

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце: МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФИО: Силин Яков Петрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 03.06.2026 14:37:01
Уникальный программный ключ:
24f866be2aca16484036a8cb0c509a9931e609

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Одобрена
на заседании кафедры

09.12.2025 г.
протокол № 4
Зав. кафедрой Лазарев В.А.

Утверждена
Советом по учебно-методическим
вопросам и качеству образования

16 декабря 2025
протокол № 4
Председатель  Карх Д.А.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины	Расчет и конструирование
Направление подготовки	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Профиль	Инжиниринг технологического оборудования
Форма обучения	очно-заочная
Год набора	2026

Разработана:
Доцент, к.т.н.
Лазарев В.А.

Екатеринбург
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП	3
3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	3
4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП	3
5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	4
6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ	4
7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	6
8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ	8
9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	8
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	9
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	9

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы бакалавриата, разработанной в соответствии с ФГОС ВО

ФГОС ВО	Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования- бакалавриат по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 728)
---------	---

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Расчет и конструирование» является формирование у студентов компетенций связанных с разработкой и конструированием машин и аппаратов предприятий пищевых производств и общественного питания; привитие навыков по оптимальному проектированию и конструированию надежного, высокопроизводительного технологического оборудования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части учебного плана.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Промежуточная аттестация	Часов					З.е.
	Всего за семестр	Контактная работа (по уч.зан.)			Самостоятельная работа в том числе подготовка контрольных и курсовых	
		Всего	Лекции	Практические занятия, включая курсовое проектирование		
Семестр 7						
Зачет	108	16	8	8	88	3
Семестр 8						
Экзамен, Курсовой проект	180	20	8	12	151	5
	288	36	16	20	239	8

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП

В результате освоения ОПОП у выпускника должны быть сформированы компетенции, установленные в соответствии ФГОС ВО.

Шифр и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций
О П К - 1 3 Способен применять стандартные методы расчета при проектировании деталей и узлов технологических машин и оборудования;	ИД-1.ОПК-13 Знать основные принципы расчета и конструирования пищевого оборудования, обеспечения прочности, устойчивости, долговечности и безопасности его работы
	ИД-2.ОПК-13 Уметь проводить прочностные расчеты деталей и узлов оборудования

О П К - 1 3 Способен применять стандартные методы расчета при проектировании деталей и узлов	ИД-3.ОПК-13 Иметь практический опыт владения методами проектирования и изготовления технологического оборудования
---	---

5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Тема	Наименование темы	Всего часов	Контактная работа (по уч. зан.)			Самост. работа	Контроль самостоятельной работы
			Лекции	Лабораторные	Практические занятия		
Семестр 7		10					
Тема 1.	Общие сведения о конструировании деталей и узлов.	56	4		4	48	
Тема	Принципы и методика	48	4		4	40	
Семестр 8		17					
Тема 3.	Экономические предпосылки конструирования	74	2		2	70	
Тема 4.	Снижение материалоемкости деталей и узлов.	5	1		4		
Тема 5.	Снижение материалоемкости деталей и узлов	92	5		6	81	

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Раздел/Тема	Вид оценочного средства	Описание оценочного средства	Критерии оценивания
Текущий контроль (Приложение 4)			
Темы 1-2	Тест (приложение 4)	Тестовое задание. В каждом варианте содержится 3 расчетных задачи	15 баллов
Тема 2-3	Тест (приложение 4)	Тестовое задание. В каждом варианте содержится 3 расчетных задачи	15 баллов
Тема 3-5	Тест (приложение 4)	Тестовое задание. В каждом варианте содержится 3 расчетных задачи	15 баллов
Промежуточная аттестация (Приложение 5)			
8 семестр (Эк)	Экзаменационный билет (приложение 5)	Билет содержит теоретический вопрос и практическое задание на построение чертежа в системе nanoCad	100 баллов
8 семестр (КП)	Курсовой проект	«Перечень курсовых проектов (Приложение 3), Методические рекомендации по выполнению курсового проекта по дисциплине (Приложение 7)	100 баллов
7 семестр (За)	Билет к зачету (приложение)	Билет содержит 2 теоретических вопроса и практическое задание	100 баллов

ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

Показатель оценки освоения ОПОП формируется на основе объединения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающегося.

Показатель рейтинга по каждой дисциплине выражается в процентах, который показывает уровень подготовки студента.

Текущий контроль. Используется 100-балльная система оценивания. Оценка работы студента в течение семестра осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки учебных достижений в процессе обучения по данной дисциплине.

В рабочих программах дисциплин и практик закреплены виды текущего контроля, планируемые результаты контрольных мероприятий и критерии оценки учебных достижений.

В течение семестра преподавателем проводится не менее 3-х контрольных мероприятий, по оценке деятельности студента. Если посещения занятий по дисциплине включены в рейтинг, то данный показатель составляет не более 20% от максимального количества баллов по дисциплине.

Промежуточная аттестация. Используется 5-балльная система оценивания. Оценка работы студента по окончании дисциплины (части дисциплины) осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки достижений студента в процессе обучения по данной дисциплине. Промежуточная аттестация также проводится по окончании формирования компетенций.

Порядок перевода рейтинга, предусмотренных системой оценивания, по дисциплине, в пятибалльную систему.

Высокий уровень – 100% - 70% - отлично, хорошо.

Средний уровень – 69% - 50% - удовлетворительно.

Показатель оценки	По 5-балльной системе	Характеристика показателя
100% - 85%	отлично	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на высоком уровне
84% - 70%	хорошо	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Могут быть допущены недочеты, исправленные студентом самостоятельно в процессе работы (ответаи т.д.)
69% - 50%	удовлетворительно	обладают общими теоретическими знаниями, умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на среднем уровне. Допускаются ошибки, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.
49 % и менее	неудовлетворительно	обладают не полным объемом общих теоретическими знаниями, не умеют самостоятельно применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Не сформированы умения и навыки для
100% - 50%	зачтено	характеристика показателя соответствует «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»
49 % и менее	не зачтено	характеристика показателя соответствует «неудовлетворительно»

7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Содержание лекций

<p>Тема 1. Общие сведения о конструировании деталей и узлов. Методика расчета вакуум-выпарных аппаратов</p>
<p>Тема 2. Принципы и методика конструирования. Методика расчета жаровни</p>
<p>Тема 3. Экономические предпосылки конструирования Методика расчета аппаратов для охлаждения и замораживания</p>
<p>Тема 4. Снижение материалоемкости деталей и узлов. Изучаемые вопросы: 1. Условие равнопрочности деталей и узлов 2. Нагружение деталей 3. Облегчение деталей 4. Упрочнение металлов 5. Выбор материалов для изготовления деталей</p>
<p>Тема 5. Снижение материалоемкости деталей и узлов Изучаемые вопросы: 1. Основные понятия 2. Потери машинного времени 3. Относительные величины потерь времени 4. Взаимосвязь различных видов производительности 5. Пропускная способность внутримашинных транспортеров 6. Производительность машин первого класса 7. Производительность машин второго класса</p>

7.2 Содержание практических занятий и лабораторных работ

<p>Тема 2. Принципы и методика конструирования. Расчет жаровни</p>
<p>Тема 3. Экономические предпосылки конструирования Расчет аппаратов для охлаждения и замораживания</p>
<p>Тема 4. Снижение материалоемкости деталей и узлов. Расчет печей, автоклава, бланширователя</p>
<p>Тема 5. Снижение материалоемкости деталей и узлов Расчет шпарителя шрота</p>

7.3. Содержание самостоятельной работы

<p>Тема 2. Принципы и методика конструирования. Валы, опоры вращения и муфты, соединения деталей машин</p>
<p>Тема 3. Экономические предпосылки конструирования Механические передачи</p>
<p>Тема 5. Снижение материалоемкости деталей и узлов Стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение оборудования перерабатывающих производств.</p>

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 1

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 2

7.3.3. Перечень курсовых работ
Приложение 3

7.4. Электронное портфолио обучающегося
Размещается курсовая работа

7.5. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
Материалы не предусмотрены

7.6 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы
Приложение 7

8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

По заявлению студента

В целях доступности освоения программы для лиц с ограниченными возможностями здоровья при необходимости кафедра обеспечивает следующие условия:

- особый порядок освоения дисциплины, с учетом состояния их здоровья;
- электронные образовательные ресурсы по дисциплине в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья;
- изучение дисциплины по индивидуальному учебному плану (вне зависимости от формы обучения);
- электронное обучение и дистанционные образовательные технологии, которые предусматривают возможности приема-передачи информации в доступных для них формах.
- доступ (удаленный доступ), к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определен РПД.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Сайт библиотеки УрГЭУ

<http://lib.usue.ru/>

Основная литература:

2. Константинов В.Ф. Расчет и конструирование конвейеров [Электронный ресурс]: Учебно-методическая литература. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 112 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/2098528>

3. Остриков А.Н., Василенко В.Н., Пойманов В.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств [Электронный ресурс]: Учебник. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 476 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/2098529>

Дополнительная литература:

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Перечень лицензионного программного обеспечения:

Astra Linux Common Edition. Договор №0417-ПО/2019 от 08.05.2019, Акт №Sk000343 от 24.05.2019 и Контракт № 35-У/2018 от 13.06.2018, Акт № УТ213 от 17.12.2018. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

МойОфис стандартный. Соглашение № СК-281 от 7 июня 2017. Дата заключения - 07.06.2017. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Перечень информационных справочных систем, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Реализация учебной дисциплины осуществляется с использованием материально-технической базы УрГЭУ, обеспечивающей проведение всех видов учебных занятий и научно-исследовательской и самостоятельной работы обучающихся:

Специальные помещения представляют собой учебные аудитории для проведения всех видов занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду УрГЭУ.

Все помещения укомплектованы специализированной мебелью и оснащены мультимедийным оборудованием (информационно-телекоммуникационным, иным компьютерным), доступом к информационно-поисковым, справочно-правовым системам, электронным библиотечным системам, базам данных действующего законодательства, иным информационным ресурсам служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа презентации и другие учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации.

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

К зачету

1. Структурный анализ машин и аппаратов. Составление структурных схем.
2. Основные требования, предъявляемые к конструированию торгово-технологического оборудования.
3. Емкостные аппараты, работающие под атмосферным давлением. Емкостная аппаратура. Типаж емкостной аппаратуры.
4. Построение структурных схем технологической машины, технологического аппарата.
5. Техничко-экономический эффект и его значение при разработке новой конструкции.
6. Рациональные формы резервуаров и их расчет. ГОСТы и отраслевые нормы на расчет и конструирование емкостного оборудования.
7. Основные понятия и определения инженерной теории пластин; детали оборудования пищевого производства, являющимися пластинами ГОСТы на сосуда работающие под давлением.
8. Конструирование и расчет цилиндрических, конических и сферических и эллиптических элементов оборудования. Выбор формы днищ, крышек, заглушек.
9. Унификация и нормализация узлов и деталей. Агрегатирование.
10. Уравнение равновесия элемента нагруженной пластины.
11. Основные задачи, решаемые при конструировании машин.
12. Расчет горизонтальных аппаратов. Основные положения.
13. Основы прочностного расчета пластин.
14. Материалоемкость оборудования, деталей и узлов; методы снижения материалоемкости. Конструктивные способы облегчения деталей и узлов машин.
15. Укрепление отверстий.
16. Основные понятия и определения инженерной теории оболочек. Тонкостенные сосуды в технологическом оборудовании.
17. Жесткость конструкции, методы повышения жесткости.
18. Особенности инженерного расчета аппаратов, работающих под внешним давлением. Кольца и ребра жесткости.
19. Силы и моменты, действующие в стенках нагруженных оболочек. Понятие моментальной и безмоментальной теории.
20. Проблема долговечности машин и моральное старение.
21. Особенности конструирования и расчет трубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов.
22. Основные уравнения равновесия для нагруженных оболочек (уравнение Лапласа и уравнение равновесия зоны).
23. Методы и принципы конструирования. Единая система конструкторской документации (ЕСКД).
24. Типаж теплообменной аппаратуры. Расчет и конструирование трубчатых и пластичных теплообменников.
25. Расчет напряжений и деформаций в стенках сосудов на основе безмоментальной теории оболочек.

