

Министерство образования и науки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

А. А. Назаров, В. А. Алексеев,
Н. С. Гришин, Р. Р. Зарипов

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ

Учебно-методическое пособие

Казань
Издательство КНИТУ
2014

УДК 66.02 (075.8)

ББК 35.11я73

Назаров А. А.

Основы расчета и конструирования химических машин и аппаратов: учебно-методическое пособие / А. А. Назаров [и др.]; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2014 – 80 с.

ISBN 978-5-7882-1563-1

Приведены программа курса, контрольные вопросы, задачи для двух контрольных работ и курсового проекта по дисциплинам «Конструирование и расчет элементов оборудования» и «Конструирование и расчет машин и аппаратов отрасли».

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 655400 (240800) «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 657300 (130600) «Оборудование и агрегаты нефтегазового производства» и по специальностям 170500(240801.65) «Машины и аппараты химических производств» и 171700(130603.65) «Оборудование нефтегазопереработки».

Подготовлено на кафедре машин и аппаратов химических производств.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национально – исследовательского технологического университета

ISBN 978-5-7882-1563-1

© Назаров А.А., Алексеев В.А., Гришин Н.С.,
Зарипов Р.Р., 2014

© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Программа курса.....	12
Раздел 1. Основы расчета на прочность тонкостенных оболочек вращения.....	12
Раздел II. Основы расчета на прочность толстостенных цилиндрических обечаек.....	14
Раздел III. Расчет на прочность элементов и узлов химической аппаратуры.....	16
Раздел IV. Критические скорости вращения валов.....	19
Вопросы к контрольной работе 1.....	23
Задачи к контрольной работе 1.....	27
Вопросы к контрольной работе №2.....	38
Задания на курсовой проект.....	41
Приложение.....	76
Литература.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Развитие химической индустрии является одной из важнейших задач современного производства. Изучение принципов расчёта и конструирования химических машин и аппаратов играет важную роль в развитии современных технологий химических производств. Курс "Основы расчёта и конструирования химических машин и аппаратов", являющийся важнейшим звеном, объединяющим общеинженерные и специальные курсы в логическую систему подготовки специалистов химических производств, за последние годы получил дальнейшее развитие.

Технологический процесс, представляет собой ряд взаимосвязанных типовых технологических стадий, протекающих в аппаратуре определённого класса. Однако высокие требования к качеству продукции, эффективности производства, снижению энерго- и материалоемкости, охране окружающей среды определили специфику аппаратурно-технологического оформления, расчёт и конструирование химических машин и аппаратов в различных отраслях народного хозяйства.

Расчёт и конструирование химических машин и аппаратов изучает принципы организации и расчета химико-технологических процессов, а также проектирования и конструирования технологической аппаратуры. Конструкция машин и аппаратов проектируется исходя из основных технических требований, предъявляемых к оборудованию, и условиям их эксплуатации: назначение и среда, технические характеристики (производительность, ёмкость, поверхность теплообмена, потребляемая мощность, частота вращения ротора и т. д.), и параметрам технологического процесса (давление и температура), а также надёжности и безопасности.

Расчёт и конструирование аппаратов в большинстве своём достаточно сложная задача и зачастую представляет собой

сочетание гидродинамических, тепловых, массообменных, биохимических и механических процессов. В освоении этого курса существенную роль играют практические занятия, целевой установкой которых является обучение студентов методике расчёта и конструирования химического оборудования, отвечающего главным критериям работоспособности: жёсткости, вибро-устойчивости, прочности, герметичности и др., путём самостоятельного выполнения контрольных заданий и курсовых проектов.

С этой целью создано настоящее учебно-методическое пособие, которое содержит краткие теоретические сведения, лежащие в основе инженерных методик расчёта, контрольные вопросы, контрольные задачи и курсовые проекты с вариантами (в виде таблиц).

Расчёты носят прикладной инженерный характер. Основное внимание уделяется выбору правильной расчётной схемы рассматриваемого элемента, учёту действительных условий работы конструкционного материала, выбору допускаемых напряжений, определению размеров поперечного сечения, удовлетворяющих критериям работоспособности, а также расчёту допускаемых нагрузок и рассмотрению других вопросов, возникающих при конструировании и проектировании химического оборудования.

В расчёте и конструировании применяются методы из следующих областей науки: высшей математики, физики, прикладной механики, технической термодинамики, физической химии (прежде всего термодинамики и кинетики) и других дисциплин.

Курс состоит из четырех разделов:

1. Основы расчета на прочность тонкостенных оболочек вращения.
2. Расчет на прочность толстостенных цилиндрических обечаек.

3. Расчет на прочность элементов и узлов химической аппаратуры.

4. Критические скорости вращения валов.

Он тесно связан с дисциплинами, которые изучались студентами ранее теоретическая механика, сопротивление материалов, детали машин, технология металлов и др.).

Студенты-заочники самостоятельно осваивают курс по учебным пособиям, рекомендуемым в программе, а также посещают обзорные лекции и консультации. Студентам рекомендуется вести краткий конспект, куда следует вносить отдельные замечания, вопросы, требующие выяснения с преподавателем.

Составление конспекта должно быть осмысленным; студент не должен ограничиваться механическим переписыванием соответствующего материала из литературы.

В рабочей программе каждый раздел содержит несколько тем. Для каждой темы указана рекомендуемая литература из списка, помещенного в конце раздела.

В соответствии с учебным планом при изучении курса каждый студент-заочник в течение семестра самостоятельно выполняет 2 контрольные работы и курсовую работу.

Первая контрольная содержит ответы на теоретические вопросы и решения задач по 1 и 2 разделам курса. Первая контрольная работа выполняется на 4 курсе в 8 семестре (июнь).

Вторая контрольная работа включает в себя ответы на теоретические вопросы по 3 и 4 разделам курса и расчетно-пояснительную часть (записку) курсовой работы с чертежом. В графической части представляется сборочный чертеж аппарата в разрезе со спецификацией или чертеж общего вида (также с разрезами) с перечнем элементов изделия, выполненные в соответствии с ЕСКД. Вторая контрольная работа и курсовая работа выполняются на 5 курсе в 9 семестре (январь).

Контрольные работы и курсовая работа выполняются студентами в течение семестра и сдаются в деканат до начала сессии¹.

Изучение курса заканчивается сдачей экзамена на 5 курсе в 9 семестре (январь) после прохождения лабораторного практикума, сдачи контрольных работ и курсовой работы (зачет).

Вариант задания на контрольные работы и курсовой проект выбираются студентом по двум признакам: начальной букве своей фамилии и последней цифре шифра, который закреплен за ним (в соответствии с табл. 1). Например, фамилия студента Домин Н.М. , шифр 127014. В табл. 1 на пересечении строки “Д” со столбцом “4” находим вариант контрольных работ – 1. Определив свой вариант контрольных работ по табл. 2 и 3 студент устанавливает, какие вопросы и задачи ему надлежит выполнить в каждой работе, а также определяет вариант курсового проекта.

К контрольным работам предъявляются следующие требования:

1) задание должно быть выполнено полностью и аккуратно оформлено;

2) не допускается дословное переписывание материала из учебной литературы;

3) расчетно-пояснительная записка может быть написана как чернилами (или пастой) от руки, аккуратно и разборчиво, так и допускается выполнение работы с применением ЭВМ;

4) не допускается использование готовых работ из всемирной сети или других источников;

5) все страницы следует пронумеровать и на каждом листе необходимо оставить с правой стороны поля не менее 25-30 мм для замечаний рецензента;

¹ Прием заканчивается в конце 1 недели со дня начала занятий по расписанию.

6) необходимые схемы и чертежи должны выполняться четко, с использованием чертежных принадлежностей;

7) титульный лист каждой работы заполняется в точном соответствии с формой, указанной в приложении; на первой странице необходимо указать вариант контрольной работы и его содержание, в конце работы приводится список использованной литературы;

8) каждая выполненная работа в конце обязательно подписывается студентом с указанием даты ее выполнения;

9) работ, оформленные с нарушением перечисленных требований, к рассмотрению не принимаются.

Таблица 1 **Варианты контрольных заданий**

Начальная буква фамилии студента	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	4	30	7	8	2	1	3	25	23	5
Б	9	24	22	14	18	13	21	26	27	6
В	11	20	29	12	28	17	15	16	19	10
Г	5	27	16	23	26	15	25	21	17	19
Д	6	3	13	28	1	18	12	2	14	29
Е	8	22	20	7	24	11	30	10	4	9
Ж	9	4	10	30	11	24	7	20	22	8
З	29	14	2	12	18	1	28	13	3	6
И	19	17	21	25	15	26	23	16	27	5
К	10	19	16	15	17	28	12	29	20	11
Л	6	27	1	21	13	18	14	22	24	9
М	5	23	25	3	1	2	8	2	30	4
Н	10	4	9	11	5	6	22	9	8	6

Продолжение

Начальная буква фамилии студента	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
О	19	30	14	20	27	3	23	4	22	27
П	16	2	8	29	16	13	7	10	20	26
Р	15	8	14	12	23	28	24	30	7	5
С	17	2	18	28	26	1	10	11	24	13
Т	28	1	13	17	15	18	30	24	3	18
У	12	3	21	15	25	12	11	7	30	14
Ф	29	25	26	16	21	2	4	25	10	22
Х	20	23	27	19	17	14	9	22	4	24
Ц	11	5	6	10	19	29	5	8	9	1
Ч	29	4	20	28	26	17	21	25	3	16
Ш	27	13	7	3	1	13	29	24	4	12
Щ	7	26	12	14	25	2	16	19	6	11
Э	23	5	28	8	26	10	29	30	27	18
Ю	6	13	17	19	16	20	22	24	26	16
Я	27	18	16	9	21	13	7	20	21	17

Таблица 1

Контрольная работа 1

№ варианта	№ вопросов, входящих в вариант	№ задач, входящих в вариант
1	I-9, II-9	A-2а, Б-5г
2	I-2, II-5	A-1б, Б-3в
3	I-5, II-2	A-2б, Б-4б

Продолжение

№ варианта	№ вопросов, входящих в вариант	№ задач, входящих в вариант
4	I-3, II-6	A-5в, Б-4е
5	I-1, II-3	A-2а, Б-5е
6	I-6, II-1	A-1а, Б-3д
7	I-7, II-7	A-3г, Б-5б
8	I-4, II-8	A-1д, Б-4д
9	I-6, II-10	A-4а, Б-3е
10	I-10, II-4	A-3б, Б-4в
11	I-3, II-3	A-1е, Б-3а
12	I-5, II-5	A-2д, Б-4г
13	I-9, II-9	A-5д, Б-1б
14	I-4, II-4	A-1в, Б-2г
15	I-8, II-8	A-2в, Б-5а
16	I-7, II-7	A-5а, Б-2в
17	I-1, II-1	A-2г, Б-1в
18	I-10, II-10	A-1б, Б-5д
19	I-2, II-2	A-4г, Б-2д
20	I-6, II-6	A-3а, Б-3б
21	I-10, II-7	A-4в, Б-3б
22	I-9, II-10	A-5г, Б-4а
23	I-4, II-4	A-3в, Б-1д
24	I-3, II-8	A-4б, Б-3г
25	I-6, II-1	A-4е, Б-1а
26	I-5, II-3	A-5е, Б-2а
27	I-1, II-5	A-3б, Б-5в

Таблица 3 Контрольная работа 2 и курсовой проект

№ варианта	№ вопросов, входящих в вариант	№ задания курсового проекта	№ варианта	№ вопросов, входящих в вариант	№ задания курсового проекта
1	III-3, IV-8	4К	16	III-8, IV-8	1Т
2	III-5, IV-7	6К	17	III-4, IV-7	3АМ
3	III-9, IV-2	2Т	18	III-10, IV-4	5Т
4	III-4, IV-1	7Т	19	III-7, IV-6	2К
5	III-8, IV-5	3К	20	III-6, IV-4	2Т
6	III-7, IV-6	4Т	21	III-4, IV-2	4К
7	III-1, IV-3	2АМ	22	III-10, IV-3	3К
8	III-10, IV-4	5АМ	23	III-8, IV-1	6К
9	III-2, IV-9	7К	24	III-7, IV-7	4Т
10	III-6, IV-8	3Т	25	III-1, IV-8	1Т
11	III-9, IV-9	1АМ	26	III-3, IV-4	7К
12	III-2, IV-2	6Т	27	III-6, IV-9	1АМ
13	III-5, IV-5	4АМ	28	III-2, IV-5	2АМ
14	III-3, IV-3	1К	29	III-5, IV-3	3АМ
15	III-1, IV-1	5К	30	III-9, IV-5	3Т

ПРОГРАММА КУРСА

Раздел 1. ОСНОВЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ.

