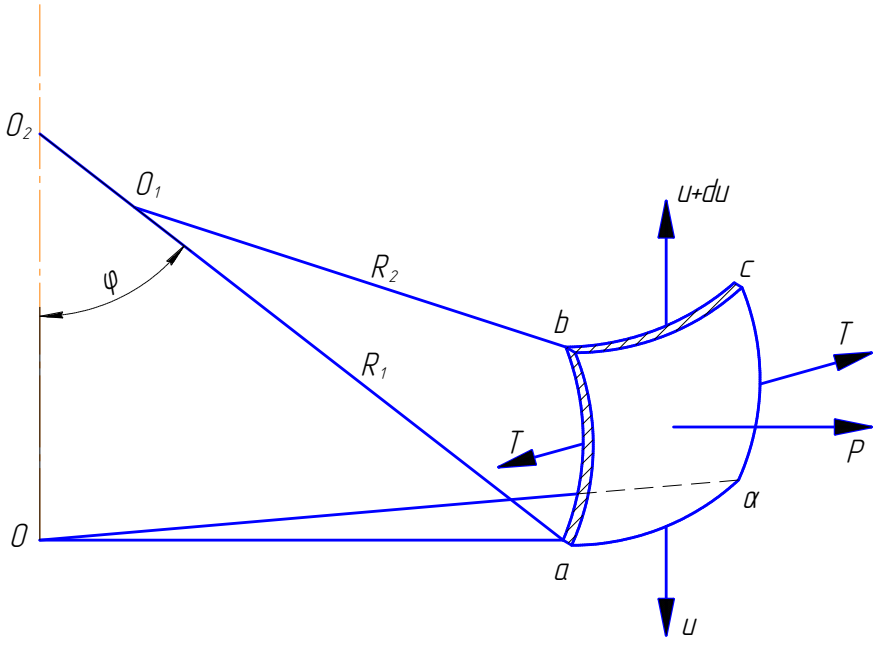


Рис.1. К выводу равновесия элементов.

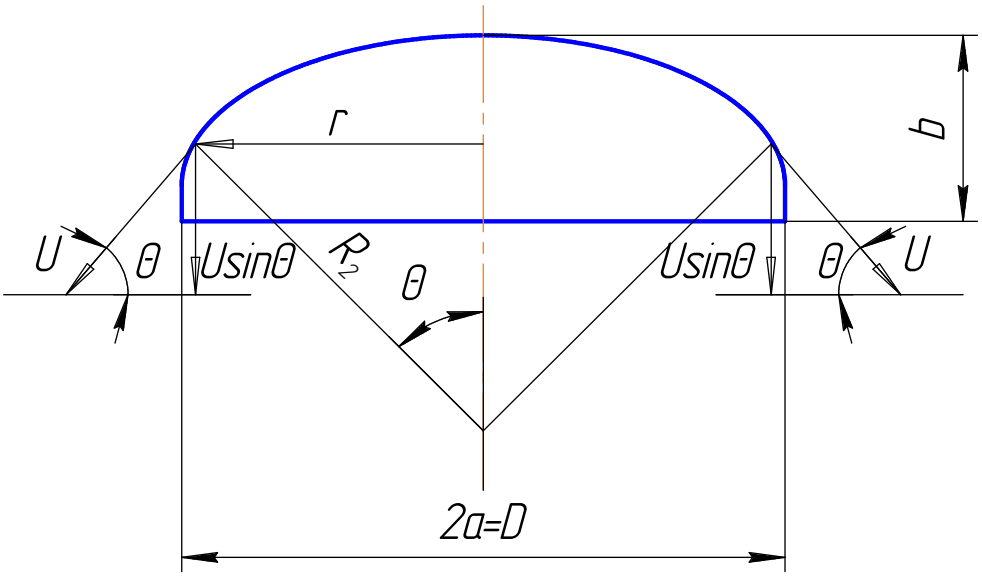


Рис.2. К выводу уравнения равновесия зоны.

Составляя уравнение равновесия всех сил, действующих на выделенный элемент, после тождественных преобразований можно получить уравнение Лапласа:

$$\frac{U}{R_1}+\frac{T}{R_2}=P, \text{ или } \frac{\sigma_м}{R_1}+\frac{\sigma_к}{R_2}=\frac{p}{s}, \qquad (1)$$

где $\sigma_к$, $\sigma_м$ – соответственно кольцевые и меридиональные напряжения, кгс/см^2; p – внутреннее давление кгс/см^2; s – толщина стенки.