К экзамену

1. Роль изобретательства, рационализации и патентной проработки при конструировании.
2. Расчет и конструирование трубных решеток?
3. Расчет деформаций в тонкостенных сосудах. Краевая задача, краевые и распорные силы, краевые напряжения в сопряженных сосудах.
4. Инженерные задачи, решаемые с помощью теории надежности. Основные понятия и показатели надежности оборудования.
5. Температурные напряжения и их компенсация. Тепловые компенсаторы.
6. Понятие об устойчивости оболочек. Коэффициент запаса устойчивости.
7. Основные стадии проектирования: техническое задание, техническое предложение, технические проекты, разработка рабочей документации.
8. Трубопроводы, арматура и коммуникации.
9. Устойчивость длинных и коротких оболочек. Особенности работы оболочек при совместном действии напряжений сжатия, изгиба и кручения.
10. Основные характеристики материалов, учитываемые при конструировании.
11. Требования к разъемным соединениям. Расчет и конструирование фланцевых соединений (расчет на прочность и плотность). Выбор прокладок.
12. Основные понятия и определения инженерной теории колебаний. Резонанс. Биение.
13. Особенности расчетов при действии низких и высоких температур (явления охрупчивания, ползучести, релаксации). Учет влияния коррозии.
14. Бесфланцевые разъемные соединения.
15. Расчет максимальных сил, передаваемых на основание машин при колебаниях.
16. Выбор допускаемых напряжений. Коэффициенты запаса прочности.
17. Узлы для присоединения контрольных приборов, устройств осмотра и других элементов.
18. Коэффициенты динамичности, демпфирования и передача силы. Жесткость сложных систем, подверженных колебаниям.
19. Влияние метода изготовления на конструкцию аппарата. Конструирование литой и сварной аппаратуры.
20. Опоры, лапы, лазы и люки. Проектирование станин аппаратов.
21. Вибрация быстровращающихся валов. Критическая скорость вращения вала и её расчет. Способы уменьшения вибрации валов.
22. Учет условий механической обработки деталей, сборка и разборка аппарата при его конструировании.
23. Прессующие и транспортирующие шнековые механизмы. Конструктивные схемы. Определение действующих нагрузок. Расчет на прочность шнека и его витка.
24. Вибрация машин. Основные параметры виброизоляции машин. Понятие об активной и пассивной виброизоляции.
25. Особенности расчета и конструирования аппарата из двухслойных материалов. Конструирование эмалированных материалов.
26. Конструирование машин для перемешивания пищевых продуктов. Основы механического расчета мешалок. Особенности расчета рабочих органов лопастной мешалки.
27. Основы инженерной теории колебаний. Расчет и проектирование аппаратов из неметаллических материалов.
28. Рабочие органы машин для резания пищевых продуктов: серповидные, ленточные, гильотинные, дисковые и крестообразные ножи). Основы расчета ножевых валов?

29. Характеристика основных элементов машин-автоматов: рабочие органы исполнительные механизмы, привод. Циклограмма машины-автомата и её характеристика.
30. Классификация типового оборудования предприятий пищевых производств по конструктивному признаку.
31. Смазочные материалы и их выбор. Конструктивное выполнение смазочного узла. Разработка схемы смазки и карты смазки.

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

Номер задания	Содержание задания	Компетенция
	<i>Задания закрытого типа</i>	
1	Укажите способ проецирования, который используется при построении чертежа на плоскости с применением САПР-систем? а) центральное; б) параллельное; в) прямоугольное (ортогональное); г) аксонометрическое.	ОПК-13
2	Какие современные САПР-системы относятся к отечественным разработкам программного обеспечения? а) AutoCAD; б) ArchiCAD; в) SolidWorks; г) nanoCAD.	ОПК-13
3	В каких пределах лежит толщина сплошной толстой основной линии в соответствии с ГОСТ 2.303-68 ЕСКД, применяемой при проектировании предприятий с помощью САПР-систем? а) 0,5 2,0 мм; б) 1,0 1,5 мм; в) 0,5 1,4 мм; г) 0,2 1,0 мм.	ОПК-13
4	Укажите правильные названия основных плоскостей проекций в инженерной графике? а) фронтальная, горизонтальная, профильная; б) центральная, нижняя, боковая; в) передняя, левая, верхняя; г) передняя, боковая, задняя.	ОПК-13
5	Выберите наибольший по размеру основной формат листа в соответствии с ГОСТ 2.301-68 ЕСКД, применяемый в профессиональной деятельности: а) А2; б) А0; в) А5; г) А1.	ОПК-13
6	Какой масштаб уменьшения не применяется в профессиональной деятельности в соответствии с ГОСТ 2.302-68 ЕСКД: а) 1:2; б) 1:2,5; в) 1:3; г) 1:4.	ОПК-13
7	Какой ряд масштабов не применяется в профессиональной деятельности при проектировании в соответствии с ГОСТ 2.302-68 ЕСКД? а) масштабы уменьшения; б) масштабы увеличения; в) масштаб натуральной величины; г) масштабы пересчета.	ОПК-13

8	<p>Какие разрезы не применяются для проектирования в профессиональной деятельности в соответствии с ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД?</p> <p>а) горизонтальные; б) косые; в) вертикальные; г) наклонные.</p>	ОПК-13
9	<p>Что называется планом здания?</p> <p>а) изображение разреза здания, рассеченного мнимой горизонтальной плоскостью, проходящей на определенном уровне; б) местный разрез здания; в) изображение здания, мысленно рассеченного вертикальной плоскостью; г) часть здания, ограниченная линией обрыва.</p>	ОПК-13
10	<p>Что называется разрезом здания?</p> <p>а) изображение здания, рассеченного горизонтальной секущей плоскостью; б) изображение здания, мысленно рассеченного вертикальной секущей плоскостью; в) проекция здания; г) изображение здания, рассеченного наклонной секущей плоскостью.</p>	ОПК-13
11	<p>Граница основной надписи на чертеже в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД выполняется:</p> <p>а) сплошной тонкой линией; б) сплошной толстой основной линией; в) штриховой линией; г) любой линией.</p>	ОПК-13
12	<p>Граница формата на бумажном носителе должна изображаться в соответствии с ГОСТ 2.301-68 ЕСКД:</p> <p>а) сплошной тонкой линией; б) сплошной толстой основной линией; в) штриховой линией; г) любой линией.</p>	ОПК-13
13	<p>Выберите современные САПР-системы зарубежных компаний-разработчиков программного обеспечения?</p> <p>а) nanoCAD; б) DraftSight; в) Компас-3D; г) AutoCAD.</p>	ОПК-13
	<i>Задания открытого типа</i>	
1	<p>Что называется САПР-системой?</p>	ОПК-13

2	Какой тип линии применяется для нанесения координатных осей на чертежах зданий и сооружений?	ОПК-13
3	Сечение - это	ОПК-13
4	Местный разрез - это	ОПК-13
5	Укажите, какой ряд масштабов увеличения начинается правильно в соответствии с ГОСТ 2.302-68 ЕСКД?	ОПК-13
6	В какой части технологического чертежа размещается штамп основной надписи по форме 1 в соответствии с ГОСТ 2.104-2006?	ОПК-13
7	Какая графика применяется для создания чертежей в САПР-системах?	ОПК-13
8	В каких единицах измеряется высота чертежного шрифта в соответствии с ГОСТ 2.304-81 ЕСКД при настройке в САПР-системе:	ОПК-13
9	Какая высота чертежного шрифта в соответствии с ГОСТ 2.304-81 ЕСКД не разрешается к использованию при настройке стиля текста в САПР-системе:	ОПК-13

10	Напишите правильную последовательность высоты чертежного шрифта в соответствии с ГОСТ 2.304-81 ЕСКД:	ОПК-13
11	Какая команда в САПР-системе открывает диспетчер настройки шрифта	ОПК-13
12	Что показывает масштабный коэффициент	ОПК-13
13	Какой тип линии применяется для изображения основных конструктивных элементов зданий и сооружений на чертеже в соответствии с ГОСТ 2.303-68 ЕСКД при проектировании предприятий	ОПК-13
14	Как проецирующие лучи соотносятся с плоскостью чертежа при прямоугольном (ортогональном) проецировании?	ОПК-13
15	Для чего используется разомкнутая линия при проектировании чертежей предприятий	ОПК-13
16	Как обозначаются подписи координатных осей на чертежах зданий и сооружений в соответствии с СПДС?	ОПК-13
17	Какого масштаба нет в стандартах ЕСКД в соответствии с ГОСТ 2.302-68?	ОПК-13

18	Что называется проекцией объекта на плоскости?	ОПК-13
19	Дайте определение понятия «эскиз»	ОПК-13
20	Назовите размер формата листа А1, применяемый в проектировании предприятий с использованием программ автоматизированного проектирования в соответствии с ГОСТ 2.301-68 ЕСКД	ОПК-13
21	Напишите алгоритм вычисления размеров формата А1, применяемого в профессиональной деятельности, если известно, что основной базовый формат А0 имеет размеры 1189×841 мм.	ОПК-13
22	Расшифруйте аббревиатуру ЕСКД и напишите ее определение.	ОПК-13
23	Дайте определение термина «чертеж» в соответствии с ЕСКД	ОПК-13
24	Что называется масштабом в соответствии с ГОСТ 2.302-68 ЕСКД?	ОПК-13
25	Что называется разрезом в соответствии с ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД?	ОПК-13

26	Вычислите масштабный коэффициент, который необходимо указать при использовании соответствующей команды в САПР-системе nanoCAD при переходе от масштаба уменьшения 1:100 к масштабу уменьшения 1:75 при проектировании чертежей предприятий	ОПК-13
27	Напишите, в каком диапазоне выбирается толщина (вес) тонкой сплошной линии в соответствии с ГОСТ 2.303-68 ЕСКД в САПР-системе.	ОПК-13
28	Как расшифровывается аббревиатура САПР?	ОПК-13
29	Выберите правильный размер формата А4, применяемый для составления спецификации:	ОПК-13
30	Расширения файлов чертежа, применяемых для сохранения в программах САПР	ОПК-13
31	Совокупность взаимосвязанных процессов, последовательного изменения состояния технической системы	ОПК-13
32	Что понимается под программным обеспечением	ОПК-13
33	CALS-технологии позволяют осуществить:	ОПК-13

34	Разомкнутая линия предназначена для...	ОПК-13
35 предполагают разбиение сложной задачи на параллельно и последовательно решаемые более простые задачи	ОПК-13
36	Что называется разрезом?	ОПК-13
37	Какой вид называется основным?	ОПК-13

7.3.3. Перечень курсовых проектов

Расчет и конструирование кожухотрубного одноходовой теплообменника
Расчет и конструирование кожухотрубного многоходового теплообменника
Расчет и конструирование выпарного аппарата с естественной циркуляцией раствора
Расчет и конструирование выпарного аппарата с принудительной циркуляцией раствора
Расчет и конструирование рубашечного варочного аппарата
Расчет и конструирование вакуумного экстрактора
Расчет и конструирование центрифуги периодического действия
Расчет и конструирование центрифуги непрерывного действия

7.4. Электронное портфолио обучающегося

В электронном портфолио обучающегося по дисциплине размещается

<http://portfolio.usue.ru>

- курсовой проект

**Приложение 7
к рабочей программе**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНЫ
на заседании кафедры
биотехнологии и инжиниринга
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

**по дисциплине
Расчет и конструирование**

Минухин Л.А., Лазарев В.А. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств: методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Расчет и конструирование».