Тема 1. Основные определения и понятия.

Определение оболочки. Оболочки как основные элементы химической аппаратуры. Определение оболочки вращения. Срединная поверхность, меридиан, полюс, параллельные круги, главные радиусы кривизны. Элемент оболочки. Основные соотношения для геометрических параметров элемента. Понятие об осесимметричной равномерно распределенной нагрузке, ее особенности. [8, с. 11-16; 12, с. 37-40].

Тема 2. Силы и моменты, действующие на элемент оболочки.

Внутренние силы и момент, действующие на элемент оболочки; природа их возникновения. Размерности внутренних и внешних силовых факторов. Векторное изображение моментов и выбор системы осей координат. [8, с. 11-27 ; 12, с. 34-36].

Тема 3. Уравнения равновесия сил и моментов, действующих на элемент оболочки.

Вывод уравнений равновесия сил и моментов, действующих на элемент оболочки вдоль осей x , y , z [8, с. 17-20]. Напряжения, вызываемые внутренними силами и моментами. Методика расчета оболочки на прочность по этим напряжениям [8, с. 21 ; 12, с. 37-40].

Тема 4. Уравнения безмоментной теории расчета оболочек.

Понятие о безмоментной и моментной теориях расчета тонкостенных оболочек. Вывод уравнений безмоментной теории: уравнения равновесия элемента (уравнения Лапласа) и уравнения равновесия зоны [8, с. 21-24].

Тема 5. Практическое применение уравнений безмоментной теории оболочек.

Применение уравнений безмоментной теории к расчету напряжению:

а) в цилиндрической (с крышками и без крышек), сферической и конической оболочках, нагруженных внутренним газовым давлением.[8, с. 30-31, 34-35, 45-47]

б) в цилиндрической оболочке с днищем, заполненной жидкостью [8, с. 31-32]

в) в конической оболочке, нагруженной собственным весом или весом футеровки [8, с. 51]

г) во вращающейся оболочке, находящейся под действием центробежных сил от собственной массы [8, с. 43]

Тема 6. Элементарные сведения моментной теории расчета тонкостенных оболочек. Понятие о краевой задаче.

Сущность моментальной теории. Понятие о краевой задаче. Затухающий характер краевых сил и моментов. Короткие и длинные оболочки [18, с. 199-203) . Методика расчета оболочки на прочность с учетом краевых сил моментов [18. с. 230; 3. с. 40-46].

Раздел II. ОСНОВЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЕЧАЕК.

Тема 1. Основные определения и понятия.

Элементы толстостенных цилиндрических обечаек. Коэффициент толстостенности. Геометрия толстостенной цилиндрической обечайки. [8, с. 320; 12, 597; 13, с. 418].

Тема 2. Определение напряжений в толстостенном цилиндрическом корпусе.

Вывод уравнения равновесия элемента толстостенной цилиндрической обечайки. [8, с. 320; 12, с. 597; 13, с. 418]. Деформация элемента толстостенной обечайки. Связь между деформациями и напряжениями: по закону Гука. Уравнение совместимости деформаций. [8, с. 315-320; 13, с. 419]. Совместное решение двух дифференциальных уравнений напряжений для цилиндрической обечайки. Определение кольцевых (тангенциальных) и радиальных напряжений. [8, с. 320; 13, с. 420]. Уравнение зоны толстостенной цилиндрической обечайки определение из него осевых (меридиональных) напряжений. [8, с. 320; 12, с. 599; 14, с. 55]. Эпюры распределения кольцевых, радиальных и осевых напряжений по толщине стенки. Анализ напряженного состояния материала в толстостенной цилиндрической обечайке в случае внутреннего и наружного давлений [8, с. 321; 12, с. 598-599; 13, с. 421; 14, с. 56-58; 15, с. 123-128].

Тема 3. Расчет на прочность толстостенных цилиндрических корпусов, нагруженных внутренним давлением.

Корпусы и днища аппаратов высокого давления со сплошной стенкой. Конструкция концевых частей корпусов [10, с. 244-247]. Вывод расчетной формулы для коэффициента толстостенности цилиндрического корпуса по методу максимальных упругих напряжений на основе четвертной (энергетической) теории прочности. Выбор допустимых напряжений [8, с. 331, 332; 10, с. 288-292]. Расчет толстостенных корпусов по несущей способности (по предельным давлениям). Изменение напряженного состояния материала стенки цилиндрического корпуса при повышении внутреннего давления. Расчетные формулы для определения коэффициента толстостенности сосуда по методу предельных давлений на основе теории наибольших касательных напряжений. Сравнение двух методов расчета толстостенных корпусов. [10, с. 294-299; 14, с. 59, 60].

Тема 4. Пути повышения несущей способности толстостенных сосудов.

Составные корпуса высокого давления: двухслойные, многослойные с концентрическим и спиральным расположением слоев (рулонные, витые (оплаточные)). Распределение напряжений в стенке. Сравнительная характеристика различных типов корпусов [8, с. 344-356; 10, с. 247-256; 12, с. 62-64]. Автофреттаж (автоскрепление) толстостенных сосудов. Эпюры напряжений [8, с. 357-364]. Расчет на прочность составных корпусов [10, с. 300, 301].

Тема 5. Температурные напряжения в толстостенных цилиндрических корпусах.

Температурные напряжения в толстостенных цилиндрических корпусах. Распределение напряжений по толщине стенки при наружном и внутреннем обогреве корпуса. Проверка прочности цилиндрического корпуса при совместном действии высокого давления и температурных напряжений [8, с. 323-330; 10, с. 259-294; 14, с. 60-62; 15, с. 128-131].

Раздел III. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ.

Тема 1. Общие положения по устройству. Расчету и испытанию химических аппаратов.

Основные требования, предъявленные к химической аппаратуре. Общие положения и рекомендации по конструированию и расчету основных узлов и деталей химических аппаратов. Определение расчетных величин для химических аппаратов (давление, температура, допускаемое напряжение, коэффициенты прочности сварочных и паяльных швов, конструктивные прибавки к номинальным расчетным толщинам). Аппаратура, подведомственная Госгортехнадзору. Основные положения правил по устройству, изготовлению, регистрации и техническому освидетельствованию этой аппаратуры [15, с. 401-409; 14, с. 27-36; 18, с. 5-9, 601-611].

Тема 2. Материалы, применяемые для изготовления химической аппаратуры.

Основные требования, предъявленные к конструкционным материалам для химической аппаратуры, показатели их механических свойств. Поведение сталей при повышенных и пониженных температурах. Ползучесть. Релаксация. Перспективные материалы [15, с. 9-11; 13, с. 4-35; 18 с. 12-31].

Тема 3. Толстостенные цилиндрические обечайки, работающие под внутренним давлением.

Толстостенные цилиндрические обечайки, напряжения, возникающие в толстостенном цилиндре, нагруженном внутренним давлением. Вывод формулы для расчета толщины цилиндрической обечайки по III и IV теориям прочности [13, с. 46-51; 16 с. 149-155; 18, с. 31-44].

Тема 4. Крышки и днища аппаратов, работающих под внутренним давлением.

Эллиптические днища, их конструкция. Расчет эллиптических днищ, нагруженных внутренним давлением [15, с. 439, 452-453; 13, с. 66-67; 16, с. 170-176]. Сферические днища; полушаровые, торосферические (коробовые) днища, сферические неотбортованные днища. Расчет сферических днищ, работающих под внутренним газовым давлением [13, с. 64, 68; 16, с. 170-176; 15, с. 455].

Конструкция и расчет конических днищ при действии внутреннего давления [19, с. 68-72; 15, с. 412-474; 20, с. 180-187]. Расчет плоских круглых крышек и днищ [13, с. 72-76; 16, с. 187-198; 15, с. 476-478; 18, с. 44-68].

Тема 5. Расчет толстостенных химических аппаратов, работающих под внешним давлением.

Явление потери устойчивости формы цилиндрических обечаек, нагруженных внешним давлением. Критическое давление, коэффициент запаса устойчивости. Расчет величины критического давления для «коротких» и «длинных» цилиндров. Расчет толщины стенки «коротких» и «длинных» цилиндров при действии наружного давления. Выбор расчетной длины при расчете на устойчивость. Способы и элементы, повышающие устойчивость цилиндрических обечаек [16, с. 231-253; 13, с. 51-56; 15, с. 415-418; 14, с. 32-54].

Тема 6. Фланцевые соединения химической аппаратуры.

Основные функции фланцевых соединений, применяемых в химической аппаратуре. Уплотнительные поверхности во фланцах арматуры, трубопроводов и сварочных стальных аппаратов. Расчет фланцевых соединений. Определение нагрузки на болты, расчет болтов (шпилек) фланцевого соединения, приближенный метод расчета фланцев цельного типа, плоских приварных и накидных фланцев [13, с. 81-93; 16, с. 263-277; 15, с. 536-537].

Тема 7. Опоры химических аппаратов.

Назначение опор и лап. Конструкция опор (лап) вертикальных и горизонтальных аппаратов. Расчет опор для вертикальных аппаратов. Определение размеров ребер, расчет прочности сварочных швов [16, с. 320-327; 15, с. 672-677; 14, с. 90-110].

Тема 8. Укрепление вырезов в стенках аппаратов.

Ослабление стенок сосудов, вызванное наличием отверстий.

Конструкции укрепляющих деталей. Неукрепленные отверстия. Определение необходимой площади укрепления [16 с. 257-262; 13, с. 76-86; 15, с. 498-501; 14, с. 75-90].

Тема 9. Расчет аппарата на ветровую нагрузку.

Содержание расчета аппаратов на ветровую нагрузку. Определение расчетной ветровой нагрузки. Определение ветрового момента.

Расчет размеров опорной поверхности фундаментного кольца и его толщины. Расчет аппарата на устойчивость против опрокидывания (выбор числа и размеров фундаментных болтов). Расчет сварного шва, крепящего опорную обечайку и аппаратуру. Проверка устойчивости цилиндрической формы стенки опоры и стенки корпуса аппарата в нижнем его сечении. [13, с. 102-116; 16, с. 327-331; 15, с. 686-689; 18, с. 110-122].

Раздел IV. КРИТИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ.

Тема 1. Понятие о критических скоростях вращения валов.