Уравнение (1) содержит две неизвестные величины $\sigma_к$ и $\sigma_м$, следовательно, для их определения требуется еще одно уравнение. Для оболочек вращения таким уравнением является уравнение равновесия части оболочки, рассеченной плоскостью, перпендикулярной оси вращения:

$$Q = U_2 \pi r \sin\theta = U_2 \pi R_2 \sin^2\theta$$

или

$$\sigma_м = \frac{Q}{2\pi R_2 s \sin^2\theta},$$

где $Q=\pi r^2 p$ – внешняя нагрузка; $U\sin\theta$ – равнодействующая внутренних меридиональных сил.

Для цилиндрической оболочки с $R_1 \to \infty$ и $R_2 = R$

$$\sigma_м = \frac{pR}{2s}, \tag{3}$$

$$\sigma_к = \frac{pR}{s}. \tag{4}$$

откуда

$$\sigma_к = 2\sigma_м.$$

Для эллиптической оболочки уравнение (2) примет вид

$$U = \frac{\pi r^2 p}{2\pi R_2 s \sin^2\theta},$$

но $\sin\theta = \frac{r}{R_2}$.

Тогда

$$U = \frac{pR_2}{2}; \quad \sigma_м = \frac{pR_2}{2s}. \tag{5}$$

Подставляя выражение (5) в уравнение Лапласа, получим

$$T = U\left(2 - \frac{R_2}{R_1}\right);$$

$$\sigma_к = \frac{T}{s} = \frac{U}{s}\left(2 - \frac{R_2}{R_1}\right). \tag{6}$$

Главные радиусы кривизны оболочки определяются формулами

$$R_1 = \frac{a(1+\gamma)^{1/2}}{(1+\gamma\sin^2\theta)^{3/2}}; \qquad R_2 = \frac{a(1+\gamma)^{1/2}}{(1+\gamma\sin^2\theta)^{1/2}};$$

$$\gamma = \frac{a^2 - b^2}{b^2}. \tag{7}$$

Для стандартных эллиптических днищ $\frac{b}{2a} = 0{,}25$ и $\gamma = 3$.

При этом выражения для R_1 и R_2 могут быть упрощены

$$R_1 = \frac{2a}{(1+3\sin^2\theta)^{3/2}}; \quad R_2 = \frac{2a}{(1+3\sin^2\theta)^{1/2}}. \tag{8}$$

Следует отметить, что в месте сопряжения цилиндрической обечайки и эллиптического днища возникают краевые силы и краевые моменты, вызывающие напряжения. Расчет этих напряжений производят по методикам, описанным в литературе [3].

Цель работы.

Целью работы является изучение краевых напряжений, возникающих при сопряжении эллиптического днища и цилиндрической обечайки.

Описание лабораторной установки.

Основным элементом установки (рис. 3) является стальной сосуд, представляющий собой цилиндрическую обечайку D = 400 мм (поз. 1), и два эллиптических днища (поз. 2, 5) толщиной s = 4 мм.

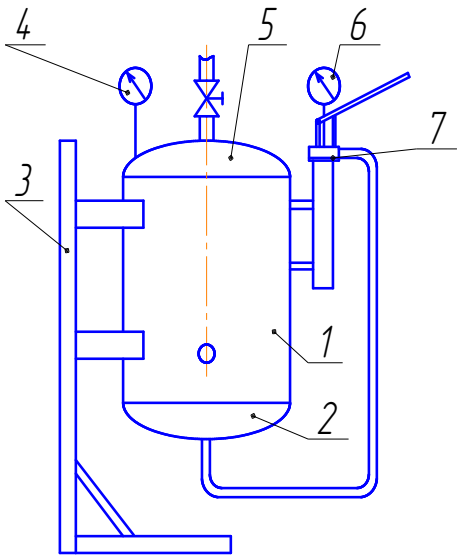


Рис. 3. Схема лабораторной установки.

Сосуд установлен на раме 3. Внутреннее давление создается насосом 6,7 и измеряется манометром 4. В результате действия давления в материале днищ возникают деформации, которые фиксируются тензодатчиками.