Приведены рекомендации по составлению пояснительной записки и выполнению графической части курсового проекта по учебной дисциплине «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», а также по организации нормоконтроля учебного проекта. Даются сведения по нормативному расчету на прочность и устойчивость деталей аппарата соответственно ГОСТУ 14249-89.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Темы и исходные данные к выполнению курсового проекта	6
2. Объем и содержание курсового проекта	11
2.1. Пояснительная записка	11
2.2. Графическая часть проекта	14
3. Нормоконтроль текстовой и графической частей курсового проекта	19
4. Методические основы выполнения типовых расчетов	22
4.1. Определение расчетных давлений	22
4.2. Выбор проектной толщины стенок аппарата	22
4.3. Определение расчетной толщины стенок цилиндрических обечаек	24
4.4. Определение толщины стенок конических обечаек	26
4.5. Определение толщины стенок выпуклых днищ и крышек	30
4.6. Определение толщины плоских круглых днищ и крышек	32
4.7. Особенности расчета элементов кожухотрубчатых теплообменников	36
4.8. Расчет укрепления отверстий	40
5. Поверочный расчет узлов сопряжения в технологических аппаратах	46
5.1. Составление расчетных схем	46
5.2. Определение краевых сил и моментов	50
5.3. Определение суммарных напряжений и соблюдение условий прочности оболочки аппарата	52
6. Выбор стандартных деталей и узлов конструкций	57
6.1. Фланцы	57
6.2. Опоры аппарата	65
6.3. Устройства для стропки аппаратов	69
Литература	71
Приложения	73

ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование, выполняемое по программе изучения профилирующей дисциплины «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», является одним из важнейших этапов подготовки инженера-механика предприятий пищевой промышленности и общественного питания. Главная цель выполнения проекта состоит в закреплении знаний по основным теоретическим разделам дисциплины и приобретении практических навыков расчетно-конструкторской работы, связанной с разработкой новых или модернизацией действующих технологических машин и аппаратов для производства и обработки пищевых продуктов.

При работе над проектом студенту предстоит овладеть методами активного конструирования, т.е. научиться не слепо копировать существующие образцы машин и аппаратов, а находить технические решения, наиболее полно отвечающие условиям эксплуатации оборудования и его технологическому назначению. При этом творческий подход к решению таких задач должен базироваться на всестороннем анализе условий работы конструкции, выполненном расчетным путем, и на максимально полном использовании прочностных возможностей ее деталей. Для этого необходимо реализовать на практике знания, полученные не только при изучении курса «Расчет и конструирование машин и аппаратов», но и на предшествующих этапах инженерной подготовки при изучении дисциплин «Сопротивление материалов», «Детали машин», «Процессы и аппараты пищевых производств», «Теория машин и механизмов», «Технология машиностроения», «Материаловедение», «Взаимозаменяемость и стандартизация» и др. В соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к качеству инженерных разработок, рекомендуется выполнять расчетную часть курсового проекта на ЭВМ, используя знания, полученные при изучении дисциплины «Вычислительная техника и программирование».

В целях оказания помощи студентам-механикам специальности 17.06 при выполнении курсового проекта в предлагаемом учебно-методическом пособии приводятся необходимые сведения по объему, составу и содержанию проекта, даются основы методик стандартных расчетов основных конструктивных элементов технологических аппаратов и машин на прочность, устойчивость и другие характеристики надежности оборудования, а также приводятся требования, предъявляемые в ходе выполнения и защиты курсового проекта.

1. ТЕМЫ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Тематика курсовых проектов соответствует типовым инженерно-конструкторским задачам, возникающим при разработке нового и модернизации действующего технологического оборудования предприятий пищевой промышленности, общественного питания и других отраслей народного хозяйства. Предполагается, что навыки и опыт, полученные при выполнении курсового проекта по дисциплине «расчет и конструирование машин и аппаратов», являются основой технически грамотной разработки соответствующих разделов дипломных проектов по специальности 17.06.

Наиболее предпочтительными для курсового проектирования являются темы, связанные с расчетом и конструированием деталей и узлов технологических аппаратов, работающих под внутренним или наружным давлением (рубашечные варочные аппараты, выпарные аппараты, автоклавы, кожухотрубные и другие теплообменники); быстровращающихся узлов технологических машин для механической и гидромеханической обработки пищевых продуктов (сепараторы, центрифуги, просеиватели и т.д.); машин и аппаратов, содержащих сплошные или перфорированные пластинчатые конструктивные элементы (машины для просеивания и измельчения, шнековые механизмы, пластинчатые теплообменники и емкости). В качестве темы курсового проекта могут быть выбраны конструирование и расчет узлов экспериментального и лабораторного оборудования, разрабатываемого студентами по заданию СНО и СКБ.

На рис.1-3 приведены конструктивные схемы аппаратов, расчет и конструирование которых могут явиться темами типовых курсовых проектов.

Темы курсового проектирования предлагаются студентам в виде задания на выполнение проекта, подписанного руководителем проекта или ведущим преподавателем по дисциплине «расчет и конструирование машин и аппаратов» и утвержденного заведующим кафедрой.

Среди возможных тем курсового проектирования особый интерес представляют разработки инициативных предложений самих студентов, направленные на решение инженерных задач, с которыми они столкнулись на практике, или предложений-запросов промышленных предприятий, связанных с практическими потребностями производства. Разработка таких предложений, разумеется в соответствии с общей целью курсового проектирования по расчету и конструированию машин и аппаратов в наибольшей степени позволяет развить творческие способности будущих специалистов и навыки самостоятельной инженерной деятельности. В общем случае задание на выполнение курсового проекта содержит наименование вида разрабатываемого оборудования (кожухотрубный одноходовой или многоходовой теплообменник, выпарной аппарат, рубашечный варочный аппарат, вакуумный экстрактор, центрифуга периодического или непрерывного действия, обогреваемая технологическая емкость и т.д.); принципиальную конструктивную схему аппарата; характеристику основных размеров, в том числе габаритных, технологических

(размеры проходных сечений машин и аппаратов, площади теплопередающих поверхностей, количество, диаметры и длины греющих трубок и т.п.) и присоединительных (диаметры штуцеров и другие размеры входных и выходных каналов и т.д.); технические условия эксплуатации оборудования (температура и давления сред, коррозионная агрессивность и физиологическая вредность сред, технологические режимы эксплуатации). Если необходимые данные в техническом задании отсутствуют, то они должны явиться предметом согласования на первом этапе проектирования.

При организации учебного процесса, предусматривающего взаимосвязанное проектирование по техническим дисциплинам, данные для составления задания на курсовое проектирование по расчету и конструированию машин и аппаратов могут являться результатом выполнения курсовой работы или других практических работ по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств».

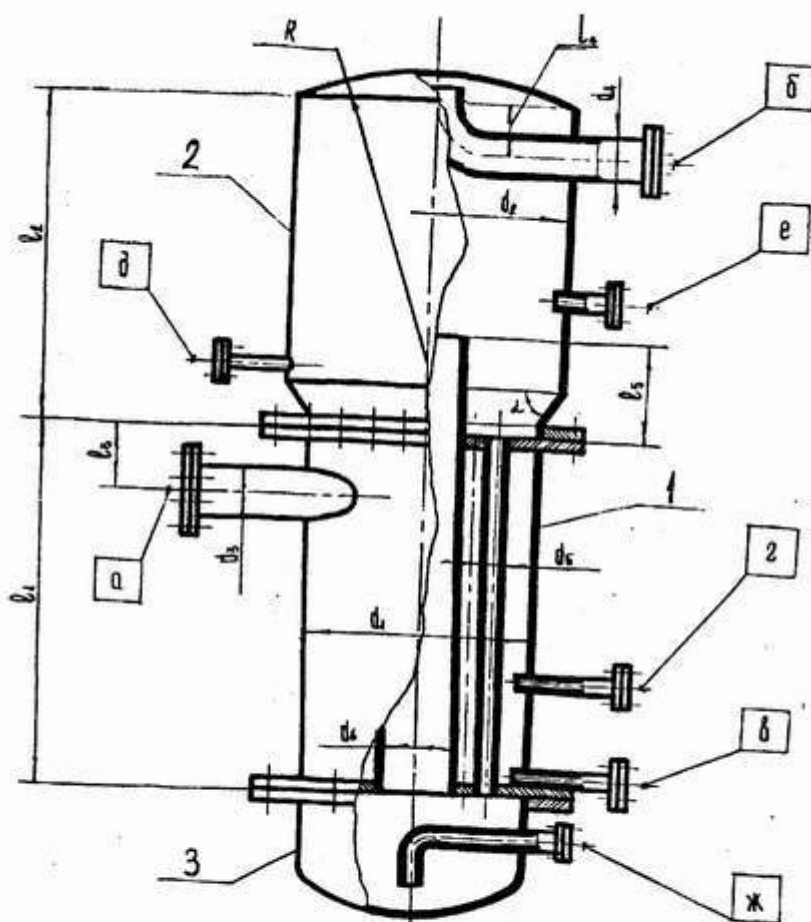


Рис. 1. Выпарной аппарат
Условные обозначения: 1 - греющая камера ; 2 - сепаратор ; 3 - днище

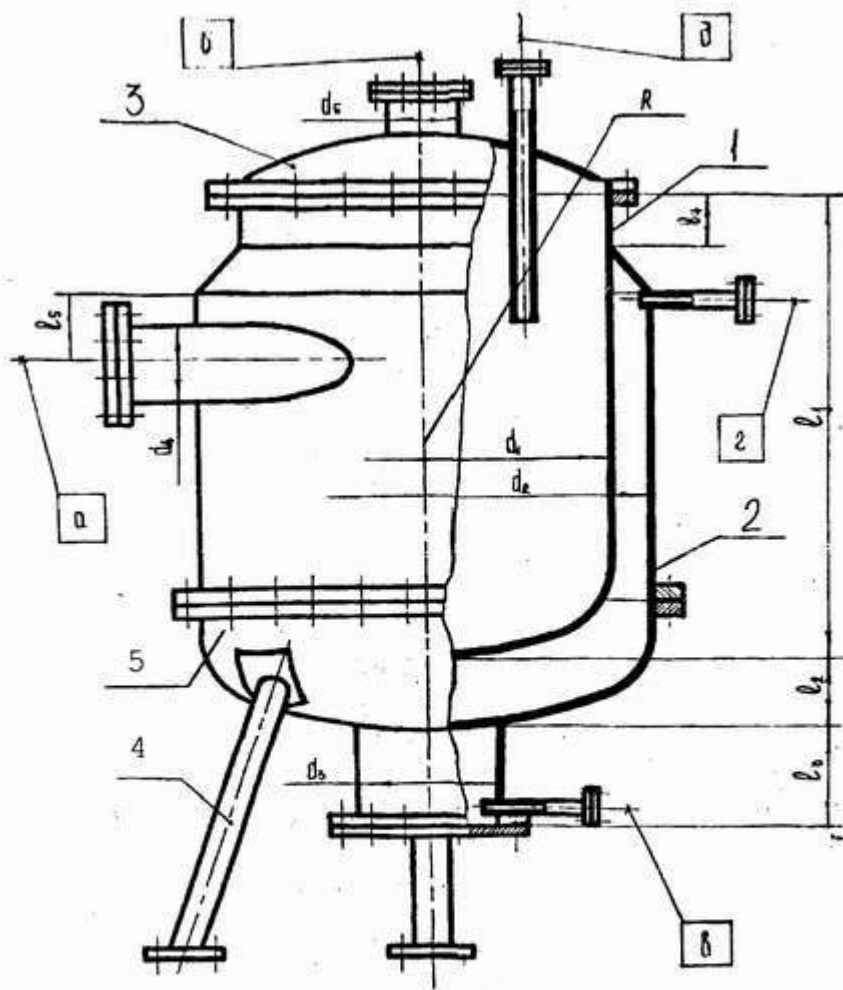


Рис. 2. Рубашечный теплообменник
 Условные обозначения : 1 - варочный сосуд ; 2 - рубашка ; 3 - крышка ; 4- днище ; 5- опора

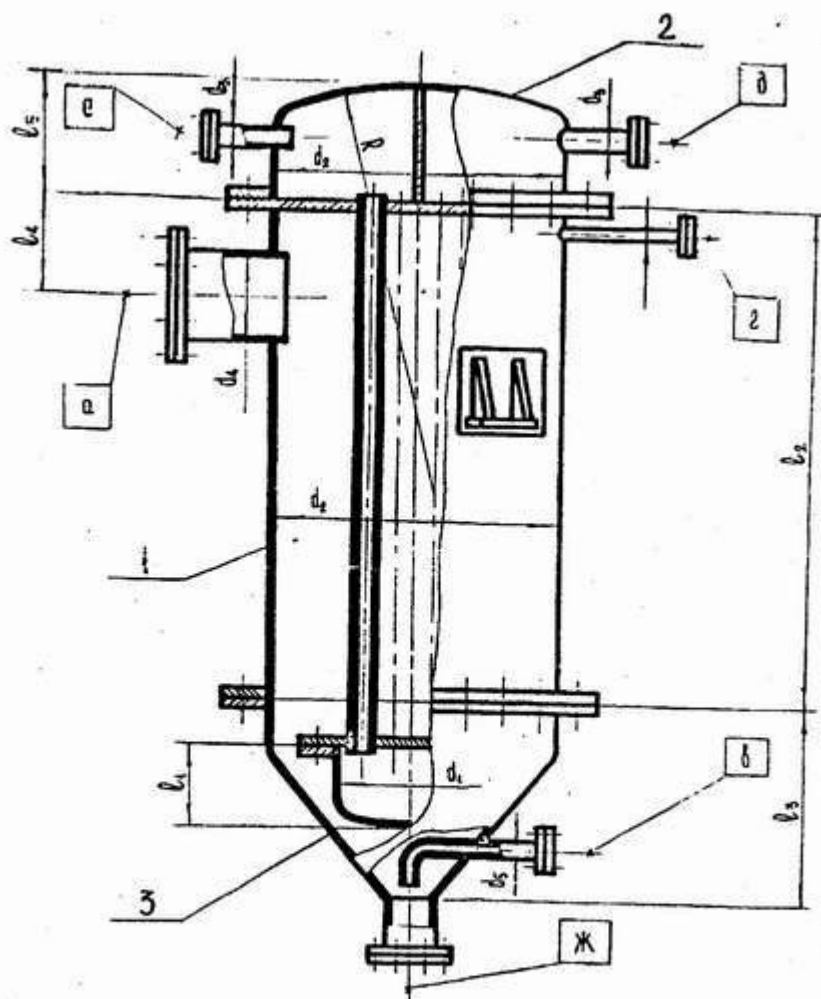


Рис. 3. Кожухотрубный теплообменник
 Условные обозначения: 1 - греющая камера ; 2 - крышка ;
 3 - днище

2. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Типовой курсовой проект по дисциплине «Расчет и конструирование машин и аппаратов» состоит из пояснительной записки объемом 30-50 страниц и графической части, содержащей чертежи (4 листа формата А1) и спецификации к ним.

Содержание типового проекта должно отражать результаты решения студентом следующих конструкторских задач:

разработка общей конструкции технологического аппарата или машины в соответствии с заданием;

выбор типов и способов присоединения к аппарату узлов контроля и регулирования параметров технологического режима (температура, давление, уровни сред и т.п.);

конструирование и расчет основных деталей аппаратов (обечайки, корпуса, днища, крышки, нагруженные решетки и другие пластинчатые детали и т.п.);

выбор на основании предварительного расчета стандартизированных деталей и узлов (фланцы, штуцера, заглушки, компенсаторы, опоры конструкции);

расчет и конструирование узлов сопряжения и стыковки основных деталей аппаратов;

расчет допустимых нагрузок (внутреннее и наружное давления, усилия, изгибающие моменты) в различных элементах конструкции.

2.1. Пояснительная записка

При подготовке пояснительной записки следует руководствоваться требованиями ЕСКД, в частности ГОСТ 2.105-79 «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.106-68 «Текстовые документы», а также методическими указаниями, составленными в соответствии с названными материалами ЕСКД применительно к задачам учебного проектирования [1,2].

Первым листом пояснительной записки является титульный лист, пример оформления которого приведен в Прил.1. При оформлении второго листа пояснительной записки (СОДЕРЖАНИЕ) можно использовать в качестве примера Прил.2. Общие рекомендации, которые могут оказаться полезными при подготовке последующих разделов пояснительной записки, приводятся ниже.

2.1.1. Введение

Раздел «ВВЕДЕНИЕ» рекомендуется начинать с указания областей наиболее массового использования аппаратов, соответствующих типов конструкции, являющихся объектом проектирования. Например, «Рубашечные аппараты находят широкое применение на предприятиях ...» или «Выпарные аппараты широко используются ...». Затем перейти к описанию более частных случаев использования на практике аппаратов данного типа.

Далее во введении освещаются те технологические задачи, которые могут решаться с помощью таких аппаратов; кратко описываются технические стороны эксплуатации аппаратов (повышенные давления или разрежение, высокие температуры, агрессивность сред и т.п.).

На основании изложенного обосновывают цель конструкторской разработки, которая обычно заключается в стремлении снизить металлоемкость аппарата за счет выбора рациональных сечений деталей, эффективного использования рабочих поверхностей аппарата и т.п.; уменьшить энергопотери аппарата либо повысить качество продукта. Указание цели проектирования, как правило, завершают раздел «ВВЕДЕНИЕ». Объем этого раздела 1,5-2,5 листа.

2.1.2. Исходные данные

Раздел «ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ» начинают с характеристики конкретного технологического назначения проектируемого аппарата. Затем даются со ссылкой на проектное задание сведения его эксплуатации (давления и температуры в различных зонах аппарата, агрессивность сред и т.п.).

Проектное задание размещают в качестве приложения к пояснительной записке.

В заключение раздела «ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ» приводят содержащиеся в задании ориентировочные габаритные размеры аппарата, присоединительные размеры (диаметры технологических штуцеров и другие геометрические характеристики аппарата, необходимые для дальнейшего проектирования). Здесь может быть воспроизведена конструктивная схема аппарата, содержащаяся в задании.

2.1.3. Разработка конструкции аппарата

Этот параграф пояснительной записки должен содержать технически грамотное изложение результатов разработки конструкции аппарата и включать в себя по крайней мере два подраздела: описание конструкции аппарата и описание технологического режима его эксплуатации. Текст параграфа полезно начинать с упоминания аналогов и прототипов конструкции, использованных при проектировании, или с указания рационализаторского предложения, авторского свидетельства (патента), если проектная разработка является оригинальной. Например, «Выпарной аппарат разработан на основе типовых конструкций, используемых в сахарной промышленности для упаривания сахарных сиропов /.../ и в молочной промышленности для сгущения молока /.../» или «В основу разработки рубашечного варочного аппарата положены оригинальные технические решения, содержащиеся в авторском свидетельстве Ю.../.../».

После указанного вступительного упоминания следует перейти к подразделу «Описание аппарата». Описание проводится по принципу «от общего к единичному» (аппарат – узлы аппарата – детали узлов). Схема изложения при этом обычно такова.

Описание аппарата в целом:

аппарат предназначен для ... конструктивная схема аппарата представлена на рис. ...;

аппарат включает в себя следующие узлы

Предварительное описание узлов узлов аппарата:

узел такой-то предназначен для ... ;

конструктивная схема узла показана на рис. ... (если узел достаточно сложный и его конструкция не ясна из схемы аппарата в целом);

узел включает в себя

Описание конструктивно важных или оригинальных деталей:

деталь представляет собой ... ;

деталь изготовлена из ... (материал детали по ГОСТ);

деталь укреплена или присоединена там-то и таким-то способом.

Описание установочных и присоединительных элементов конструкции:

аппарат крепится или устанавливается с помощью опор такой-то конструкции ... ;

аппарат имеет следующие технологические и вспомогательные штуцеры

Описание вспомогательных устройств, обеспечивающих эксплуатацию конструкции в заданных режимных параметрах, например: «Для контроля температуры и давления среды на корпусе аппарата предусмотрена установка карманов для термометров, бобышек для манометров и т.п.».

Закончив развернутое описание разработанной конструкции, следует перейти к подразделу «Описание принципа действия аппарата». В этом подразделе должны быть рассмотрены вопросы подготовки аппарата к работе, особенности вывода аппарата на рабочий режим и собственно эксплуатации аппарата в рабочем режиме. Описание работы рекомендуется проводить следуя по направлению движения технологических сред, последовательно переходя от одной среды к другой. Например: «Греющий пар через штуцер поступает в рубашку аппарата и конденсируется на наружной поверхности варочной емкости. Конденсат греющего пара удаляется через штуцер, а неконденсирующиеся газы (воздух) периодически (или полностью) в виде парогазовой смеси отводятся через штуцер».

Заканчивают текст подраздела описанием порядка остановки аппарата, способа опорожнения и промывки (если она необходима по технологии).

2.2. Графическая часть проекта

При выполнении графической части проекта следует руководствоваться требованиями ЕСКД, в частности ГОСТ 2.118.73-ГОСТ 2.120.73 (чертежи общего вида), ГОСТ 2.109.73 (сборочные чертежи), а также методическими указаниями, составленными в соответствии с названными материалами [1,2].

Графическая часть курсового проекта по дисциплине «расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» содержит чертежи

общего вида и его разрезов, чертежи узлов аппарата и деталей, расчет которых содержится в пояснительной записке.

Чертеж общего вида и сборочный чертеж аппарата и его разрезов, как правило, выполняются на двух листах формата А1. При этом первый лист чертежа должен содержать общие сведения о конструкции аппарата (конфигурация, габариты, технические характеристики, основной поузловой состав конструкции и т.п.). На этом листе обычно дается изображение 2-3 проекций общего вида аппарата (внешний вид). На полках линий-выносок указываются позиции основных узлов и деталей, которые соединяются или устанавливаются на заключительной технологической стадии сборки аппарата, а также позиции деталей, обеспечивающих их взаимное соединение. Не следует стремиться к чрезмерно большому числу позиций на листах общего вида аппарата.

На поле первого листа общего вида аппарата указывается его техническая характеристика, которая, как правило, может содержать следующие сведения: технологическое название аппарата; характеристики, дающие представление о мощности или масштабе аппарата (объем варочной емкости, площадь греющей поверхности, число теплообменных трубок, производительность и т.п.); наиболее важные параметры работы аппарата (температуры и давления в рабочих полостях); сведения об испытаниях выходного контроля (параметры гидротестирования, проверка на транспортную тряску и т.п.); требования к покраске, установке и обслуживанию аппарата и т.д.

Сборочный чертеж аппарата должен содержать необходимые разрезы, сечения, выноски, которые дают достаточное представление о принципиальной сущности устройства, о характере и направлении движения сред в аппарате, об особенностях запуска, остановки и опорожнения аппарата. Структура разрезов с целью наиболее полного показа особенности конструкции аппарата, как правило, должна выбираться сложной. Простые (одноплоскостные) разрезы обычно поставленную задачу не решают. На отдельных выносках второго листа чертежа общего вида рекомендуется изображать способы соединения узлов и деталей, позиции которых указаны на чертеже; способы установки штуцеров и приборов, если только эти способы отражают какую-либо специфику устройства; а также расчетный узел сопряжения (изображение этой выноски имеет только учебные цели).

На чертеже общего вида и сборочном чертеже количество указанных размеров ограничено. При этом должны быть показаны следующие виды размеров: габаритные, присоединительные, установочные (монтажные), а также не более 2-3 размеров вспомогательных, дающих представление о технологической мощности аппарата (размеры для справки). Основная часть габаритных, присоединительных и установочных размеров обычно приводится на первом листе чертежа общего вида, размеры для справок – на втором (на разрезах сборочного чертежа).

Присоединительные размеры устанавливают точки подвода к аппарату технологический коммуникаций (паропроводов, трубопроводов воды и жидких сред, коммуникации для заполнения и опорожнения аппарата), а также места

установки приборов контроля и регулирования. Присоединительные размеры, определяющие местоположение штуцеров аппарата, указываются на двух проекциях аппарата: обычно на фронтальной проекции и на виде сверху (расположение штуцера в плане). При этом для упрощения изображения (чтобы избежать показа в изометрии) допускается условно разворачивать на проекциях положения штуцера вокруг оси симметрии. В этом случае над такой проекцией дается пояснение: «Штуцеры условно повернуты», а над штампом чертежа указывается: «Истинное расположение штуцеров показано на ...».

Для удобства чтения чертежей на листах (обычно на первом) приводятся дополнительные обозначения штуцеров. Обозначение штуцеров производят заглавными или прописными буквами, заключенными в квадратное поле. Выносные линии для обозначения того или иного штуцера проводят от его оси до ближайшего угла квадрата, содержащего его буквенное обозначение. Обозначение каждого штуцера дается одновременно на двух проекциях. Для пояснения технологического обозначения штуцеров и указания сведений о поперечных размерах подводимых к ним трубопроводов на свободном поле первого листа чертежа общего вида приводится таблица штуцеров. Пример выполнения такой таблицы дан в Прил.3.

Обозначение основного сборочного чертежа, приводимое в штампе, включает в себя: наименование дисциплины (РИК), тип аппарата (выпарной аппарат – ВА, рубашечный теплообменник – РТ, кожухотрубный теплообменник – КТ и т.п.).

Сборочные чертежи узлов аппарата выполняются, как правило, на форматах А2 или А3 (в зависимости от сложности узла). Принятые к конструкторской проработке узлы должны соответствовать сборочным единицам, указанным на чертеже общего вида аппарата в целом, и спецификации к нему. Обозначение сборочного чертежа каждого узла должно соответствовать его позиции, указанной на сборочном чертеже. Например, если сборочной единице на сборочном чертеже кожухотрубного теплообменника присвоена позиция 3 (рис.3, сборочная единица - днище), то обозначение сборочного чертежа этого узла будет «РИК КТ ... 03.000 СБ» (см. Прил. 4).

Сборочный чертеж узла должен давать полное представление о его конструкции, содержать габаритные и присоединительные размеры (включая размеры для справок); иметь изображения (в том числе на выносках) конструктивного соединения деталей и подборок, входящих в состав узла (соответственно указанным позициям и спецификации), а также необходимые текстовые и табличные пояснения. Обычно сборочный чертеж узла содержит один-два вида узла с необходимыми разрезами, вырезами и выносками, где обычно изображается соединение деталей и подборок, а также расположение элементов аппарата, не попавших в видимую область изображения.

Чертежи деталей включают в себя, как правило, нестандартные детали аппарата, расчет которых содержится в пояснительной записке. Обычно это цилиндрические, конические, сферические и эллиптические обечайки, пластинчатые детали крышек, днищ и опорных элементов аппарата, стойки, ленты шнековых механизмов и т.п. Чертеж детали должен содержать все

сведения, необходимые для его изготовления. При постановке размеров на чертеже детали необходимо иметь в виду, что размеры ставятся там, где та или иная конфигурация элемента детали изображена без искажения. Например, диаметр отверстия ставится либо на его фронтальном изображении, либо на поперечном сечении.

Зачастую из-за значительного уменьшения размеров при изображении детали в масштабе толщины ее стенок изображаются сплошными (утолщенными) линиями. Ставить указания толщины стенки непосредственно на таком изображении не рекомендуется.

Обозначение чертежа детали сборочной единицы рекомендуется приводить в соответствие с номером ее позиции на соответствующем сборочном чертеже. Например, если детали на чертеже сборочной единицы, имеющей обозначение РИК КТ 03.000 СБ присвоен номер позиции 1, то обозначение чертежа детали будет иметь вид РИК КТ- ...03.001 (см. Прил. 5). При этом необходимо помнить, что обозначение сборочных единиц имеет конце нули (не менее двух); а обозначение чертежа детали оканчивается на значащую цифру (не ноль).

В этом случае толщина стенки проставляется на выносном сечении стенки, выполненном в более крупном масштабе.

3. НОРМОКОНТРОЛЬ ТЕКСТОВОЙ И ГРАФИЧЕКОЙ ЧАСТЕЙ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Нормоконтроль конструкторской документации, разработанной студентами-механиками при выполнении курсового проекта по дисциплине «расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», является одним из важнейших заключительных этапов при подготовке проекта к защите. Нормоконтроль учебной конструкторской документации осуществляется в соответствии с ГОСТ 2.111-68 ЕСКД. Нормоконтроль с учетом особенностей учебного проектирования и задачами освоения дисциплины «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» учитывает:

- соблюдение в документации курсового проекта норм и требований государственных стандартов и стандарта высшего учебного заведения (УрГЭУ);

- правильность выполнения материалов проекта в соответствии с требованиями ЕСКД;

- использование установочных ограничений типоразмеров, материалов и изделий.

Нормоконтролю подлежат пояснительная записка курсового проекта, чертежи и спецификации к ним.

Содержание нормоконтроля в зависимости от вида документации курсового проекта включает следующие виды проверок.

Пояснительная записка:

- соответствие обозначения документа теме курсового проекта и названию учебной дисциплины;

- правильность выполнения надписей;

- правильность примененных сокращений слов;

- наличие и правильность ссылок на стандарты, нормативно-технические материалы, учебные пособия и другие литературные источники;

- соблюдение требований стандарта на текстовые конструкторские документы (ГОСТ 2.105-83 и ГОСТ 2.106-83).

Спецификации:

- те же виды проверок, что и для пояснительной записки;

- соответствие форм спецификаций формам, установленным стандартом (ГОСТ 2.108-83);

- соблюдение правил заполнения спецификаций;

- правильность наименований и обозначений изделий и документов, записанных в спецификации;

- соответствие применяемых типоразмеров стандартизованных и покупных изделий установленным ограничениям.

Чертежи (чертежи сборочные и общих видов, чертежи деталей):

- соответствие обозначения чертежа установленной системе обозначений конструкторских документов, теме курсового проектирования и дисциплине;

- правильность выполнения надписей;

- соответствие требованиям стандартов ЕСКД на форматы, масштабы, изображения (виды, разрезы, сечения), нанесение размеров, условных

изображений типовых конструктивных элементов (резьб, зубчатых деталей и т.п.);

правильность нанесения номеров позиций;

соблюдение требований стандартов ЕСКД на упрощенные и условные изображения элементов конструкций;

соблюдение требований стандартов ЕСКД на обозначение шероховатостей поверхностей, простановки предельных отклонений размеров, отклонений формы и расположения поверхностей;

соблюдение установленных ограничений конструктивных элементов допусков и посадок, марок материалов, профилей и т.п.

Порядок проведения нормоконтроля курсового проекта устанавливается следующим образом.

Документация курсового проекта представляется на нормоконтроль комплектно в составе пояснительной записки, чертежей и спецификаций к ним. Нормоконтролер принимает к проверке документацию, если в графах документации «Разработал» и «Проверил» проставлены соответствующие фамилии и имеются подписи указанных лиц. Нормоконтролер имеет право вернуть студенту (разработчику) курсовой проект без рассмотрения в случаях:

нарушения установленного комплекта документации курсового проекта;

отсутствия обязательных подписей в штампах документов;

небрежного выполнения документов курсового проекта.

В процессе проведения нормоконтроля соответственно его содержанию нормоконтролер наносит карандашом в проверяемых документах условные пометки к элементам, которые должны быть исправлены или заменены. Изменения и исправления, указанные нормоконтролером и соответствующие указанному содержанию нормоконтроля, подлежат обязательному исполнению. Карандашные пометки сохраняются до подписания документов нормоконтролером, который их после этого снимает.

Одновременно нормоконтролер может обратить внимание на общее качество выполнения материалов курсового проекта, глубину конструкторской документации, проявленные студентом-разработчиком навыки и знания в области инженерных дисциплин, изучение которых предшествовало изучению дисциплины «расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств». Например, могут быть отмечены:

качество выполненных графических документов, умение дать представление об изделии с помощью минимального числа изображений, умение эффективно использовать разрезы, сечения и т.п. (дисциплина «Начертательная геометрия и черчение»);

умение правильно выбрать виды требуемой обработки поверхностей изделия и назначить тип сварочного соединения (дисциплина «Технология машиностроения»);

навыки выбора конструкционных материалов для соответствующих условий работы изделия (дисциплина «Материаловедение и технология конструкционных материалов»);

правильный выбор допускаемых отклонений технологических размеров изделия (дисциплина «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические изменения»);

соответствие принятой конструкции условиям эффективного проведения процессов (дисциплины «Гидравлика и гидропривод», «Процессы и аппараты пищевых производств») и т.п.

Указанные замечания по существу курсового проекта нормоконтролер может изложить на отдельном листе, подшитом в приложениях к пояснительной записки.

Отмеченные достоинства и недостатки являются основанием для повышения или понижения оценки курсового проекта при его защите.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ТИПОВЫХ РАСЧЕТОВ

4.1. Определение расчетных давлений

По условиям работы аппараты могут быть нагружены либо внутренним, либо наружным давлением. В соответствии с этим проектный расчет производится из двух условий: прочности и устойчивости.

Расчетное давление по условиям прочности (P_{P1} , МПа) определяется максимальным перепадом давлений на рассчитываемой стенке аппарата, возникающим в период эксплуатации аппарата, по формуле:

$$P_{P1} = \text{MAX} \{ (P_{i \text{ max}} - P_{j \text{ min}}); (P_{j \text{ max}} - P_{i \text{ min}}) \}, \quad (1)$$

где $P_{i \text{ max}}$, $P_{i \text{ min}}$ – соответственно максимальное и минимальное по условиям работы давления снаружи рассчитываемой стенки, МПа;

$P_{j \text{ max}}$, $P_{j \text{ min}}$ – соответственно максимальное и минимальное по условиям работы давления внутри рассчитываемой стенки, МПа.

Расчетное давление по условиям устойчивости (P_{P2} , МПа) определяется максимальным избыточным наружным давлением по формуле:

$$P_{P2} = P_{i \text{ max}} - P_{j \text{ min}} \quad (2)$$

4.2. Выбор проектной толщины стенок аппарата

Толщина стенок определяется из условий обеспечения их надежной эксплуатации без поломок и разрушений. В рассчитываемых аппаратах нагрузку, представляющую воздействие наружного и внутреннего давлений, воспринимают цилиндрические корпуса, выпуклые сферические и конические, выпукло-вогнутые или плоские днища.