История вопроса. Поведение вращения валов и машин в целом при критических скоростях вращения. [23, с. 1901-1904]. Величина и постепенность нарастания динамического прогиба и напряжения в материале вала, опасность его разрушения. Определения критической скорости вращения вала. Резонансный характер критических явлений. Неустойчивость

вала при критической скорости вращения. Необходимость расчета критических скоростей при проектировании машин [15, с. 650-607].

Тема 2 Критическая скорость вращения валов с одним диском.

Возможность неустойчивого состояния точного отбалансированного вала при определенной скорости вращения (исчезновение восстанавливающей силы). Прогиб приближенно отбалансированного вертикального вала под действием центральной силы; анализ формулы прогиба. Вывод формулы для критической скорости вращения вала с одним диском. Совпадение критической скорости со скоростью вращения, вызывающей потерю устойчивости [20, с. 300-306; 21, с. 431-436]. Самоцентрирование вращающегося вала с одним диском и более сложных роторов [19, с. 228-234]. Вариант формулы критической угловой скорости, создающей так называемый статический прогиб. Независимость критических скоростей от ускорения силы тяжести.

Тема 3. Резонансный характер критических явлений во вращающихся валах.

Вывод формулы круговой частоты собственных поперечных (изгибных) колебаний однодискового невращающегося вала. Численное совпадение круговой частоты собственных колебаний и критической угловой скорости вращения. Применимость этого вывода к более сложным роторам [15, с. 565, 566, 567; 19, с. 436-437]. Связи числа различных частот колебаний с критическими скоростями вращения валов с несколькими дисками и тяжелых валов без дисков. Связь чистоты с формой упругой линии вала при колебании. Пояснить

эту на примере вала с двумя и тремя дисками [19 с. 216-218; 21, с. 436-437].

Тема 4. Влияние конструкции опор на критические скорости вращения валов. Выбор рабочей скорости вращения.

Приближенный учет собственной массы вала при вычислении критической угловой скорости однодискового ротора. Основные виды опор валов. Характер прогиба вала и опорные реакции в коротких и длинных подшипниках [15, с. 639, 640, 659, 660]. Вывод формул для определения критической угловой скорости вала постоянного сечения с одним диском, опирающегося по концам: а) на короткие подшипники; б) на длинные подшипники; в) на короткие и длинные подшипники одновременно.

Сравнения результатов для случая, когда диск расположен по середине вала. Связь критической угловой скорости с жесткостью вала, понятие о жестких и гибких валах. Выбор рабочей скорости вращения жестких и гибких валов (практические рекомендации). Преимущества и недостатки гибких валов по сравнению с жесткими. Особенности пуска машины с гибким валом [15, с. 466-469; 20, с. 305, 306, 344, 345].

Тема 5. Критические скорости вращения вала с двумя и несколькими дисками.

Выражение прогибов валки, нагруженной несколькими сосредоточенными силами, с помощью коэффициентов влияния. Определение, размерность и основное свойство коэффициентов влияния. Вывод и анализ формул прогиба вращающегося невесомого вала с двумя дисками. Уравнения для определения критических угловых скоростей двухдискового вала в форме определителя второго порядка и его решения [15, с. 672-679].

Уравнения для определения критических угловых скоростей вала с тремя дисками в форме определителя третьего порядка и пути его решения. Возможность использования аналогичного метода для определения критических скоростей вращения вала с большим числом дисков. [15, с. 604-609].

Тема 6. Критические скорости вращения тяжелого вала без дисков.

Возможность замены вычисления критических скоростей вращения вычислением частот собственных поперечных колебаний. Дифференциальная зависимость между распределенной нагрузкой и прогибом балки постоянного сечения. Вывод в интегрирования дифференциального уравнения колебания балки постоянного сечения [15, с. 587-590]. Уравнение, описывающее изменение прогиба балки по ее линии и во времени. Граничные условия, используемые для определения частот колебания для балки на двух опорах и для балки, заделанной по концам. Вывод формулы для определения круговых частот собственных колебаний балки на двух --- опорах [20, с. 306-309].

Тема 7. Приближенные методы определения критических скоростей вращения валов. Метод наложения.

Сложность и ограниченная применимость точных методов вычисления критических скоростей вращения. Метод наложения. Выражение первой критической угловой скорости вала с несколькими дисками через коэффициенты влияния; статические прогибы; критические скорости валов с одним диском.

Учет собственной массы вала. Вариант формулы Донкерли для распределенной массы. Оценка точности метода наложения (1.С.651-665).

Тема 8. Приближенный энергетический метод Релея для определения первой критической скорости вращения.

Краткая характеристика и область применения энергетического метода. Превращение энергии при колебаниях упругой балки, несущей одну или несколько сосредоточенных масс. Равенство максимальных значений кинетической и потенциальной энергии при колебаниях как следствие принципа сохранения энергии. Вычисление максимального значения кинетической энергии при колебаниях балки, несущей распределенную и ряд сосредоточенных масс.

Вывод формул потенциальной энергии изогнутой балки:

- а) на основании связи элементарной энергии деформации с изгибающим моментом;
- б) как сумма работ ряда статически приложенных сил, вызывающих изгиб.

Вычисление максимального значения потенциальной энергии. Расчетные формулы метода Релея [15, с. 655-659; 20, с.310-312]. Необходимость и правило предварительного выбора формы (уравнения) упругой линии при колебаниях. Оценка точности метода Релея [2, с. 220-224].

Вопросы к контрольной работе 1

1. Вопросы к разделу I

I-1. Определение оболочки вращения, срединной поверхности, первого и второго радиусов кривизны. Вывод уравнения равновесия сил, действующих на элемент оболочки по оси z .

I-2. Почему внутренние силы и моменты, действующие на верхнюю и нижнюю грани элемента оболочки, имеют в общем случае приращение в отличие от сил и моментов, действующих на боковые грани? Вывод уравнения равновесия сил, действующих на элемент оболочки по оси x .

I-3. Как выделяется элемент оболочки? Силы и моменты, действующие на элемент оболочки, природа их возникновения, размерности. Почему в общем случае перерезывающие силы возникают только на верхней и нижней гранях элемента?

I-4. Вывод уравнения равновесия моментов, действующих на элемент оболочки по оси y . Напряжения, вызываемые внутренними силами и моментами. Почему при определении напряжений σ_1 и σ_2 перед напряжениями σ_m и σ_k ставятся плюс или минус?

I-5. Сущность безмоментной теории расчета тонкостенных оболочек. Вывод уравнений безмоментной теории: уравнения Лапласа и уравнения равновесия зоны. Каков физический смысл постоянной интегрирования в уравнении равновесия зоны?

I-6. Силы и моменты, действующие на элемент оболочки, природа их возникновения и размерности. Выбор системы осей координат. Напряжения, вызываемые внутренними силами и моментами, действующими на элемент оболочки.

I-7. Сущность краевой задачи. Причины возникновения краевых сил и моментов (объяснить на конкретных примерах) и характер их действия по длине оболочки. Методика расчета оболочки на прочность с учетом краевых сил и моментов.

I-8. Как выделяется элемент оболочки? Вывод основных соотношений для геометрических параметров элемента. Какие допущения делаются при выводе уравнений равновесия сил и моментов, действующих на элемент оболочки? Вывод уравнений равновесия сил, действующих на элемент оболочки по оси x .

I-9. Сравнительная характеристика безмоментной и моментной теорий расчета тонкостенных оболочек. Вывод уравнений

безмоментной теории: уравнения Лапласа и уравнения равновесия зоны.

1-10. Определение оболочки вращения, срединной поверхности, осесимметричной нагрузки. Вывод уравнения равновесия моментов, действующих на элемент оболочки по оси u .

2. Вопросы к разделу II

II-1. Элементы толстостенных сосудов высокого давления. Коэффициент толстостенности. Эскиз цельнокованого корпуса с плоским днищем и коническим фланцем. (Выполнить на листе формата A4). Эпюры напряжений в стенке корпуса при действии: а) внутреннего давления; б) наружного давления среды. Анализ напряженного состояния материала в различных точках. Знаки напряжений.

II-2. Элемент толстостенной цилиндрической обечайки. Его геометрия. Напряжения, действующие по граням элемента при внутреннем давлении среды. Их направления и распределение по толщине стенки. Различие в напряженном состоянии между толстостенными и тонкостенными цилиндрами. Эскизы цельнокованого и штампо-сварного корпусов высокого давления с плоскими днищами коническими фланцами. (Выполнить на листах формата A4).

II-3. Вывод уравнения равновесия элемента толстостенной цилиндрической обечайки при действии внутреннего давления среды. Неизвестные члены уравнения. Пути их определения.

II-4. Решение системы двух дифференциальных уравнений напряжений для толстостенной цилиндрической обечайки при внутреннем давлении. Граничные условия. Формулы для тангенциальных и радиальных напряжений в цилиндре.

II-5. Уравнения равновесия осевых сил, действующих на зону толстостенной цилиндрической обечайки при внутреннем давлении среды. (Зона – часть цилиндра с днищем, отсеченная плоскостью, перпендикулярной к оси сосуда). Определение

осевых напряжений от внутреннего давления к эпюра их распределения по толщине стенки для однослойного и многослойного сосуда. Осевые напряжения от перепада температур по толщине стенки. Расчетная формула и пояснения к ней. Эпюра осевых температурных напряжений в однослойном цилиндре.

II-6. Вывод формулы для расчета коэффициента толстостенности цилиндрического корпуса высокого давления по максимальным упругим напряжениям с использованием четвертой (энергетической) теории прочности. Выражение толщины стенки через коэффициент толстостенности. Анализ формулы при условии, что величина давления принимает значение, равное $[\sigma]/\sqrt{3}$.

II-7. Конструкция и способы изготовления толстостенных цилиндрических корпусов высокого давления: цельнокованных, штампо-сварных, многослойных рулонных и многослойных с концентрически расположенными слоями. Эскизы этих корпусов с коническими фланцами. (Выполнить четыре эскиза на листах формата А4). Сравнительная характеристика корпусов. Эпюры тангенциальных (кольцевых) и радиальных напряжений в стенке двухслойного сосуда, собранного напрессовкой, при действии: а) монтажного давления от посадки слоя на слой с натягом; б) только внутреннего давления среды; в) этих двух давлений совместно.

II-8. Изменение напряженного состояния материала толстостенного цилиндрического корпуса при постепенном повышении давления в нем. Зоны пластических или упругих деформаций. Предельные давления. Эпюры распределения напряжений (эквивалентных) в различных стадиях нагружения материала. Автофреттаж (автоскрепление) толстостенных корпусов. Способ его осуществления. Эпюры кольцевых напряжений в стенке: а) после автоскрепления сосуда; б) при подаче давления в) автоскрепленный сосуд.

II-9. Температурные напряжения в толстостенных цилиндрических корпусах в случаях внутреннего или наружного обогрева. Механизм возникновения напряжений. Эпюры тангенциальных (кольцевых) напряжений в стенке от давления, от разности температур и от совместного действия этих факторов в двух случаях. Расчетные формулы для температурных напряжений (без вывода); пояснения к ним.

II-10. Деформации элемента толстостенной цилиндрической обечайки при внутреннем давлении среды. Графическое их представление. Закон Гука применительно к толстостенному цилиндру. Сравнение совместности деформаций. Вывод второго дифференциального уравнения напряжений для цилиндра.

Задачи к контрольной работе I

А. Задачи к разделу I

A-1. По безмоментной теории определить требуемую толщину конической оболочки, заполненной жидкостью и имеющей наружную теплоизоляцию (рис. 1), если заданы: средний диаметр, основания конуса $D_{ср}$, угол при вершине конуса α , толщина теплоизоляции $\delta_{из}$, допускаемое напряжения для материала оболочки $[\sigma]$, плотности жидкости $\rho_{ж}$ и материала изоляции $\rho_{из}$.

Таблица 4

Исходные данные

Варианты	$D_{ср}$, мм	α , град	$\delta_{из}$, мм	$[\sigma]$, Мпа	$\rho_{ж}$, кг/м	$\rho_{из}$, кг/м
А	1394	90	120	120	880	1900
Б	1014	60	100	130	1630	2600

Окончание

Варианты	$D_{ср}$, мм	α , град	$\delta_{из}$, мм	$[\sigma]$, МПа	$\rho_{ж}$, кг/м	$\rho_{из}$, кг/м
В	1990	120	150	120	1200	2600
Г	906	120	100	125	1500	2600
Д	714	90	120	140	1630	1990
Е	1594	60	180	160	880	1900

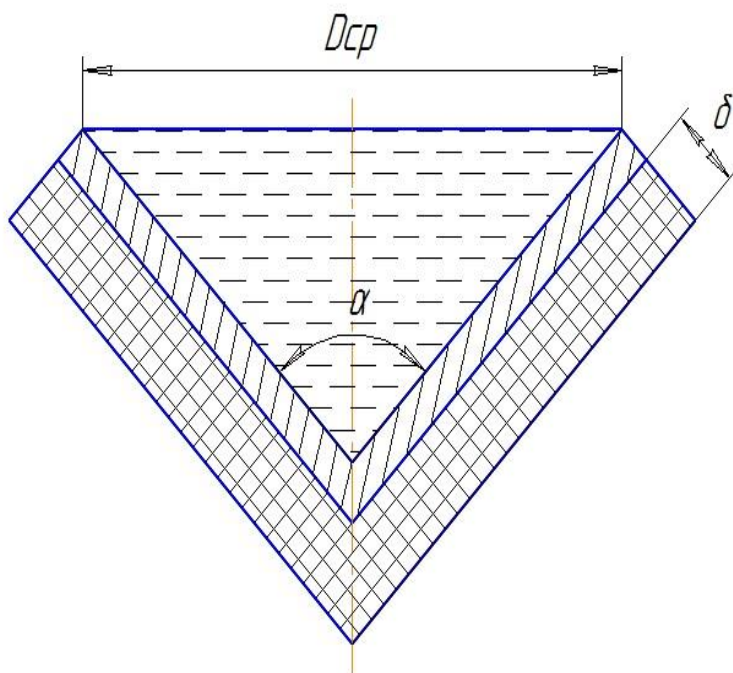


Рис.1. Коническая оболочка

А-2. По безмоментной теории определить направления, возникающие в стенке конической оболочки, заполненной жидкостью и нагруженной внешним равномерно распределенным газовым давлением (рис. 2), если заданы: наружный диаметр основания конуса D_n , толщина оболочки δ , угол при вершине α , величина внешнего давления p , плотность жидкости $\rho_{ж}$.

Построить графики напряжений в функции расстояния x от вершины.

Таблица 5 **Исходные данные**

Вари- анты	D_n , мм	δ , мм	α , град	p , МПа	$\rho_{ж}$, кг/м
А	1820	10	120	0.6	1040
Б	1020	6	90	1.0	1280
В	920	8	60	1.6	1500
Г	1412	6	90	0.8	1630
Д	2016	8	60	1.0	1200
Е	1020	6	120	1.6	1630

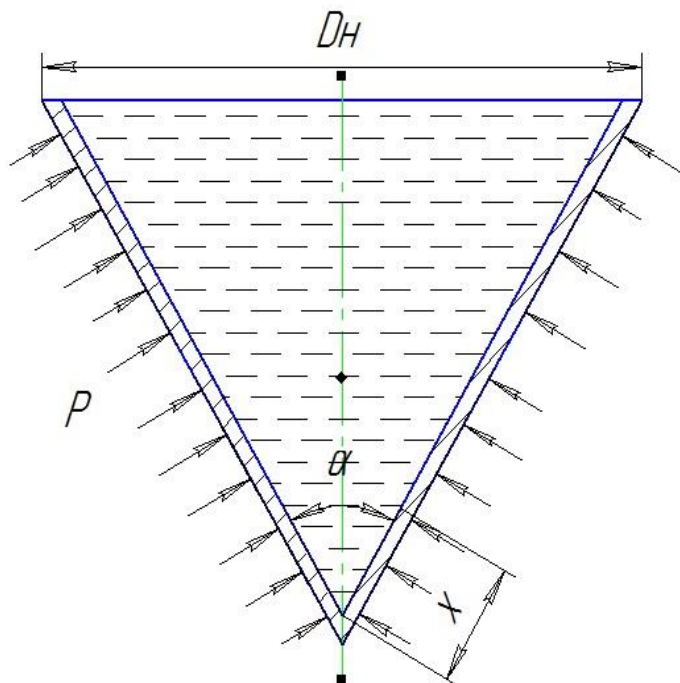


Рис. 2. Коническая оболочка

А-3. По безмоментной теории определить требуемую толщину стенки вращающийся вокруг собственной оси цилиндрической оболочки, закрытой с обоих концов крышками и нагруженной внутренним газовым давлением, если заданы: средний диаметр цилиндра $D_{ср}$, скорость обращения оболочки n , величина внутреннего давления p , допускаемое напряжение для материала оболочки $[\sigma]$.

Таблица 6

Исходные данные

Варианты	$D_{ср}$, мм	n , об/мин	p , МПа	$[\sigma]$, МПа
А	697	800	1.0	120
Б	1096	1200	0.6	130
В	796	1500	1.25	160
Г	1000	750	0.8	140
Д	627	2800	1.5	160
Е	1590	600	0.3	125

А-4. По безмоментной теории определить напряжения, возникающие в стенке полушаровой емкости, заполненной жидкостью и нагруженной внешними равномерно распределенным газовым давлением (рис. 3), если заданы: внутренний диаметр оболочки D_v , толщина стенки оболочки δ , скорость вращения n и величина внутреннего давления p . Построить график зависимости напряжений от широты φ .

К схеме осесимметричной цилиндрической оболочки сводится очень много инженерных конструкций, в том числе: котлов, баков, нефтепроводов, газопроводов, деталей машин и др.

Задача о расчете тонкостенных оболочек вращения наиболее просто решается в том случае, когда возможно принять, что напряжения, возникающие в оболочке, постоянны по толщине и, следовательно, изгиб оболочки отсутствует.

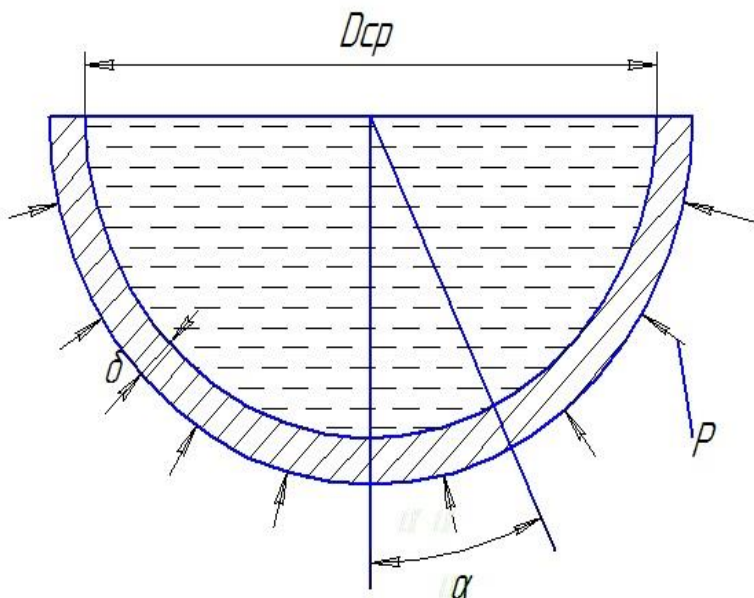


Рис. 3. Цилиндрическая оболочка

Таблица 7

Исходные данные

Варианты	D_{cp} , мм	δ , мм	n , об/мин	p , Мпа
А	500	4	1200	1.6
Б	660	6	820	1.25
В	375	4	2800	0.4
Г	800	6	950	0.6

Окончание

Варианты	D_{cp} , мм	δ , мм	n , об/мин	p , МПа
Д	1000	6	750	0.2
Е	450	4	1500	0.8

А-5. По безмоментной теории определить напряжения, возникающие в стенке полушаровой емкости, заполненной жидкостью и нагруженной внешним, равномерно распределенным газовым давлением, если заданы; внутренний диаметр емкости D_v , толщина стенки емкости δ , величина внешнего давления p , плотность жидкости $\rho_{ж}$. Построить график зависимости напряжений от угла φ .

Таблица 8

Исходные данные

Варианты	D_v , мм	δ , мм	P , МПа	$\rho_{ж}$, кг/м ³
а	3600	10	0,6	1100
б	3800	14	0,4	1060
в	4000	20	0,4	1630
г	4500	12	1,0	1100
д	2500	10	0,6	870
е	5000	20	0,2	1500

Б.Задачи к разделу II

Б-1. Стальной толстостенный цилиндрический корпус внутренним диаметром D_v рассчитан на работу под внутренним давлением p . Найти необходимую толщину его стенки,

пользуясь для расчета формулой $\ln \beta = p/[\sigma]\varphi$, если известны допускаемое напряжений $[\sigma]$ и коэффициент прочности сварного шва φ . Результат расчета округлить до ближайшего целого значения (в мм). Построить эпюры тангенциальных и радиальных напряжений в корпусе, рассчитав их значения в шести точках, равномерно расположенных по толщине стенки. Напряжения сжатия считать отрицательными.

Принять масштаб напряжений в 1 мм – 2 МПа, масштаб толщины стенки в 11 мм – 2 мм. Указать наиболее опасные точки в стенке корпуса. Рассчитать осевые напряжения в стенке. Указать их знак и характер распределения по толщине стенки.

Таблица 9

Исходные данные

Варианты	D_B , мм	p , МПа	$[\sigma]$, МПа	φ
А	1000	40	160	1.0
Б	600	1000	160	1.0
В	1400	60	193	0.85
Г	1200	30	150	0.25
Д	800	60	186	0.63
Е	600	100	160	0.95

Б-2. Стальной толстостенный цилиндрический сосуд, штампосварной конструкции имеет внутренний диаметр D_B , толщину стенки δ , выполнен из материала с допускаемым напряжением $[\sigma]$ и коэффициентом прочности сварного шва φ .

Выяснить, допустимо ли эксплуатировать сосуд при заданном внутреннем давлении P . Рассчитать осевое напряжение σ_z , максимальное и минимальное значения тангенциальных σ_t и

радиальных σ_ρ напряжений в стенке при этом давлении, указать их знаки.

Таблица 10

Исходные данные

Варианты	D_B , мм	d , мм	$[\sigma]$, МПа	φ	P , МПа
А	900	150	188	0,85	40
Б	1000	125	160	0,95	20
В	600	130	190	0,95	70
Г	800	120	155	0,9	50
Д	1200	130	195	0,85	100
Е	500	110	180	0,9	60

Б-3. Толстостенный цилиндрический корпус имеет наружный диаметр D_H , внутренний - D_B . Рабочее давление в сосуде равно p_v . Для снижения напряжений на корпус капрессована труба, создающая внешнее монтажное давление на поверхности корпуса p_m . Рассчитать тангенциальные σ_t , радиальные σ_ρ и осевые σ_z напряжения на внутренней и наружной поверхности корпуса, возникающие от: 1) давления среды; 2) монтажного давления; 3) совместного действия этих давлений, считая напряжения сжатия отрицательными. Результаты расчетов занести в табл.10. по следующей форме:

Указать, какие преимущества дает двухслойная конструкция корпуса по сравнению с однослойной. Перечислить другие аналогичные конструкции корпусов с предварительными напряжениями в стенке.

Таблица 11

Результаты расчёта

Напряжения	Давления					
	р _в =		р _м =		р _в =	р _м =
	Поверхность корпуса					
	внутренняя	наружная	внутренняя	наружная	внутренняя	наружная
σ_t						
σ_ρ						
σ_z						

Таблица 12

Исходные данные

Вариант	D_H , мм	D_B , мм	$p_{в}$, МПа	$p_{м}$, МПа
а	1100	800	50	15
б	300	200	85	40
в	725	600	40	28
г	1600	1200	70	18
д	650	500	100	20
е	1300	1000	60	32

Б-4. Стальной цилиндрический корпус с внутренним диаметром D_B работает под внутренним давлением p . Найти требуемую толщину стенки корпуса при заданных значениях допускаемого напряжения $[\sigma]$ и коэффициенте прочности сварного шва, произведя расчеты: 1) по формуле для тонкостенных цилиндрических обечаек; 2) по формуле для толстостенных цилиндров.

Конструктивными прибавками к расчетной толщине стенки пренебречь. Подсчитать в процентах расхождение результатов расчетов. Установить, можно ли рассчитывать данный корпус по

формуле для тонкостенного цилиндра, если требуемая точность расчета составляет 20%.

Найти максимальные значения тангенциального и радиального напряжений и объяснить, в чем разница в напряженном состоянии материала тонкостенной и толстостенной оболочки

Таблица 13 **Исходные данные**

Вар.	D_B , мм	p , МПа	$[\sigma]$, МПа	φ
а	1400	40	188	0,95
б	1000	100	160	1,0
в	600	70	190	0,85
г	800	20	155	0,85
д	1200	80	195	1,0
е	500	100	180	0,95

Б-5. Цилиндрический корпус колонки высокого давления имеет внутренний диаметр D_B , наружный - D_H и работает под внутренним давлением p . Корпус выполнен из стали, для которой коэффициент линейного расширения $\alpha = 11,3 \cdot 10^{-6}$ 1/град, модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Зная перепад температур по толщине стенки Δt и направление теплового потока, рассчитать тангенциальные σ_t , радиальные σ_r и осевые σ_z напряжения на наружной и внутренней поверхностях стенки, возникающие: 1) от давления среды p ; 2) от разности температур Δt ; 3) от совместного действия этих факторов. Результаты расчетов занесите в табл.14. по следующей форме:

Таблица 14

Исходные данные

Напряжения	Давления					
	p=		$\Delta t =$		p=	$\Delta t =$
	Поверхность корпуса					
	внутренняя	наружная	внутренняя	наружная	внутренняя	наружная
σ_t						
σ_ρ						
σ_z						

Таблица 15

Исходные данные

Варианты	D_B , мм	D_H , мм	p, МПа	Δt , °C	Направление теплового потока
А	1100	1760	40	50	наружу
Б	800	990	32	18	наружу
В	600	780	70	15	внутри
Г	1200	1550	50	25	наружу
Д	1000	1380	60	30	внутри
Е	1600	1960	80	34	наружу

ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ №2.

3. Вопросы к разделу III.

III-1. Укреплений отверстий в цилиндрических, сферических и эллиптических элементах аппарата. Конструкции

укрепляющих деталей. Определение необходимой площади укрепления.

III-2. Конструкции эллиптических и сферических (отбортованных и неотбортованных) днищ. Их положительные и отрицательные особенности. Расчет толщины стенки этих днищ при нагружении внутренним давлением.

III-3. Основные типы фланцевых соединений, применяемые в химическом аппаратостроении. Определение болтовой нагрузки и расчет болтов фланцевого соединения.

III-4. Общие требования к конструкции аппаратов, подведомственных Госгортехнадзору. Техническое освидетельствование сосудов, подведомственных Госгортехнадзору СССР.

III-5. Расчет аппаратов на ветровую нагрузку. Определение ветровой нагрузки. Расчет сварного шва, крепящего аппарат к опорной обечайке. Проверка устойчивости стенки цилиндрической формы опорной обечайки.

III-6. Устойчивость цилиндрических обечаек. Расчет длинных обечаек, работающих под внешним давлением. Выбор расчетной длины.

III-7. Вывод расчетной формулы для определения толщины стенки цилиндрических аппаратов, работающих под внутренним давлением, по четвертой теории прочности. Выбор расчетного давления, допускаемого напряжения и конструктивной прибавки.

III-8. Конструкции опор вертикальных и горизонтальных цилиндрических аппаратов (привести эскизы). Расчет опор вертикальных и горизонтальных аппаратов.

III-9. Расчет на устойчивость коротких цилиндрических обечаек, нагруженных внешним давлением. Определение критической длины обечайки. Методы определения числа волн, образующихся на обечайке.

III-10. Расчет аппаратов на ветровую нагрузку. Определение ветровой нагрузки. Расчет толщины фундаментного кольца, проверка аппарата на устойчивость.

4. Вопросы к разделу IV.

IV-1. Вывод формулы для определения частоты собственных колебаний вала с одним диском. Резонансный характер критических явлений во вращающихся валах.

IV-2. Вывод формулы для определения критической угловой скорости невесомого вала с одним диском. Влияние характера опор на критическую скорость (дать вывод расчетных формул для определения).

IV-3. Самоцентрирование вращающихся валов с одним и несколькими дисками. Выбор рабочей скорости вращения. Жесткие и гибкие валы.

IV-4. Приближенные методы определения критических скоростей вращения валов. Метод наложения (дать анализ различных вариантов формулы Донкерли).

VI-5. Критические скорости вращения тяжелого вала без дисков. Вывод и интегрирование дифференциального уравнения колебаний балки постоянного сечения.

IV-6. Критические скорости вращения валов с двумя и несколькими дисками (дать вывод уравнения частоты колебаний валов с двумя и несколькими дисками).

IV-7. Критические скорости вращения тяжелого вала постоянного сечения без дисков, опирающегося на короткие опоры (дать вывод расчетной формулы для определения с учетом граничных условий, исходя из уравнения упругой линии вала).

IV-8. Приближенный энергетический метод Реле для определения критических скоростей вращения валов (сущность метода, вывод расчетных формул).

IV-9. Поведение валов и машин в целом при критических скоростях вращения. Определение критической скорости вращения валов. Вывод формулы для определения угловой скорости невесомого вала с одним диском.

Задания на курсовой проект.

1(Т). Рассчитать и спроектировать (разработать сборочной чертеж) вертикальный кожухотрубный теплообменник, схема которого представлена на рис.4.

Технические и конструктивные параметры аппарата (в зависимости от расчетного варианта) принять из таблиц 16.1, 16.2 и 17.1, 17.2.

Содержание расчета.

1. Выбор конструкционных материалов для элементов аппарата.

2. Определение толщины стенки корпуса.

3. Выбор типа крышек, определение их толщины.

4. Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой (определение болтовой нагрузки, выбор прокладки, определение числа и диаметра болтов, проверка условия прочности фланцев и герметичности фланцевого соединения).

5. Расчет элементов теплообменного аппарата (выбор толщины и проверка статической прочности трубных решеток, проверка прочности крепления труб в трубных решетках, проверка прочности кожуха в месте крепления к трубной решетке).

6. Расчет укрепления отверстий в аппарате.

7. Выбор опор (лап) и проверка прочности и устойчивости корпуса в месте приварки опор.

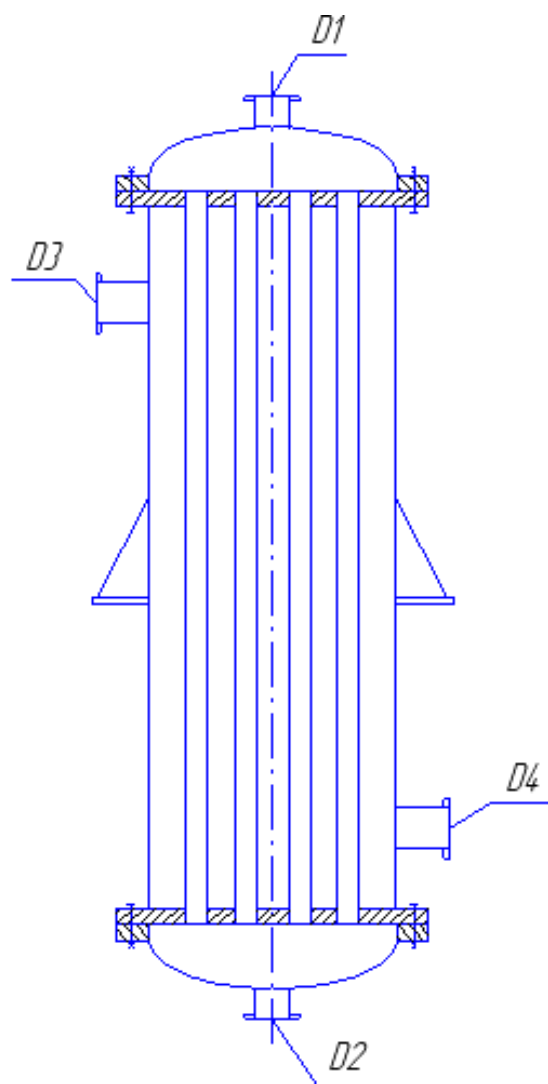


Рис.4. Кожухотрубный теплообменник.

Таблица 16.1

Исходные данные

Вариант	Трубное пространство			
	Давление, МПа	$t_{нач}, ^\circ\text{C}$	$t_{кон}, ^\circ\text{C}$	Среда
1Т	0,2	100	25	Масло поглотительное $\rho=820 \text{ кг/м}^3$
2Т	0,3	16	26	Вода
3Т	0,6	16	40	Вода
4Т	0,4	20	100	Толуол (жидкость)
5Т	0,6	30	0	Пирогаз (H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_3H_6) $\rho=4,6 \text{ кг/м}^3$
6Т	0,5	18	90	Глицерин $\rho=1239$ кг/м^3
7Т	0,5	-17	9	Рассол (20% р-р NaCl $\rho=1150$ кг/м^3)
8Т	0,1	105	30	Толуол (жидкость)
9Т	0,7	20	60	Нефть
10Т	0,3	15	35	Вода
11Т	0,5	80	30	Спирт метиловый, 40%
12Т	0,25	90	30	Дихлорэтан
13Т	0,2	60	30	Ацетон

Продолжение

Вариант	Трубное пространство			
	Давление, МПа	$t_{нач}, ^\circ\text{C}$	$t_{кон}, ^\circ\text{C}$	Среда
14Т	0,1	80	20	Азотная кислота, 50%
15Т	0,3	25	90	Натрия гидроокись, 10% раствор
16Т	0,35	30	95	Кальция хлорид, 10% раствор
17Т	0,25	35	80	Аммония нитрат, 10% раствор
18Т	0,2	25	75	Этиловый спирт, 60%
19Т	0,2	20	70	Четыреххлористый углерод
20Т	0,4	30	120	Анилин
21Т	0,15	20	70	Бензол
22Т	0,25	25	90	Соляная кислота, 20%
23Т	0,1	18	54	Ацетон
24Т	0,1	20	60	Хлороформ
25Т	0,2	20	70	Метиловый спирт, 40%
26Т	0,5	0	10	Рассол (20% р-р NaCl $\rho = 1150$ кг/м ³)
27Т	0,3	95	30	Натрия хлорид , 10% раствор

Окончание

28Т	0,2	100	40	Хлорбензол
29Т	0,5	75	35	Этилацетат
30Т	0,4	100	40	Толуол

Таблица 16.2 **Исходные данные**

Вариант	Межтрубное пространство			
	Давление, МПа	$t_{нач}, ^\circ\text{C}$	$t_{кон}, ^\circ\text{C}$	Среда
1Т	0,3	20	40	Масло поглотительное $\rho=820 \text{ кг/м}^3$
2Т	0,15	76	31	Азот (газ)
3Т	Атм.	80,1	80,1	Конденсирующиеся пары бензола
4Т	0,2	119,6	119,6	Конденсирующийся водяной пар
5Т	0,6	-30	20	Пирогаз (H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_3H_6) $\rho=4,9 \text{ кг/м}^3$
6Т	0,32	135	135	Конденсирующийся водяной пар
7Т	1	30	5	Диэтиловый эфир $\rho=716 \text{ кг/м}^3$

Продолжение

Вариант	Межтрубное пространство			
	Давление, МПа	$t_{нач}, ^\circ\text{C}$	$t_{кон}, ^\circ\text{C}$	Среда
8Т	0,1	15	45	Вода
9Т	0,2	120	120	Конденсирующийся водяной пар
10Т	атм	70	30	Бензол
11Т	0,1	20	60	Вода
12Т	0,1	20	60	Вода
13Т	0,15	15	40	Вода захлажденная
14Т	0,15	15	40	Вода захлажденная
15Т	0,2	120	120	Конденсирующийся водяной пар
16Т	0,25	125	125	Конденсирующийся водяной пар
17Т	0,6	150	150	Конденсирующийся водяной пар
18Т	0,2	120	120	Конденсирующийся водяной пар

Продолжение

Вариант	Межтрубное пространство			
	Давление, МПа	$t_{нач}, ^\circ\text{C}$	$t_{кон}, ^\circ\text{C}$	Среда
19Т	0,25	125	125	Конденсирующийся водяной пар
20Т	0,6	150	150	Конденсирующийся водяной пар
21Т	0,25	125	125	Конденсирующийся водяной пар
22Т	0,6	150	150	Конденсирующийся водяной пар
23Т	0,2	120	120	Конденсирующийся водяной пар
24Т	0,2	120	120	Конденсирующийся водяной пар
25Т	0,25	125	125	Конденсирующийся водяной пар
26Т	1,0	25	25	Конденсирующиеся пары аммиака
27Т	0,1	15	40	Вода захлажденная

Окончание

28Т	0,2	22	45	Вода
29Т	0,1	15	35	Вода захлажденная
30Т	0,2	18	38	Вода

Таблица 17.1

Исходные данные

Вариант	Внутренний диаметр аппарата, мм	Число трубок	Диаметр труб $d_{вн} \times s$, мм	Длина труб, мм
1Т	400	181	20×2	3000
2Т	400	111	25×2	2000
3Т	600	389	20×2	3000
4Т	600	257	25×2	2000
5Т	259	61	20×2	2000
6Т	600	257	25×2	4000
7Т	800	717	20×2	3000

Продолжение

Вариант	Внутренний диаметр аппарата, мм	Число трубок	Диаметр труб $d_{вн} \times s$, мм	Длина труб, мм
8Т	316	62	25×2	2000
9Т	800	465	25×2	4000
10Т	316	100	20×2	2000
11Т	1000	1173	20×2	3000
12Т	1000	747	25×2	3000
13Т	1200	1701	20×2	4000
14Т	1200	1083	25×2	4000
15Т	600	257	25×2	3000
16Т	800	465	25×2	4000
17Т	1000	747	25×2	4000
18Т	1200	1083	25×2	4000
19Т	1400	1545	25×2	4000
20Т	1200	1701	20×2	6000

Окончание

Вариант	Внутренний диаметр аппарата, мм	Число трубок	Диаметр труб $d_{вн} \times s$, мм	Длина труб, мм
21Т	600	257	25×2	3000
22Т	600	389	20×2	3000
23Т	800	717	20×2	4000
24Т	800	465	25×2	3000
25Т	1000	1173	20×2	4000
26Т	1000	747	25×2	4000
27Т	1200	1701	20×2	4000
28Т	1200	1083	25×2	4000
29Т	1400	1545	25×2	4000
30Т	1200	1701	20×2	6000

Таблица 17.2

Исходные данные

Вариант	Шаг размещения труб, мм*	Поверхность теплообмена , мм ²	Условный диаметр штуцеров, мм			
			D1, мм	D2, мм	D3, мм	D4, мм
1T	26	34	50	50	50	50
2T	32	17	50	50	40	40
3T	26	74	50	50	150	75
4T	32	40	100	100	80	50
5T	26	7,5	50	50	50	50
6T	32	81	125	125	150	50
7T	26	135	150	150	125	125
8T	32	10	80	80	65	65
9T	32	146	150	150	200	80
10T	26	12,5	65	65	80	50
11T	26	221	150	150	200	200

*Трубки размещаются по вершинам равносторонних треугольников в соответствии с ГОСТ 9929-82

Продолжение

Вариант	<u>Шаг размещения труб, мм*</u>	Поверхность теплообмена , мм ²	Условный диаметр штуцеров, мм			
			D1, мм	D2, мм	D3, мм	D4, мм
12T	32	176	125	125	150	125
13T	26	427	150	150	250	250
14T	32	380	125	125	150	125
15T	32	40	125	125	200	80
16T	32	146	150	150	250	125
17T	32	235	150	150	300	150
18T	32	256	200	200	250	100
19T	32	486	200	200	300	125
20T	26	641	125	125	100	100
21T	32	70	125	125	150	50
22T	26	74	50	50	150	75

*Трубки размещаются по вершинам равносторонних треугольников в соответствии с ГОСТ 9929-82

Окончание

Вариант	<u>Шаг размещения труб, мм*</u>	Поверхность теплообмена , мм ²	Условный диаметр штуцеров, мм			
			D1, мм	D2, мм	D3, мм	D4, мм
23T	26	173	150	150	125	50
24T	32	109	125	125	150	80
25T	26	295	125	125	150	60
26T	32	235	125	125	125	60
27T	26	427	150	150	100	100
28T	32	380	125	125	100	105
29T	32	486	200	200	125	125
30T	26	641	125	125	100	100

II(AM). Рассчитать и спроектировать (разработать сборочный чертеж) аппарата с мешалкой схема которого представлена на рисунке 5.

*Трубки размещаются по вершинам равносторонних треугольников в соответствии с ГОСТ 9929-82

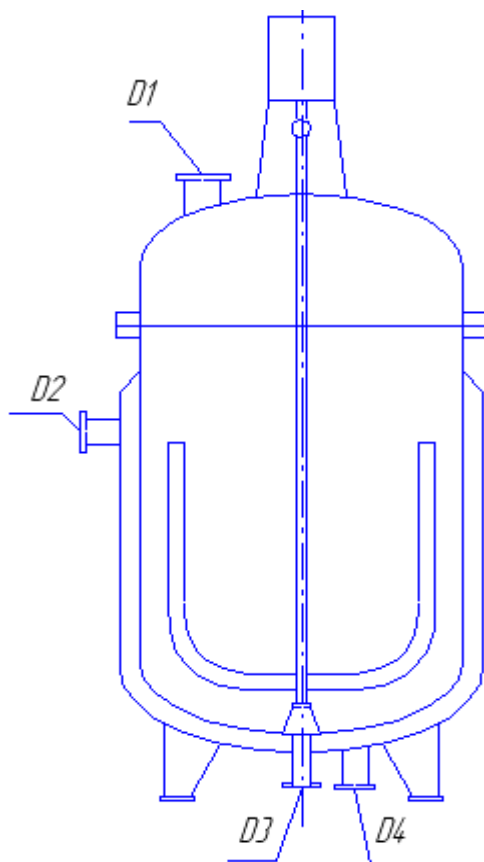


Рис.5. Аппарат с мешалкой

Технологические и конструктивные параметры (в зависимости от расчетного варианта) принять из табл.18, 19, 20, 21.

Содержание расчета.

1. Выбор конструкционных материалов для элементов аппарата.

2. Определение толщины стенки корпуса и рубашки.
3. Определение их толщины стенок крышки и днищ.
4. Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой (определение болтовой нагрузки, выбор прокладки, определение числа и диаметра болтов, проверка условия прочности фланцев и герметичности фланцевого соединения).
5. Расчет на прочность вала перемешивающего устройства и определение критической скорости вращения.
6. Расчет мешалки на прочность.
7. Расчет укрепления отверстий в аппарате.
8. Выбор опор (стоек) и проверка прочности и устойчивости корпуса рубашки в месте приварки опор.

Таблица 18

Исходные данные

Вариант	Рубашка			
	Давление , МПа	$t_{нач}$, °C	$t_{кон}$, °C	Среда
1АМ	0,3	20	45	Вода
2АМ	0,17	114,5	114,5	Конденсирующийся водяной пар
3АМ	0,5	187	187	Конденсирующийся водяной пар
4АМ	0,5	-17	9	Рассол 20% (р-р NaCl $\rho=1150$ кг/м ³)
5АМ	0,7	170	170	Конденсирующийся водяной пар
6АМ	0,3	90	70	Вода
7АМ	0,3	50	45	Вода

Продолжение

Вариант	Рубашка			
	Давление , МПа	$t_{нач}$, °C	$t_{кон}$, °C	Среда
8AM	1,0	180	180	Конденсирующийся водяной пар
9AM	1,2	187	187	Конденсирующийся водяной пар
10AM	0,8	170	170	Конденсирующийся водяной пар
11AM	0,20	119,6	119,6	Конденсирующийся водяной пар
12AM	0,3	132,9	132,9	Конденсирующийся водяной пар
13AM	0,4	142,9	142,9	Конденсирующийся водяной пар
14AM	1,0	180	180	Конденсирующийся водяной пар
15AM	1,5	197,4	197,4	Конденсирующийся водяной пар
16AM	0,8	170	170	Конденсирующийся водяной пар
17AM	0,9	174,5	174,5	Конденсирующийся водяной пар
18AM	1,2	187	187	Конденсирующийся водяной пар
19AM	1,3	190,7	190,7	Конденсирующийся водяной пар
20AM	0,3	132,9	132,9	Конденсирующийся водяной пар

21AM	0,4	142,9	142,9	Конденсирующийся водяной пар
22AM	0,8	170	170	Конденсирующийся водяной пар
23AM	0,20	119,6	119,6	Конденсирующийся водяной пар
24AM	1,0	100	60	Вода
25AM	0,9	174,5	174,5	Конденсирующийся водяной пар
26AM	1,0	179,0	179,0	Конденсирующийся водяной пар
27AM	0,7	164,2	164,2	Конденсирующийся водяной пар
28AM	0,2	90	70	Вода
29AM	0,2	90	70	Вода
30AM	0,2	90	70	Вода
31AM	0,2	90	70	Вода

Таблица 19

Исходные данные

Вариант	Аппарат			
	Давление, МПа	$t_{an}, ^\circ\text{C}$	Среда	Коэффициент заполнения аппарата φ или высота слоя жидкости в аппарате $H_{ж}$
1АМ	0,6	65	Смесь азотной и серной кислот $\rho=1600 \text{ кг/м}^3$	$H_{ж}=D_{в}$
2АМ	0,4	100	Толуол $\rho=870 \text{ кг/м}^3$	$H_{ж}=D_{в}$
3АМ	Вакуум (500 мм.рт.ст)	100	Глицерин 50% $\rho=996 \text{ кг/м}^3$	$\varphi=0,75$
4АМ	1,0	0	Диэтиловый эфир $\rho=716 \text{ кг/м}^3$	$\varphi=0,75$
5АМ	0,5	120	Реакционная масса (сильная щелочь) $\rho=1200 \text{ кг/м}^3$	$H_{ж}=D_{в}$
6АМ	Вакуум (400 мм.рт.ст)/ избыточное 0,15МПа	70	Реакционная масса (бутадиен, винилиденхлорид и др.)	$\varphi=0,75$

Продолжение

Вариант	Аппарат			
	Давление, МПа	$t_{an}, ^\circ\text{C}$	Среда	Коэффициент заполнения аппарата ϕ или высота слоя жидкости в аппарате $H_{ж}$
7AM	0,1	20	Смесь Пропиленгликоль, Триэтиленгликоль Спирт этиловый и др. $\rho=817 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
8AM	0,6	100	Натрия хлорид, 20% раствор $\rho=1150 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
9AM	0,6	100	Хлористый кальций, 30% раствор $\rho=1290 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
10AM	0,6	80	Натр едкий, 50% раствор $\rho=1483 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
11AM	0,3	60	Серная кислота, 60% раствор $\rho=1466 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
12AM	0,3	60	Этиловый спирт 40% $\rho=910 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
13AM	0,3	80	Изопропиловый спирт, $\rho=735 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
14AM	0,3	80	Метанол, 40%, $\rho=902 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$

Продолжение

Вариант	Аппарат			
	Давление, МПа	$t_{an}, ^\circ\text{C}$	Среда	Коэффициент заполнения аппарата φ или высота слоя жидкости в аппарате $H_{ж}$
15АМ	0,6	98	Реакционная масса (NaOH, Тетрасульфид Na, Сера) $\rho=1500$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
16АМ	0,6	80	Азотная кислота, 50% $\rho=2238$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
17АМ	0,6	90	Натрия хлорид, 10% раствор $\rho=1075$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
18АМ	0,6	90	Хлористый кальций, 20% раствор $\rho=1180$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
19АМ	0,3	80	Натр едкий, 40% раствор $\rho=1389$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
20АМ	0,2	60	Уксусная кислота, 50% раствор $\rho=1026$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
21АМ	0,2	60	Соляная кислота, 30% раствор $\rho=1126$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
22АМ	0,3	80	Аммиак, 26% $\rho=876$ кг/м ³	$\varphi=0,75$
23АМ	0,3	60	Натр едкий, 10% раствор $\rho=1089$ кг/м ³	$\varphi=0,75$

Окончание

Вариант	Аппарат			
	Давление, МПа	$t_{an}, ^\circ\text{C}$	Среда	Коэффициент заполнения аппарата ϕ или высота слоя жидкости в аппарате $H_{ж}$
24АМ	0,1	40	Эмаль (лак ПФ-060, охра марки О-2 и др) $\rho=1127 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
25АМ	0,6	100	Натрия хлорид, 25% раствор $\rho=1190 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
26АМ	0,6	100	Хлористый кальций, 35% раствор $\rho=1345 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
27АМ	0,3	80	Натр едкий, 30% раствор $\rho=1289 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
28АМ	Вакуум (400 мм.рт.ст)/избыточное 0,15 МПа	70	Реакционная масса (бутадиен, винилиденхлорид и др.)	$\phi=0,75$
29АМ	0,3	60	Метанол, 40% $\rho=913 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
30АМ	0,4	80	Изопропиловый спирт $\rho=753 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$
31АМ	0,5	70	Четыреххлористый углерод $\rho=1517 \text{ кг/м}^3$	$\phi=0,75$

Таблица 20

Исходные данные

Вариант	Внутренний диаметр корпуса, мм	Внутренний диаметр рубашки, мм	Высота рубашки, Н _р , мм	Тип мешалки
1АМ	1600	1700	1680	Лопастная (тип 1)
2АМ	1400	1500	1380	Якорная (тип 3)
3АМ	1200	1300	1740	Якорная (тип 3)
4АМ	1800	1900	2495	Рамная (тип 4)
5АМ	1000	1100	1565	Лопастная (тип 1)
6АМ	2400	2600	2400	Рамная (тип 4)
7АМ	1600	1700	1680	Якорная (тип 3)
8АМ	900	1000	870	Лопастная (тип 1)
9АМ	1000	1100	1140	Лопастная (тип 1)
10АМ	1200	1300	1280	Лопастная (тип 1)
11АМ	1400	1500	1440	Лопастная (тип 1)
12АМ	1600	1700	1790	Лопастная (тип 1)
13АМ	1800	2000	2250	Лопастная (тип 1)

Продолжение

Вариант	Внутренний диаметр корпуса, мм	Внутренний диаметр рубашки, мм	Высота рубашки, Н _р , мм	Тип мешалки
14AM	2200	2400	2250	Лопастная (тип 1)
15AM	2400	2600	3910	Лопастная (тип 1)
16AM	900	1000	870	Якорная (тип 3)
17AM	1000	1100	1140	Якорная (тип 3)
18AM	1200	1300	1280	Якорная (тип 3)
19AM	1400	1500	1440	Якорная (тип 3)
20AM	1600	1700	1790	Якорная (тип 3)
21AM	1800	2000	2250	Якорная (тип 3)
22AM	2200	2400	2250	Якорная (тип 3)
23AM	2400	2600	3910	Якорная (тип 3)
24AM	900	1000	870	Рамная (тип 4)
25AM	1000	1100	1140	Рамная (тип 4)
26AM	1200	1300	1280	Рамная (тип 4)
27AM	1400	1500	1440	Рамная (тип 4)

Окончание

Вариант	Внутренний диаметр корпуса, мм	Внутренний диаметр рубашки, мм	Высота рубашки, Н _р , мм	Тип мешалки
28AM	1600	1700	1790	Рамная (тип 4)
29AM	1800	2000	2250	Рамная (тип 4)
30AM	2200	2400	2250	Рамная (тип 4)
31AM	2400	2600	3910	Рамная (тип 4)

Таблица 21

Исходные данные

Вариант	Расчетная мощность перемешивания N _п , кВт	Скорость вращения мешалки, ω, 1/с (п, об/мин)	Условный диаметр штуцеров, мм			
			D1, мм	D2, мм	D3, мм	D4, мм
1AM	0,5	6,6 (63)	400	50	80	50
2AM	1,1	4,2 (39,6)	400	50	80	50
3AM	0,7	4,2 (39,6)	250	50	80	50
4AM	0,1	2,1 (19,8)	500	50	100	50
5AM	0,6	8,4 (78)	200	50	80	50
6AM	0,6	3,0 (28,7)	500	50	100	50

Продолжение

Вариант	Расчетная мощность перемешивания N_p , кВт	Скорость вращения мешалки, ω , 1/с (п, об/мин)	Условный диаметр штуцеров, мм			
			D1, мм	D2, мм	D3, мм	D4, мм
7AM	0,6	3,35 (32)	400	50	80	50
8AM	0,6	1,67 (16)	150	50	65	50
9AM	0,6	2,09 (20)	200	50	80	50
10AM	0,8	2,61 (25)	250	50	80	50
11AM	0,8	3,29 (31,5)	400	50	80	50
12AM	0,9	4,20 (4,2)	400	50	80	50
13AM	1,0	5,25 (50)	500	50	100	50
14AM	2,2	1,335 (13)	500	50	100	50
15AM	15	8,3 (80)	500	50	100	50
16AM	0,6	1,67 (16)	150	50	65	50
17AM	0,6	2,09 (20)	200	50	80	50
18AM	0,8	2,61 (25)	250	50	80	50
19AM	0,8	3,29 (31,5)	400	50	80	50

Окончание

Вариант	Расчетная мощность перемешивания N_p , кВт	Скорость вращения мешалки, ω , 1/с (п, об/мин)	Условный диаметр штуцеров, мм			
			D1, мм	D2, мм	D3, мм	D4, мм
20AM	0,9	4,20 (4,2)	400	50	80	50
21AM	1,0	5,25 (50)	450	50	100	50
22AM	2,2	1,335 (13)	450	50	100	50
23AM	15	8,3 (80)	450	50	100	50
24AM	0,2	8,3 (80)	150	50	65	50
25AM	0,08-3,00	2,61 (25)	200	50	80	50
26AM	0,8	2,61 (25)	250	50	80	50
27AM	0,8	3,29 (31,5)	400	50	80	50
28AM	0,9	4,20 (4,2)	450	50	80	50
29AM	1,0	5,25 (50)	500	50	100	50
30AM	2,2	1,335 (13)	500	50	100	50
31AM	15	8,3 (80)	550	65	100	65

Примечание: Тип привода в таблицах 20, 21 во всех вариантах: Вертикальный по МН 5855-66 (тип 1).

Дополнительные данные взять из книги: Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970 (752 с.).

- 1) размеры рубашки см. в табл.17.1 (с.485-486)
- 2) характеристики лопастных мешалок (тип.1) см. в табл. 31.2 (с.704) и 31.6 (с.710)
- 3) характеристики якорных (тип.3) и рамных (тип.4) см. в табл.31.3 (с.705), 31.9 (с.714) и 31.10 (с.715)
- 4) характеристики привода см. в табл. 32.1 (с.725), 32.2 (с.726), 32.3 (с.728)

III(К). Рассчитать и спроектировать (разработать сборочный чертеж) ректификационной колонны схема которой представлена на рисунке 6.

Технологические и конструктивные параметры (в зависимости от расчетного варианта) принять из табл.19 и 20. Нормативный скоростной напор ветра принять для II ветрового района ($=300 \text{ Па}$)

Содержание расчета.

1. Выбор конструкционных материалов для элементов колонны.
2. Определение толщины стенки корпуса.
3. Определение толщины стенки днищ, люков, штуцеров.
4. Выбор цилиндрической опоры для колонного аппарата.
5. Расчет аппарата на ветровую нагрузку, проверка прочности и устойчивости корпуса аппарата и опорной обечайки от совместного действия внутреннего (наружного) избыточного давления, веса и ветрового изгибающего момента.
6. Расчет фланцевого соединения люка с крышкой (определение болтовой нагрузки, выбор прокладки, определение числа и диаметра болтов, проверка условия прочности фланцев и герметичности фланцевого соединения).

7. Расчет укрепления отверстий в аппарате.

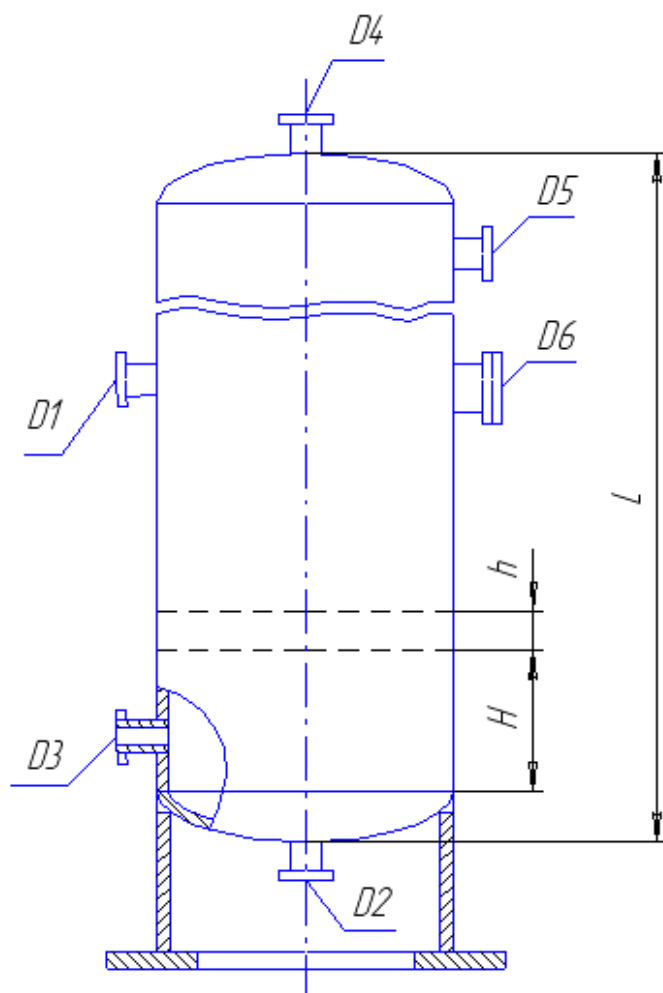


Рис.6. Ректификационная колонна.

Таблица 22

Исходные данные

Вариант	Среда (разделяемая смесь)	Давление в колонне, МПа	Температура внизу колонны, °С	Внутренний диаметр колонны D, мм	Высота колонны, L, мм
1К	Ацетон – вода	0,2	121	1000	25000
2К	Вода – фенол	0,2	208	1200	28000
3К	Этан – этилен	4,0	24	1600	30000
4К	Пропан – пропилен	2,0	58	1400	25000
5К	Вода – уксусная кислота	0,2	144	1000	20000
6К	Жирные кислоты	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	257	1200	22000
7К	Жирные кислоты	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	257	1000	18000
8К	Пропан, бутан, пентан	2,0	130	2200	40000
9К	Бутан, пентан	1,1	150	1800	30000
10К	Ацетон - вода	1,0	150	800	15000
11К	Ацетон – этиловый спирт	1,5	150	1000	16000

Продолжение

Вариант	Среда (разделяемая смесь)	Давление в колонне, МПа	Температура внизу колонны, °С	Внутренний диаметр колонны D, мм	Высота колонны, L, мм
12К	Этанол - вода	1,3	140	1200	18000
13К	Метанол – Этанол	0,8	100	1400	20000
14К	Пропиловый спирт-этиловый спирт	1,6	160	1600	21000
15К	Диэтиловый эфир - этанол	1,0	150	1800	22000
16К	Бутан, пентан	1,1	130	2000	24000
17К	Пропан, бутан, пентан	2,0	150	2400	28000
18К	Этиленгликоль - вода	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	200	800	14000
19К	Глицерин - вода	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	180	1000	15000
20К	Анилин - вода	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	100	1200	17000

Окончание

Вариант	Среда (разделяемая смесь)	Давление в колонне, МПа	Температура внизу колонны, °С	Внутренний диаметр колонны D, мм	Высота колонны, L, мм
21К	Нефть (тяжелая фракция)	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	120	1400	19000
22К	Нефть (тяжелая фракция)	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	240	1600	20000
23К	Нефть (тяжелая фракция)	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	240	1800	21000
24К	Нефть (тяжелая фракция)	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	250	2000	22000
25К	Нефть (тяжелая фракция)	Вакуум (остаточн. 0,005 МПа)	250	2400	26000
26К	Нитробензол - бнгзол	0,2	120	800	16000
27К	Уксусная кислота	0,4	140	1000	17000
28К	Серная кислота	0,3	130	1200	19000
29К	Соляная кислота	0,5	140	1400	21000
30К	Изопропиловый спирт – пропиловый спирт	1,4	120	1600	24000

Таблица 23

Исходные данные

Вариант	Число тарелок, п	Тип тарелки	Шаг тарелок h, мм	Условный диаметр штуцеров, мм					Внутренний диаметр люка D ₆ , мм
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	
1К	36	Клапанная	500	100	125	400	300	100	450
2К	33	Клапанная	600	125	150	500	400	125	500
3К	32	Клапанная	700	150	200	500	400	150	600
4К	30	Клапанная	600	150	200	500	400	150	600
5К	32	Клапанная	450	100	125	350	300	100	450
6К	36	Решетчатая провальная	600	125	150	500	500	125	450
7К	28	Решетчатая провальная	460	125	125	500	400	100	400
8К	40	Клапанная двухпоточная	600	250	400	400	300	200	500

Продолжение

Вариант	Число тарелок, п	Тип тарелки	Шаг тарелок h, мм	Условный диаметр штуцеров, мм					Внутренний диаметр люка D ₆ , мм
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	
9К	36	Клапанная двухпоточная	600	250	400	400	300	200	500
10К	37	Колпачковая	400	100	125	300	300	100	450
11К	40	Колпачковая	400	150	125	300	300	100	450
12К	36	Клапанная	500	150	125	400	300	100	500
13К	40	Клапанная	500	150	125	400	300	100	500
14К	42	Клапанная	500	150	150	400	400	125	500
15К	37	Клапанная	600	150	150	300	300	125	500
16К	40	Клапанная двухпоточная	600	200	150	400	400	125	500
17К	47	Клапанная двухпоточная	600	200	150	400	400	125	600

Продолжение

Вариант	Число тарелок, п	Тип тарелки	Шаг тарелок h, мм	Условный диаметр штуцеров, мм					Внутренний диаметр люка D ₆ , мм
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	
18K	25	Решетчатая провальная	400	100	125	300	300	100	450
19K	27	Решетчатая провальная	400	150	125	300	300	100	450
20K	24	Решетчатая провальная	500	150	125	400	300	100	500
21K	28	Решетчатая провальная	500	150	125	400	300	100	500
22K	30	Решетчатая провальная	500	150	150	400	400	125	500
23K	25	Решетчатая провальная	600	150	150	300	300	125	500

Окончание

Вариант	Число тарелок, п	Тип тарелки	Шаг тарелок h, мм	Условный диаметр штуцеров, мм					Внутренний диаметр люка D ₆ , мм
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	
24К	27	Решетчатая провальная	600	200	150	400	400	125	500
25К	23	Решетчатая провальная	600	200	150	400	400	125	600
26К	40	Клапанная	400	100	125	300	300	100	450
27К	42	Клапанная	400	150	125	300	300	100	450
28К	38	Клапанная	500	150	125	400	300	100	500
29К	42	Клапанная	500	150	125	400	300	100	500
30К	48	Клапанная	500	150	150	400	400	125	500

ПРИЛОЖЕНИЕ

Образец оформления титульного листа

Министерство образования и науки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Заочное/вечернее отделение

Кафедра "Машины и аппараты химических производств"

Курс "Основы расчёта и конструирования химических машин и
аппаратов"

Контрольная работа №__

Студент Ф.И.О.

Группы №__

Шифр №__

Домашний адрес

(с указанием почтового индекса)_____

201__/201__учеб. год

ЛИТЕРАТУРА

1. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки(примеры и задачи): Учебное пособие.-М.: Альфа-М,2008.-720 с.
2. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: Учебник. – Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Альфа-М, 2006. - 608 с.:ил.
3. Алексеев В.В., Закиров М.А., Рачковский, С.В., Хоменко, А.А. Машины и аппараты химических производств: Учебное пособие – Казань, 2011.- 227 с.
4. Беляев В.М., Миронов В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 288с.
5. Гуляев В.Н., Петров О.А. Машины и аппараты химических производств: Лекции. – Минск, БГТУ, 2009. - 119 с.
6. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств: Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2011. - 127 с.
7. Семакина О.К., Миронов В.М. Машины и аппараты химических производств. Часть 2 Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2012. - 126 с.
8. Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. М.: Машгиз, 1960.
9. Соколов Б.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. М: Машиностроение, 1983.
10. Румянцев О.В. Оборудование цехов синтеза высокого давления и азотной промышленности. М. Машгиз, 1970.
11. Дарков А.В. Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. М. Высшая школа, 1975.
12. Беляев М.Н. Сопротивление материалов. М. Наука, 1976.
13. Вихман Г.Л. Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. М. Машиностроение, 1978. 294 с.
14. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин. Л. Машиностроение, 1984.
15. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970. 752 с.
16. Домашнев А.Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. М.: Машгиз, 1961. 624 с.
17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Под общей редакцией проф. Михалева М.Ф. Л.: Машиностроение, 1984. 301 с.

18. Смирнов Г.Г., Толчинский А.Р., Кондратьева Т.Ф. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств. Л.: Машиностроение, 1988. 303 с.
19. Топтуненко Е.Т. Основы конструирования и расчета химических машин и аппаратов. Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1968. Ч.1.
20. Жирицкий Г.С., Стрункин Г.А. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин. М.: Машиностроение, 1968.
21. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилович Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1979.
22. Фесик С.П. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Будивельник, 1970.
23. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968.
24. ГОСТ Р 52857.1 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 26с.
25. 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. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 44с.
26. ГОСТ Р 52857.3 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлении. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 30с.
27. ГОСТ Р 52857.4 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 44с.
28. ГОСТ Р 52857.5 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействий опорных нагрузок. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 26с.
29. ГОСТ Р 52857.7 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 50с.
30. ГОСТ Р 52857.8 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками. М. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2008 – 30с.
31. ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий. М. ИПК Издательство стандартов. 1999 – 11с.
32. ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность. М. ИПК Издательство стандартов. 1999.
33. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / Лашинский А.А. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981. – 382 с.

Справочники
Расчет и конструирование

34. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т.1. Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2002. Т.1 - с

35. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Машиностроение, 1978. – 328 с.

36. Конструирование и расчет машин химических производств / Под. общ. ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. - М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

37. Машины химических производств. Атлас конструкций / Под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. - М.: Машиностроение, 1981. – 118 с.

38. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи / М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, И.А. Мильченко и др.; Под. общ. ред. М.Ф. Михалева. - Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с.

39. Криворот А.С. Конструкции и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. Учеб. пособие для техникумов. – М.: Машиностроение, 1976. – 376 с.

Теплофизические параметры

40. Чиркин В.С. Теплопроводность промышленных материалов. Справочное пособие. - 2-е изд. - М.: Машгиз, 1962. - 247 с.

41. Теплофизические свойства веществ. Справочник. - М. – Л.: Госэнергоиздат, 1956. - 367 с.

42. Теплофизический справочник. Под общ. ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. т. 2. - М.: Энергия, 1976. – 896 с.

43. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Физматгиз, 1963. – 708 с.

44. Теплофизические свойства веществ и материалов, вып. 11. - М.: Издательство стандартов, 1977. – 160

45. Цеберберг Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 408 с.

46. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. - М.-Л.: Хи-мия, 1970. - 535 с

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

*А. А. Назаров, В. А. Алексеев,
Н. С. Гришин, Р. Р. Зарипов*

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ

Ответственный за выпуск А. Д. Галеев

Подписано в печать 10.04.14

Бумага офсетная

5,0 уч.-изд. л.

Печать Riso

Тираж 100 экз.

Формат 60×84/16

4,65 усл. печ. л.

Заказ 60 «С» 39

Издательство Казанского национального исследовательского
технологического университета

Офсетная лаборатория Казанского национального
исследовательского технологического университета

420015, Казань, К.Маркса, 68