Порядок выполнения работы.

1. Получить у преподавателя значения внутреннего давления.
2. По формулам (3) – (6) рассчитать теоретические значения механических напряжений в эллиптическом днище и цилиндрической обечайки. Результаты расчетов свести в таблицу 1.
3. Включить компьютер.
4. К выключенной тензостанции подключить первый разъем от тензодатчиков емкости.
4. Включить тензостанцию. Дать тензостанции прогреться в течении 5 – 10 минут.
6. Запустить программу "Recorder".
7. Загрузить конфигурацию "Сопряжение-1.cfg".
8. Без нагружения емкости произвести балансировку каналов тензостанции.
9. Запустить процесс измерения механических напряжений.
10. Повышая внутреннее давление в емкости до указанных преподавателем значений, измерить экспериментальные значения механических напряжений в днище σ. Результаты измерений свести в таблицу 1.
11. Сбросить давление, выключить тензостанцию, закрыть программу "Recorder".
12. К выключенной тензостанции подключить второй разъем от тензодатчиков емкости.
13. Включить тензостанцию.
14. Запустить программу "Recorder".
15. Загрузить конфигурацию "Сопряжение-2.cfg".
16. Без нагружения емкости произвести балансировку каналов тензостанции.
17. Запустить процесс измерения механических напряжений.
18. Повышая внутреннее давление в емкости до указанных преподавателем значений, измерить экспериментальные значения

механических напряжений в днище σ. Результаты измерений свести в таблицу 1.

19. Сбросить давление, выключить тензостанцию, закрыть программу "Recorder". Выключить компьютер.

20. Отсоединить измерительный разъем от тензостанции.

21. Построить эпюру краевых напряжений. Сделать выводы по работе.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать: краткие теоретические сведения, порядок выполнения работы, результаты расчетов и измерений, выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Как распределены механические напряжения в эллиптическом днище?
2. Чем объясняется наличие краевых напряжений?
3. Объясните назначение отбортовки днищ.
4. Как объяснить эпюру экспериментальных напряжений?

Таблица 1

Результаты расчетов и экспериментов

№ п/п	Давление p, кгс/см^2	Напряжения в обечайке, МПа		Напряжения в днище, МПа		Экспериментальные напряжения σ, МПа
		$\sigma_м$	$\sigma_к$	$\sigma_м$	$\sigma_к$	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В КОРПУСЕ КОЛОННЫ РЕКТИФИКАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА

Теоретические основы.

Внутреннее давление и ветровой изгибающий момент относятся к основным видам нагрузок на колонные аппараты. В соответствии с уравнением Лапласа главные механические напряжения могут быть определены по формулам

$$\sigma_к = \frac{pR}{s}; \qquad \sigma_м = \frac{pR}{2s}. \tag{1}$$

где $\sigma_м$ и $\sigma_к$ – меридиональные и кольцевые напряжения соответственно;

R – радиус колонны;

s – толщина стенки колонны;

p – внутреннее давление.

Дополнительные механические напряжения, возникающие от изгиба в плоскости изгибающего момента, могут быть определены по формуле

$$\sigma_{м.изг.} = \frac{M}{W}. \tag{2}$$

Величина изгибающего момента определяется силой F и расстоянием x от места ее приложения до рассматриваемой точки

$$M = Fx. \tag{3}$$

Момент сопротивления аппарата может быть определен с помощью выражения

$$W = \frac{\pi}{32} D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right), \tag{4}$$

где D и d – наружный и внутренний диаметры колонны.

При одновременном воздействии на колонну внутреннего давления и изгибающего момента напряжения в любом сечении могут быть рассчитаны с помощью формул

$$\sigma_к = \frac{pR}{s}, \qquad \sigma_м = \frac{pR}{2s} \pm \frac{Fx}{\frac{\pi}{32} D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}. \tag{5}$$

Знаки "+" и "–" в уравнении (5) для меридиональных напряжений соответствуют сторонам аппарата, подверженным растяжению и сжатию от изгибающей нагрузки.

Цель работы.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное определение главных напряжений в корпусе ректификационной колонны при различных значениях внутреннего давления и изгибающего момента.

Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка (рис. 1) представляет собой уменьшенную модель реальной ректификационной колонны. Для удобства создания лабораторного стенда колонна перевернута на 180° (крепление вверху на кронштейне).

Установка состоит из колонного аппарата, системы создания внутреннего давления (включающей резервуар для масла, нагнетатель, запорный вентиль, масляные магистрали), системы создания изгибающего момента, тензодатчиков меридиональных и кольцевых напряжений, тензостанции. Для индикации создаваемого внутреннего давления установлен манометр.

Внимание! Запрещается поднимать давление свыше 30 кгс/см^2 и создавать изгибающее усилие свыше 150 кг (0,2 мм по шкале прибора).

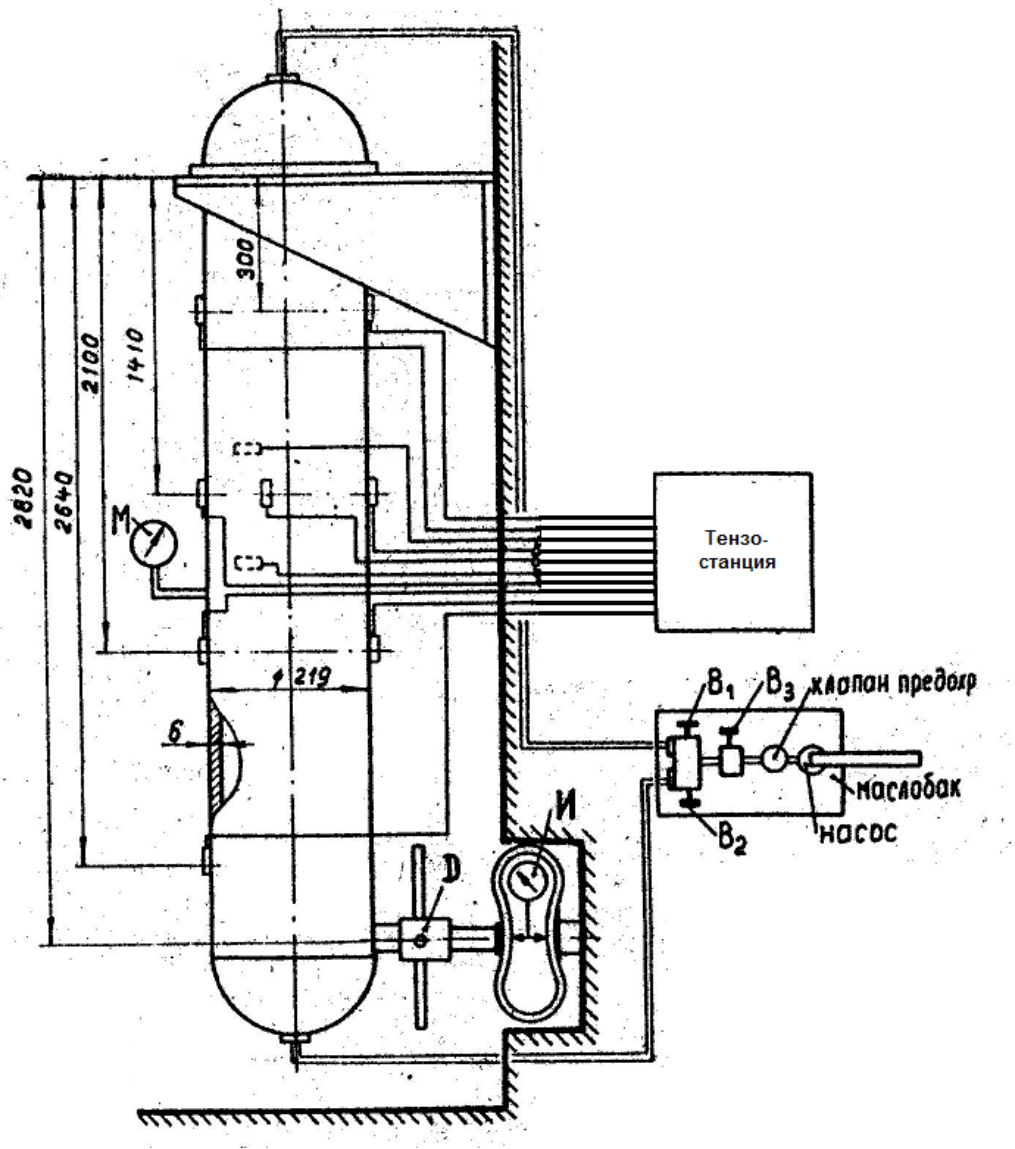


Рис.1. Лабораторная установка.