Выбор проектной толщины стенок (S , мм) перечисленных элементов конструкции производится [3] по формуле:

$$S = S_p + C_1 + C_2 + a, \quad (3)$$

- где S_p – расчетная толщина стенки, обеспечивающая надежную работу конструкции под нагрузкой без разрушения, мм;
- $C_1 = A \cdot t$ – прибавка к расчетной толщине, учитывающая процессы коррозии при работе конструкции, мм;
- A – скорость коррозии материала конструкции в условиях эксплуатации (табл. 1), мм/год;
- t – срок службы аппарата, принимаемый в интервале 10-15 лет;
- C_2 – прибавка к расчетной толщине, компенсирующая возможное уменьшение толщины стенок при изготовлении аппарата (операции штамповки, вальцовки, вытяжки и т.д.). Для современной технологии производства пищевых аппаратов следует

принимать $C_2=(5...15) \cdot 10^{-2}$ мм;

- а - изменение толщины стенки, связанное с округлением результата вычисления суммы ($S_p+C_1+C_2$) до ближайшего стандартного значения толщины листа, из которого изготавливается конструкция, мм.

Стандартные значения толщины стальных листов, используемых при изготовлении аппаратов, могут быть выбраны [3,4] из следующих фрагментов ряда для горячекатанной стали по ГОСТ 19903-74: 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,0 и для холоднокатанной стали по ГОСТ 19904-90: 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,2; 4,5; 4,8; 5,0.

Таблица 1 - Ориентировочные значения скорости коррозии, мм/год

Материал	Рабочая среда					Спирт
	Воздух		Вода		5%-ная уксусная кислота	
	чистый	на пром. предприятии	техническая	соленая		
Углеродистая сталь	0,02	до 0,08	0,1	0,4	0,4	3,0
Легированная сталь	0	0,005	0,005	0,01	0	0,05

4.3. Определение расчетной толщины стенок цилиндрических обечаек

Цилиндрические обечайки являются основным конструктивным элементом рассчитываемых конструкций.

Цилиндрические обечайки следует рассчитывать в соответствии с ГОСТ 14249-89. В зависимости от условий работы они могут быть нагружены либо внутренним, либо наружным давлением. В соответствии с этим расчет толщины стенок производится из двух условий: прочности и устойчивости [6].

Проверка на устойчивость является особенностью расчета обечаек, нагруженных давлением. Она производится для обечаек, нагруженных избыточным наружным давлением.

В качестве расчетной толщины стенки (S_p , мм) принимают большее из двух определяемых значений:

$$S_p = \text{MAX} \{S_N; S_Y\}. \quad (4)$$

Расчетная толщина стенки по условиям прочности определяется по формуле:

$$S_N = \frac{P_{p1} \times D}{2 \times [s] \times \eta - P_{p1}}, \quad (5)$$

где D – внутренний диаметр обечайки, мм;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение материала стенки, выбираемое по Прил. 6;

φ – коэффициент прочности сварных швов, принимаемый по Прил.7;

P_{P1} -расчетное давление по условиям прочности, МПа.

Атмосферное давление принимают в расчетах равным $P_{ATM}=0,1$ МПа.

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки по условиям устойчивости (S_y , мм) определяется по формуле:

$$S_y=0,01 \cdot K_2 \cdot D . \quad (6)$$

Коэффициент K_2 определяется по номограмме (Прил.4) в зависимости от K_1 и K_3 . При этом

$$K_1=10^6 \cdot (P_{P2}/E); \quad (7)$$

$$K_3=L/D, \quad (8)$$

где E – модуль упругости материала, выбираемый по Прил.8, МПа;

P_{P2} - расчетное давление по условиям устойчивости оболочки, МПа;

L - расчетная длина обечайки, находящейся под действием наружного избыточного давления, мм.

Расчетная длина обечайки (L , мм) (рис.4) определяется по формуле:

$$L = L_{ц} + \sum_{i=1}^N L_{3i}, \quad (9)$$

где $L_{ц}$ - длина цилиндрической обечайки, мм;

L_{3i} - длина примыкающего элемента, мм.

Длина примыкающего элемента (L_3 , мм) определяется по формулам:
для выпуклых днищ

$$L_3=M/3, \quad (10)$$

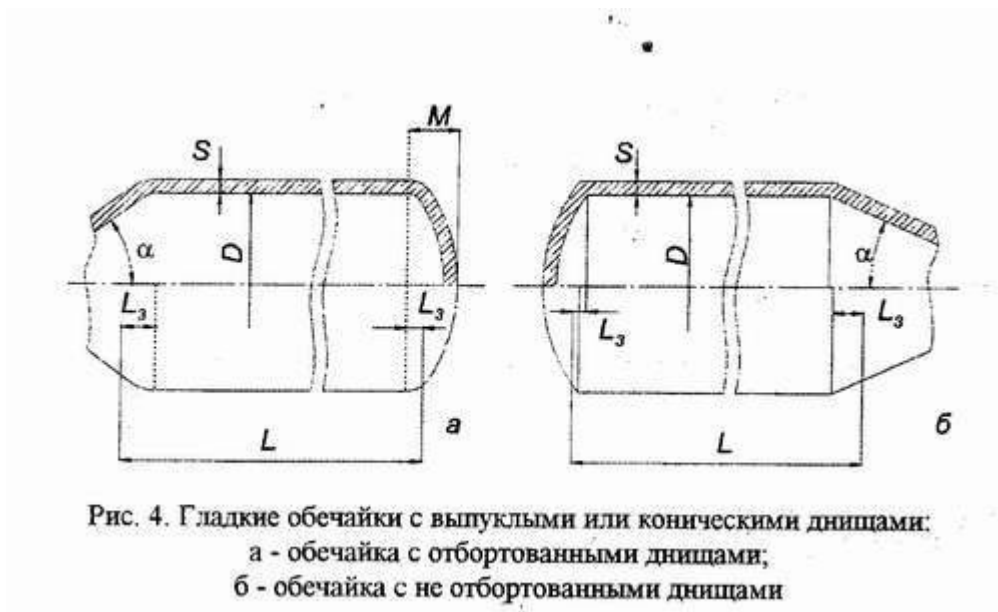
где M - высота днища;

для конических обечаек:

$$L_3=D/(6 \cdot \operatorname{tg} \alpha), \quad (11)$$

где D - внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм;

α - угол полураствора конуса.



Порядок пользования номограммой при определении K_2 показан в приложении 9 стрелками. При этом предварительно вычисляются комплексы K_1 и K_3 и их значения наносят на оси координат номограммы (зачерненные точки). Затем на пересечении стрелок находят значение K_2 (незачерненная точка) и вычисляют искомую толщину стенки по формуле (6).

4.4. Определение толщины стенок конических обечаек

Конические обечайки при разработке технологических аппаратов и машин используют для конструирования корпусов переходных элементов, а также днищ. Рекомендуется принимать при этом угол раскрытия конуса $2\alpha \leq 140^\circ$ (рис. 5), а также предусматривать переходную зону в месте соединения конической и цилиндрической частей обечаек, как это показано на рис. 6. Такая переходная зона устраняет местное повышение напряжения в месте стыковки обечаек различной геометрии (краевой эффект).

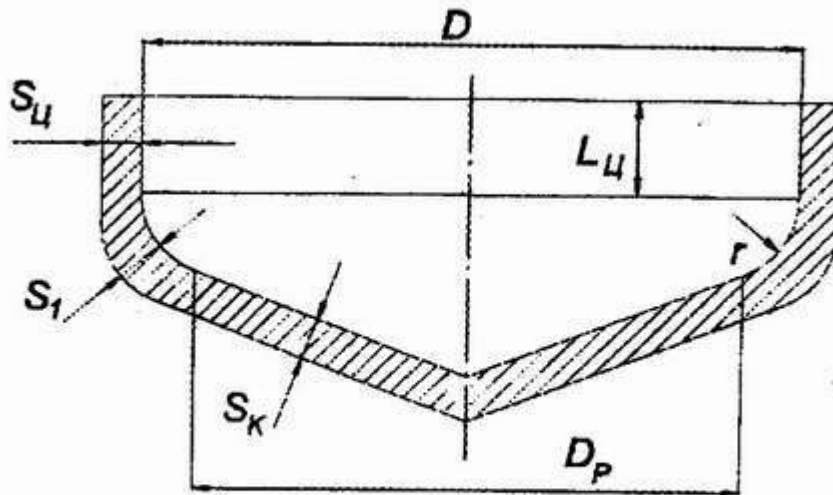


Рис. 5. Коническое днище

Проектная толщина стенки конической части определяется по общему соотношению (3), а расчетная толщина определяется также по условию проверки на прочность и устойчивость по формуле (4) [6].

Первоначально определяется толщина стенки (S_{1P} , мм) участка переходной зоны.

Расчетная толщина стенки переходной части определяется по формуле:

$$S_{1P} = \frac{P_{p1} \times D \times y}{2 [\sigma] \times j - P_{p1}}, \quad (12)$$

где P_{p1} - расчетное давление по условиям прочности, МПа;

D - внутренний диаметр цилиндрической части, к которой присоединяется коническое днище, мм;

$[\sigma]$ допускаемое напряжение для материала, из которого изготовлена коническая часть, МПа (Прил.6);

y коэффициент формы.

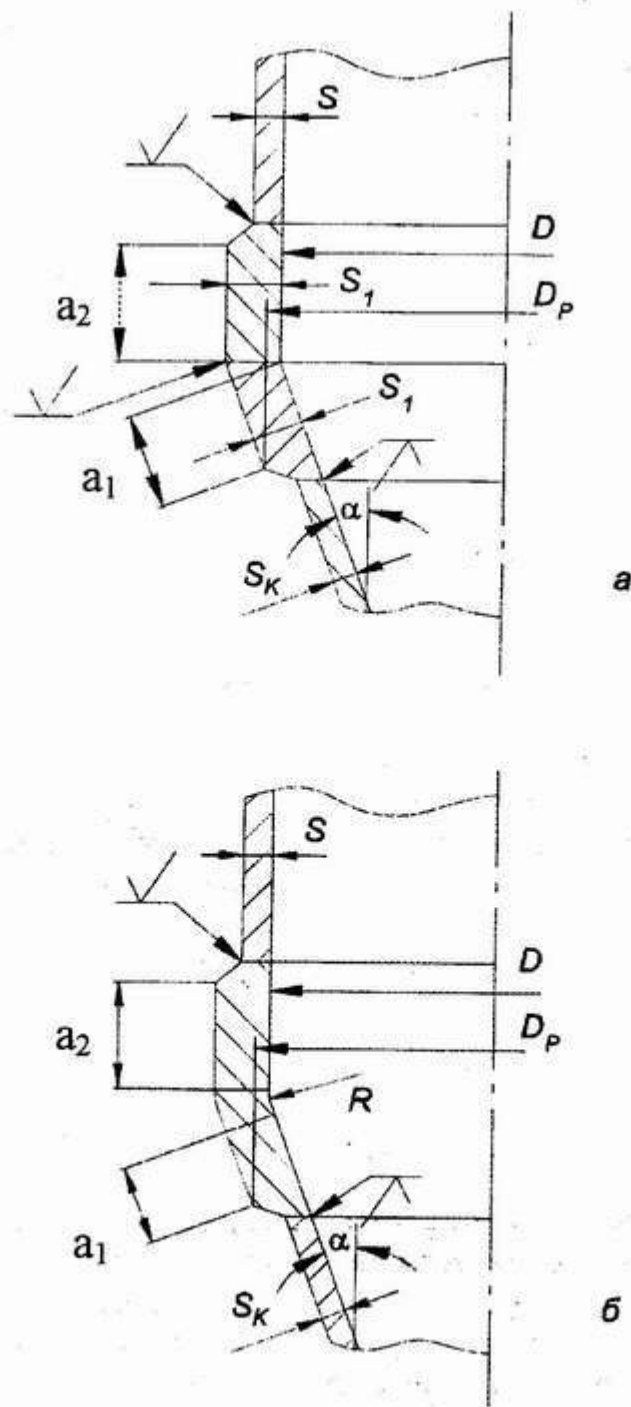


Рис. 6. Конические днища с укреплением в зоне сопряжения:
 а - без тороидального перехода; б - с тороидальным переходом

Коэффициент формы приблизительно принимают $y=0,5$; для более точного определения коэффициента следует пользоваться соотношением, приведенными в ГОСТ 14249-89.

Определив расчетное значение толщины стенки для переходной зоны S_{1P} , находят расчетные длины переходных частей для конического (a_1 , мм) и цилиндрического (a_2 , мм) элементов:

$$a_1 = 0,5 \sqrt{D \times \frac{S_{1p}}{\cos \alpha}}; \quad (13)$$

$$a_2 = 0,5 \sqrt{D \times S_{1p}}. \quad (14)$$

Расчетная толщина стенки конического элемента за пределами переходной зоны по условию прочности (S_{KP} , мм) определяется по формуле:

$$S_{KP} = \frac{P_{p1} \times D_K}{2 \times [s] \times j - P_{p1}} \times \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (15)$$

где D_K расчетный диаметр конического элемента конструкции, мм;
 α угол полураствора конуса, рад.

Величина расчетного диаметра (D_K , мм) определяется для конструкций без тороидального перехода (рис.6,а) по формуле:

$$D_K = D - 1,4 a_1 \sin \alpha, \quad (16)$$

а для конструкций с тороидальным переходом (рис.6,б) по формуле:

$$D_K = D - 2 [r (1 - \cos \alpha) + 0,7 a_1 \sin \alpha]. \quad (17)$$

Расчетная толщина стенки конического элемента по условию устойчивости определяется так же, как и в расчете на устойчивость цилиндрических обечаек по формуле (6), а коэффициент K_2 – по номограмме (Прилож.9).

4.5. Определение толщины стенок выпуклых днищ и крышек

Проектная толщина стенки днища (S , мм) определяется по общему соотношению (3). Поскольку днища и крышки могут быть нагружены либо внутренним, либо наружным избыточным давлением, то расчетная толщина днища или крышки определяется также по условию проверки на прочность и устойчивость по формуле (4) [6].

В ГОСТ 14249-89 приведены расчеты на прочность для эллиптических, полусферических и тороидальных днищ.

Для расчета на прочность днищ и крышек сферических неотбортованных необходимо воспользоваться ГОСТ 25221-82 [7].

Эллиптические днища (рис. 7,а) получили наиболее широкое распространение в аппаратостроении. Сферические днища и крышки используют при конструировании аппаратуры, например, в виде полусферических элементов (рис. 7,б). В аппаратостроении нашли применение также тороидальные днища (рис. 7,в).

Рис. 7. Выпуклые днища:

а - эллиптическое днище; б - полусферическое днище;

в - торосферическое днище

Расчетная толщина стенки эллиптических, полусферических и торосферических днищ (S_N , мм) по условиям прочности определяется по формуле:

$$S_N = \frac{P_{p1} \times R}{2 [\sigma] \times \beta - 0.5 \times P_{p1}} \quad (18)$$

где P_{p1} - расчетное давление по условиям прочности, принимаемое таким же, как и для цилиндрической обечайки, к которой присоединяется днище, МПа;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение для материала днища, МПа (см. Прил. 6);

β - коэффициент прочности сварного шва (если днище или крышка изготавливается штамповкой, то принимается $\beta = 1$; если днище сварное, то β принимается по Прил.7);

R - радиус кривизны на вершине днища, мм.

Радиус кривизны на вершине днища (R , мм) определяется по формуле:

$$R = 0,25 D^2 / H, \quad (19)$$

где D - внутренний диаметр цилиндрической части, к которой присоединяются эллиптическое, полусферическое или торосферическое днище или крышка, мм;

H - высота днища или крышки без отбортовки, мм.

Для полусферических днищ и крышек $H = 0,5 D$, поэтому $R = 0,5 D$. Для эллиптических днищ и крышек $H = 0,25 D$, поэтому $R = D$.

Расчетная толщина стенки эллиптических, полусферических или торосферических днищ по условиям устойчивости (S_y , мм) определяется по формуле:

$$S_y = \frac{K_3}{510} \times R \times \sqrt{2.4 \times 10^6 \times P_{p2} / E} \quad (20)$$

где P_{p2} - расчетное давление по условиям устойчивости, принимаемое таким же, как и в расчете на устойчивость цилиндрических обечаек, к которым присоединяются днища или крышки, МПа;

E - модуль упругости материала (см. Прил. 8), МПа;

K_3 - вспомогательный коэффициент.

Вспомогательный коэффициент ($K_{\text{э}}$) определяется в зависимости от величин H/D и D/S_p по формуле:

$$K_{\text{э}} = \frac{1 + (2,4 + 8X)X}{1 + (3,0 + 10X)X}, \quad (21)$$

где

$$X = 10 \frac{S_p}{D} \times \frac{D}{2H} - \frac{2H}{D} \quad (22)$$

Поскольку в начале расчета величина расчетной толщины стенки эллиптических, полусферических или торосферических днищ и крышек S_p неизвестна, то первоначально следует задаться значением $K_{\text{э}}=0,9$ для эллиптических днищ и крышек и $K_{\text{э}}=1,0$ для полусферических днищ и крышек. В результате находят предварительное значение S_y и затем полученную величину уточняют с помощью формул (21) и (22). Для торосферических днищ и крышек значение вспомогательного коэффициента принимается равным $K_{\text{э}}=1,0$ без последующего уточнения.

4.6. Определение толщины плоских круглых днищ и крышек

Проектная толщина плоских круглых днищ и крышек определяется по общему соотношению (3) [6].

Расчетная толщина плоских круглых днищ и крышек, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением, (S_p , мм) определяется по формуле:

$$S_{1p} = K \times K_0 \times D_p \times \sqrt{P_{p1} / [\sigma]}, \quad (23)$$

где D_p - расчетный диаметр (для соединений, приведенных в табл. 2, $D_p = D$), мм;

P_{p1} - расчетное давление по условиям прочности, принимаемое таким же, как и для цилиндрической обечайки, к которой присоединяется крышка или днище, МПа;

[σ] - допускаемое напряжение материала днища или крышки (Прил. 6), МПа;

ψ - коэффициент прочности сварного шва (Прил. 7);

K - коэффициент, зависящий от вида сварного соединения днища и крышки с цилиндрической обечайкой и принимаемый по табл. 2;

K_0 - коэффициент, учитывающий ослабление днища или крышки отверстиями.

Таблица 2 Значения коэффициента K в зависимости от конструкции днищ и крышек.

Таблица 2

Значения коэффициента K в зависимости от конструкции днищ и крышек.

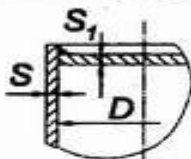
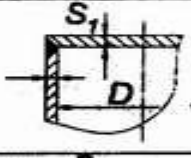

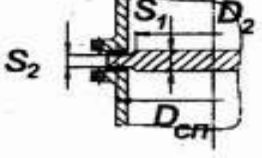
Тип	Эскиз соединения	K
1		0,53
2		0,45
3		0,35
4		0,11

Рис. 8. Плоская крышка с фланцем

Коэффициент ослабления (K_0) для днищ и крышек, имеющих одно отверстие, определяется по формуле:

$$K_0 = \sqrt{1 + d/D + (d/D)^2} \quad (24)$$

а для днищ и крышек, имеющих несколько отверстий, по формуле:

$$K_0 = \sqrt{\frac{e}{e} - \sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i}{D} \right)^2 \frac{e}{e} - \sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i}{D} \right)^2} \quad (25)$$

где d_i - диаметр i -го отверстия, мм;
 N - число отверстий.

Если плоская крышка или днище присоединяется к корпусу с помощью фланца (рис. 8), то расчетный диаметр

$$D_p = D_{cp} \quad (26)$$

а величина коэффициента К определяется по формуле:

$$K = 0,41 \sqrt{[1 + 3y \times (D_3 / D_{cn} - 1)] / [D_3 / D_{cn}]} \quad (27)$$

где D_3 - диаметр болтовой окружности, мм;
 D_{cp} - средний диаметр прокладки, мм;
 Θ - коэффициент.

Диаметр болтовой окружности и средний диаметр прокладки следует брать из ГОСТ 28759.2-90 для стандартного фланца. Выбор фланцев описан в п. 6.1.

Коэффициент ослабления (K_0) для днищ и крышек, имеющих одно отверстие, определяется по формуле:

Значение Θ определяется по формулам:

$$y = 1 + F_{пр} / F_Q, \quad (28)$$

или

$$y = 1 + F_B / F_Q, \quad (29)$$

где $F_{пр}$ - реакция прокладки, Н;
 F_B - нагрузка на болты крепления крышки, Н;
 F_Q - равнодействующая внутреннего давления, Н.

Равнодействующая внутреннего давления (F_Q , Н) определяется по формуле:

$$F_Q = 0,785 P_{p1} \times D_{cn}^2, \quad (30)$$

где P_{p1} - расчетное давление по условиям прочности, МПа.

Нагрузка на болты крепления крышки (F_B , Н) может быть определена по п. 6.1 только после выбора фланца и уплотнения в соединении фланца и крышки (см. п. 6.1). Для крышки, имеющей паз для перегородки (рис. 9), необходимо учитывать усилие от сжатия прокладки в пазах [6].

Рис. 9. Плоская крышка с пазом для перегородки

Значение коэффициента К для определения толщины в месте паза (рис. 9) определяется по формуле:

$$K = 0,41 \sqrt{[1 + 3y \times (D_3 / D_{cn} - 1) + 9,6 \times D_3 \times S_2 / D_{cn}^2] / [D_3 / D_{cn}]}, \quad (31)$$

где S_2 - толщина стенки перегородки, мм.

4.7. Особенности расчета элементов кожухотрубчатых теплообменников

Трубы в трубной решетке размещают тремя способами: по сторонам правильных шестиугольников, по сторонам квадратов и по концентрическим окружностям [8].

Для получения компактного теплообменника с наименьшим размером в поперечном сечении расстояние между осями труб (шаг расположения труб) принимают минимальным.

В случае применения вальцованных соединений с наружным диаметром труб более- 19 мм минимальный шаг расположения труб (L_{\min} , мм), принимают [8] по условию:

$$L_{\min} = (1,25 - 1,35) d_H, \quad (32)$$

где d_H - наружный диаметр трубы, мм

Причем ширина простенки (L_3 , мм) должна быть, в свою очередь связана условием:

$$L_3 = (L - d_H)^3 \cdot 6 \text{ мм}.$$

Большие значение шага труб выбирают для труб меньшего диаметра. Общее количество труб в аппарате (n_0) будет равно:

$$n_0 = 0,75 (n_g^2 - 1) + 1 \quad (33)$$

где n_g - число труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника.

Число труб n_g определяется по формуле:

$$n_g = \frac{D + d_H}{L} - 1, \quad (34)$$

где D - внутренний диаметр кожуха, мм.

Обечайки (кожухи) теплообменных аппаратов работают, как правило, под действием осевой силы растяжения и избыточного внутреннего давления [9].

Трубы кожухотрубчатого теплообменника подвержены воздействию осевой силы сжатия. Для труб выполняют поверочный расчет [9] при заданной толщине стенки по формуле:

$$s_{TP} = \frac{P_{TP}}{F_{TP}} \cdot \epsilon [s]_{TP} \quad (36)$$

где ϵ_{TP} , $[\epsilon]_{TP}$ - соответственно расчетное и допускаемое напряжения в материале трубы, МПа;
 P_{TP} - осевая сила в трубах, Н;

F_{TR} - площадь поперечного сечения труб, мм.

Площадь поперечного сечения труб (F_{TR} , мм) определяется по формуле:

$$F_{TR} = h(d_H - S_{TR}) \times S_{TR} \times n_0, \quad (37)$$

где S_{TR} - толщина стенки трубы, мм.

В теплообменниках с линзовыми компенсаторами растягивающая сила в кожухе аппарата $P_K \sim 0$, а осевая сила в трубах (P_{TR} , Н) определяется по формуле:

$$P_{TR} = 0,25h(D^2 - z \times d_H^2) \times p_{TR}, \quad (38)$$

где p_{TR} - давление в трубах, МПа.

Значение осевой силы в трубах следует также проверить по условию надежности крепления труб в трубных решетках по формуле:

$$\frac{P}{h \times d_H \times n \times z} \leq [q], \quad (39)$$

где h - толщина трубной решетки, мм;

$[q]$ - допускаемое усилие на единицу длины трубы, зависящие от способа крепления труб, кН/м; при креплении труб вальцовкой в гладких отверстиях без отбортовки $[q] = 40$ кН/м ; с отбортовкой $[q] = 70$ кН/м.

Толщина трубной решетки может быть определена так же, как и толщина плоского днища с учетом ослабления ее отверстиями по п. 4.6 или по формуле [9] :

$$h = \sqrt{\frac{k \times p \times (D^2 - n_0 \times d_B^2)}{[s_u] \times c}}, \quad (40)$$

где k - коэффициент закрепления, принимается $k=0,162$;

d_B - внутренний диаметр труб, мм ;

p - перепад давлений по сторонам трубной решетки, Па ;

$[s_u]$ - допускаемое напряжение при изгибе, Па.

Коэффициент ослабления трубной решетки определяется по формуле:

$$c = \frac{L - d_H}{L}, \quad (41)$$

Толщина трубной стальной решетки, исходя из надежной развальцовки, должна быть больше, чем найденная по следующему выражению:

$$h_{mm}=0,005+0,125d_H. \quad (42)$$

Применяемые в кожухотрубчатых теплообменниках линзовые компенсаторы стандартизированы для давления $p_y \leq 2,5$ МПа и температуры от -70 до 700°C [10].

Конструкция гибких элементов линзового компенсатора представлена на рис. 10 .

Основные размеры линзовых компенсаторов в соответствии с ОСТом 26-01-1505-76 приведены в табл.3 ,

Рис. 10. Конструкция линзы

Таблица 3 - Размеры линзовых компенсаторов, мм

P _y , МПа	D _л	D _y	D _H	S _л	R	L _к	L при N			
							1	2	3	4
0,25	400-600	D _y +12	D _H +250	3	22	104	104	205	306	407
	700-1400	D _y +16								
	1600-5000	D _y +20								
0,6	400-600	D _y +8	D _H +250	4	22	106	106	209	312	415
	700-1400	D _y +16								
	1600-5000	D _y +20								

Необходимое число линз Z_л определяется [3] по формуле:

$$Z_{л} = [a_{TP} \alpha (t_{TP} - t_0) - a_k (t_k - t_0)] L_{TP} / \Delta L, \quad (43)$$

где α_{TP} , α_k - температурные коэффициенты линейного расширения материала труб и кожуха, 1/°C;

t_{TP}, t_k - рабочие температуры труб и кожуха, °C;

t₀ - температура аппарата при изготовлении, принимают для расчета t₀ = 20 °C;

L_{TP} - длина труб, мм ;

ΔL - компенсирующая способность одной линзы, мм.

Компенсирующая способность одной линзы выбирается по табл. 4 на основании ОСТа 26-01-1512-76 в зависимости от числа циклов нагружения [11].

Таблица 4 - Компенсирующая способность одной линзы

Р _у , МПа	D _у , мм	± Δ _л , мм при общем числе циклов работы компенсаторов за период эксплуатации, ч					
		300	600	1000	2000	5000	10000
0,25	400-500	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
	500-5000	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	4,5
0,6	400-450	7,0	6,5	6,0	5,0	4,0	3,2
	500-3600	8,0	7,5	7,0	6,0	4,5	3,8

Значения коэффициентов линейного расширения выбираются в зависимости от температуры и вида стали по табл. 5.

Таблица 5 - Значения коэффициентов линейного расширения

Стали	α • 10 ⁶ , 1 / °С в зависимости от температуры, °С					
	от +20 до -100	от 20 до 100	от 20 до 200	от 20 до 300	от 20 до 400	от 20 до 500
Углеродистые	15,1	11,35	12,36	12,93	13,44	14,1
Легированные	15,1	11,65	12,4	12,8	13,3	13,5
Аустенитные	15,1	15,3	15,9	16,5	16,9	17,3

4.8. Расчет укрепления отверстий

Наличие отверстий в стенках сосудов вызывает концентрацию напряжений. Концентрация напряжений распространяется на часть стенки, расположенной в непосредственной близости к отверстию, т.е. имеет явно выраженный местный характер. Поэтому укрепление отверстий заключается в утолщении края стенки у отверстия [8].

Обычным способом укрепления стенки у отверстий является приварка укрепляющего кольца, изготовленного из того же материала, что и обечайка, и расположенного, как правило, снаружи сосуда. Схема укрепления стенки сосуда дана на рис. 11.

Рис. 11. Схема укрепления стенки сосуда.

Условные обозначения: 1 - стенка сосуда; 2 - патрубок; 3 - укрепляющее кольцо.

Не укрепленными отверстиями считаются отверстия под развальцовку и резьбу; отверстия, уплотняемые лючковыми и др. затворами; отверстия, предназначенные для присоединения труб, штуцеров, втулок и т. п.

Расчет укреплений отверстий проводится по ГОСТу 24755-91. Данный стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий в обечайках, переходах и выпуклых днищах сосудов и аппаратов, работающих под действием внутреннего и наружного давления [13].

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки обечайки вычисляется по формуле:

$$d_0 = 2 \times \frac{\sigma_s S - c}{\sigma} - 0,8 \times \sqrt{D_p \times (S - c)}, \quad (44)$$

- где S - избыточная толщина стенки сосуда, мм;
 c - прибавки, мм (см. п. 4.2);
 S_N - расчетная толщина стенки обечайки по условиям прочности, мм;
 D_p - расчетный диаметр укрепляемых элементов, мм.

Для цилиндрической обечайки расчетный диаметр:

$$D_p = D. \quad (45)$$

Для конической обечайки перехода или днища расчетный диаметр определяется по формуле:

$$D_p = \frac{D_k}{\cos \alpha}, \quad (46)$$

- где D_k - внутренний диаметр конической обечайки по центру укрепляемого отверстия, мм;
 α - половина угла при вершине конической обечайки.

Для эллиптических днищ расчетный диаметр определяется по формуле:

$$D_p = 2 \times D \times \sqrt{1 - 3 \times \frac{\sigma_x}{\sigma} \times \frac{\sigma^2}{D^2}}, \quad (47)$$

где x - расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, мм.

Для сферических и торосферических днищ расчетный диаметр определяется по формуле:

$$D_p = 2 \cdot R, \quad (48)$$

где R - наибольший внутренний радиус выпуклого днища, мм.

Укрепление отверстий не требуется, если выполняется следующее условие:

$$d_p \geq d_0, \quad (49)$$

где d_0 - расчетный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления, мм;

d_p - расчетный диаметр имеющегося отверстия, мм.

Расчетный диаметр кругового отверстия определяется по формуле:

$$d_p = d + 2 \cdot C, \quad (50)$$

где d - внутренний диаметр штуцера, мм;

C - сумма прибавок к толщине стенки, мм.

Расчетный диаметр отверстия и штуцера, ось которого лежит в плоскости поперечного сечения обечайки (рис.12), определяется по формуле:

$$d_p = \max \{d; 0,5 \cdot t\} + 2 \cdot C, \quad (51)$$

где t - длина отверстия в окружном направлении, мм.

Расчетный диаметр отверстия для смещенного штуцера на эллиптическом днище (рис. 13) определяется по формуле:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C}{\sqrt{1 - \frac{e^2}{D_p^2} \times \frac{d^2}{\delta^2}}}, \quad (52)$$

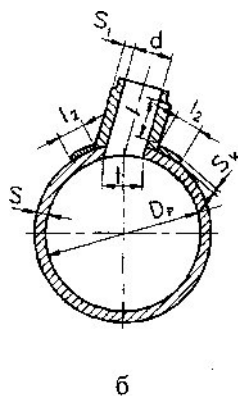


Рис. 12. Наклонные штуцера на обечайке: а - по касательной к обечайке; б - под наклоном к обечайке

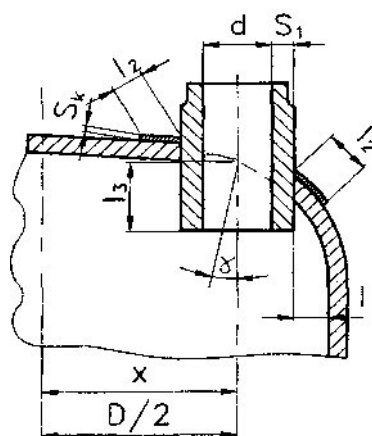


Рис. 13. Смещенный штуцер на эллиптическом днище

Необходимо отметить, что независимо от расчета не рекомендуется оставлять неукрепленной стенку у отверстия диаметром более 200 мм.

Размеры укрепляющего кольца определяются по методу площадей [8]. Вначале находится площадь (F_3) сечения укрепляющего элемента при продольном сечении обечайки (рис. 11), которая должна быть по меньшей мере равна площади (F_y) сечения стенки обечайки, приходящейся на отверстие, стенку у которого допустимо не укреплять, а именно по формуле:

$$F_3 \geq F_y - F_0 = (d + 2 \cdot C - d_0) \cdot S_P \quad (53)$$

Считается, что весь материал, находящийся внутри зоны укрепления в виде укрепляющего элемента, а также в виде толщины стенок обечайки и штуцера, взятый дополнительно к расчетному, входит в укрепление стенки вблизи отверстия. Однако площадь, приходящаяся на долю сечения, образованного прибавками на коррозию, не считается укрепляющей. Площадь сечения элементов сосуда, участвующих в укреплении стенки у отверстия, определяется по формуле:

$$P_3 = [D_K - (d + 2 \cdot C)] \cdot S_K + [D_3 - (d + 2 \cdot C)] \cdot (S - S_P - C) + 2 \cdot (H_3 - S_K) \cdot (S_1 - S_{1P} - C), \quad (54)$$

где D_K - диаметр закрепляющего кольца, мм;
 S_K - толщина укрепляющего кольца, мм;
 S_{1P} , S_1 - соответственно расчетная и проектная толщина стенки штуцера, мм;
 H_3 - высота зоны укрепления, мм;
 D_3 - диаметр зоны укрепления, мм.

Высота зоны укрепления равна расстоянию между образующими обечайки и горизонтальными линиями АГ и БВ и определяется по формуле:

$$H_3 = 2,5 \cdot S_P, \quad (55)$$

Диаметр зоны укрепления равен расстоянию между двумя вертикальными линиями АБ и ВГ и определяется по формуле:

$$D_3 = 2 \cdot (d + 2 \cdot S_1), \quad (56)$$

Приравнивая формулы (53) и (54), определяют диаметр и толщину укрепляющего кольца, принимая для расчета соотношение:

$$S_K = 0,5 \cdot L_K, \quad (57)$$

где L_K - ширина укрепляющего кольца, мм.

Полученную по расчетам толщину укрепляющего элемента (S_K , мм) округляют до ближайшего стандартного значения толщины листа по ГОСТ 19903-74 [4].