Порядок выполнения работы.

1. Получить у преподавателя значения внутреннего давления и изгибающей силы.
2. По формулам (5) рассчитать теоретические значения меридиональных и кольцевых напряжений. Результаты расчетов свести в таблицу 2.
3. Включить компьютер.
4. К выключенной тензостанции подключить первый разъем от тензодатчиков колонны.

4. Включить тензостанцию. Дать тензостанции прогреться в течении 5 – 10 минут.

6. Запустить программу "Recorder".

7. Загрузить конфигурацию "Колонна–1.cfg".

8. Без нагружения колонны произвести балансировку каналов тензостанции.

9. Запустить процесс измерения механических напряжений.

10. Повысить внутреннее давление до указанного преподавателем значения.

11. Создать изгибающую силу, указанную преподавателем. Измерить экспериментальные значения механических напряжений $\sigma_к$. Результаты измерений свести в таблицу 2.

Таблица 1

Зависимость изгибающего усилия от деформации домкратом

F, мм	0,05	0,1	0,15	0,2
F, кгс	37,5	75	112,5	150

12. Повторить измерения для других значений давления и силы.

13. Сбросить давление, выключить тензостанцию, закрыть программу "Recorder".

14. Отсоединить измерительный разъем от тензостанции и подключить второй.

15. Включить тензостанцию. Запустить программу "Recorder".

16. Загрузить конфигурацию "Колонна–2.cfg".

17. Без нагружения колонны произвести балансировку каналов тензостанции.

18. Запустить процесс измерения механических напряжений.

19. Повысить внутреннее давление до указанного преподавателем значения.

20. Создать изгибающую силу, указанную преподавателем. Измерить экспериментальные значения механических напряжений $\sigma_м$. Результаты измерений свести в таблицу 2.
21. Повторить измерения для других значений давления и силы.
22. Сбросить давление, выключить тензостанцию, закрыть программу "Recorder". Выключить компьютер.
23. Отсоединить измерительный разъем от тензостанции.
24. Сделать выводы по работе. Объяснить причины расхождения теоретических и экспериментальных данных.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать: краткие теоретические сведения, порядок выполнения работы, результаты расчетов и измерений, выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Как влияет изгибающий момент на меридиональные и кольцевые напряжения в колонне?
2. Как зависит величина механических напряжений от координаты приложения изгибающей силы?
3. Какие участки корпуса колонны будут подвержены растяжению, а какие сжатию?
4. Какой вид нагрузки (давление или изгибающая сила) вносит больший вклад в величину механических напряжений в корпусе колонны?
5. Как зависит величина механических напряжений от размеров колонного аппарата?

Результаты расчетов и экспериментов

№	p, кгс/см^2	F, кгс	Расчетные значения $\sigma_м$ и $\sigma_к$, МПа				Экспериментальные значения $\sigma_м$ и $\sigma_к$, МПа			
1										
2										
3										

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Альянс, 2011. – 752 с.
2. Кантарович З.Б. Основы расчет химических машин и аппаратов. – М.: Машгиз, 1960.
3. ГОСТ Р 52857.2 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
4. Кондратьева Т. Ф. Предохранительные клапаны. — Л.: Машгиз,1976.
5. Водяник В. И. Предохранительные устройства для защиты химического оборудования. — М.: Химия, 1975.
6. Вольмар А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	3
Лабораторная работа №2	10
Лабораторная работа №3	17
Список литературы	23

Конструирование и расчет нефтегазовых сосудов и аппаратов, работающих под давлением

Лабораторный практикум

КРЮЧКОВ Дмитрий Александрович
КОНЫГИН Сергей Борисович
КОНОВАЛЕНКО Денис Владимирович
ГРИГОРЯН Леон Гайкович
КАЦ Николай Гигорьевич
ИГНАТЕНКОВ Юрий Иосифович

Подписано в печать
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная
Тираж ___ экз.
Заказ №____

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус.