

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

(подпись) Василенко В.Н.
(Ф.И.О.)

"25" мая 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ**

Оборудование производств редких элементов
(наименование дисциплины (модуля))

Специальность

**18.05.02 Химическая технология материалов
современной энергетики**

специализация

**Технология теплоносителей и радиоэкология ядерных
энергетических установок**

Квалификация выпускника
Инженер

Разработчик

(подпись)

23.05.2023 г.

(дата)

Ким К.Б

(Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой неорганической химии и химической технологии

(наименование кафедры, являющейся ответственной за данное направление подготовки, профиль)

(подпись)

23.05.2023 г.

(дата)

проф. Нифталиев С.И.

(Ф.И.О.)

1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование компетенций обучающегося в области профессиональной деятельности и сфере профессиональной деятельности:

26 Химическое, химико-технологическое производство (в сферах: химической технологии материалов ядерного топливного цикла; химической технологии разделения и применения изотопов; химической технологии теплоносителей и радиозкологии ядерных энергетических установок; радиационной химии и радиационного материаловедения; ядерной и радиационной безопасности на объектах использования ядерной энергии; химической технологии наноматериалов в области ядерной энергетики; химической технологии редких и редкоземельных металлов, химической технологии радиофармпрепаратов).

Дисциплина направлена на решение задач профессиональной деятельности следующего типа: *научно-исследовательский; технологический; организационно-управленческий; проектный.*

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики.

2. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины в соответствии с предусмотренными компетенциями обучающийся должен:

№ п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ПКв-5	Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО	ИД1 _{ПКв-5} - Демонстрирует знание правил радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами; методы и типы спектрометрической аппаратуры; методы оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО
			ИД2 _{ПКв-5} - Систематизирует и анализирует информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
ИД1 _{ПКв-5} - Демонстрирует знание правил радиационной безопасности и	Знать: правила радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами
	Уметь: применять правила радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами

основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами; методы и типы спектрометрической аппаратуры; методы оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО	Владеть: навыками оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО
ИД2 _{ПКв-5} - Систематизирует и анализирует информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков	Знать: информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы
	Уметь: систематизировать и анализировать информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определять оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков
	Владеть: навыками определения оптимальных технологических процессов, разрабатывать альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы ВО

Дисциплина «Оборудование производств редких элементов» входит в вариативную часть дисциплин блока один.

Требования к «входным» знаниям, умениям и компетенциям студента.

Студент должен знать:

- основные закономерности протекания химических процессов, характеристики равновесного состояния, методы описания химического равновесия в растворах электролитов;
- современное состояние технического обслуживания оборудования и общие положения технического диагностирования относительно технологических машин и оборудования;
- основные конструкционные материалы.

Студент должен уметь:

- выполнять расчеты основного оборудования;
- использовать основные химические законы, термодинамические справочные данные и количественные соотношения неорганической химии для решения профессиональных задач.

Дисциплина «Оборудование производств редких элементов» является предшествующей для освоения дисциплин:

- *Производственная практика*
- *Выпускная квалификационная работа*

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетные единицы.

Виды учебной работы	Всего акад. часов	Семестр
		9

	акад.	акад.
Общая трудоемкость дисциплины (модуля)	216	216
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	78,7	78,7
Лекции	30	30
Лабораторные занятия (ЛР)	15	15
Практические работы (ПР)	30	30
Консультации текущие	1,5	1,5
Проведение консультаций перед экзаменом	2	2
Виды аттестации (экзамен)	0,2	0,2
Самостоятельная работа:	103,5	103,5
Проработка материалов по конспекту лекций (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, задач)	26	26
Проработка материалов по учебнику (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, задач)	26	26
Подготовка к защите лабораторных работ (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, задач)	26	26
Подготовка к защите практических работ (собеседование, тестирование, решение кейс-заданий, задач)	25,5	26
Подготовка к экзамену (контроль)	33,8	33,8

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

5.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, час
1	Введение	Предмет и задачи курса. Факторы, влияющие на конструкции аппаратов и машин, их эксплуатацию. Химическая, радиохимическая и ядерная безопасность при конструировании химической аппаратуры и ее обслуживание.	10
2	Оборудование механических процессов	Общие сведения о процессах. Основные физико-механические свойства сыпучих материалов. Дисперсионный состав. Транспортировка, хранение сыпучих материалов. Классификация транспортных устройств. Конвейеры: скребковые, ленточные, винтовые. Ковшовые элеваторы. Установки пневмотранспорта. Конструкции и расчет. Бункеры и затворы. Дозаторы сыпучих материалов. Дробление и измельчение. Физико-механические основы измельчения. Расход энергии. Аппаратура для крупного	20

		дробления: щековые и конусные дробилки; для среднего и мелкого: валковые и ударные дробилки; для измельчения: шаровые и стержневые мельницы. Классификация. Основные способы классификации. Ситовая классификация. Грохоты: колосниковые, качающиеся, вибрационные. Гидравлическая классификация. Гидроциклоны. Классификаторы: речные, скребковые, спиральные.	
3	Обогащение руд	Способы обогащения. Гравитационное обогащение. Магнитная и электростатическая сепарация. Общие сведения о процессах. Конструкция аппаратов: отсадочные машины, концентрационные столы, сепараторы, РКС	20
4	Выщелачивание	Определение процесса выщелачивания. Перколяционное и агитационное выщелачивание. Основные факторы, влияющие на скорость процесса гидрометаллургического вскрытия руд и концентратов. Аппараты с механическим, пневмомеханическим и пульсационным перемешиванием. Горизонтальные и вертикальные автоклавы. Конструкции и расчеты. Расчет объема аппарата и числа аппаратов в каскаде непрерывного действия.	17
5	Оборудование ионообменных процессов	Место и роль ионного обмена в атомной промышленности. Основы ионного обмена: физико-химические свойства, равновесие ионного обмена, кинетика ионного обмена. Конструкции ионообменных аппаратов периодического, непрерывного и полунепрерывного действия. Методы оценки и сравнения эффективности ионообменной аппаратуры. Инженерный расчет ионообменного оборудования.	20
6	Оборудование экстракционных процессов	Основные понятия экстракции. Область применения экстракции на предприятиях, производящих редкие и радиоактивные металлы. Теоретические основы процесса: экстракционное равновесие, выбор экстрагента и разбавителя, применение	16

		высаливателей, кинетика экстраги-рования. Устройство смесителей-отстойников, колонных аппаратов и центробежных экскаваторов.	
7	Высокотемпературные процессы	Общая характеристика высокотемпературных процессов производства урана и редких металлов. Основные положения кинетики гетерогенных химических реакций.	16
8	Процессы в перемешиваемом слое твердого материала	Общие сведения. Вращающиеся, шахтные печи, шнековые реакторы, их достоинства и недостатки. Основные конструкционные особенности. Движения мелкокускового материала. Расчет печей по производительности.	14
9	Процессы в псевдооживленном слое твердого материала	Области применения в технологии редких и радиоактивных элементов. Гидродинамика взвешенного и кипящего слоя. Кипящий и фонтанирующий слой. Конструктивные особенности реакторов кипящего слоя, их достоинства и недостатки. Методы расчета по производительности. Аппараты "комбинированного" типа. Достоинства и недостатки.	14
10	Процессы в пламени	Общие сведения. Области применения. Гидродинамика горящего факела. Теплопередача в пламенных процессах. Конструкция пламенных реакторов и их расчет.	14
11	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	Теория процессов восстановительной и рафинировочной плавки. Конструкции печей.	16

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час	ЛР, час	ПР, час	СРО, час
1	Введение	2	1	2	3,5
2	Оборудование механических процессов	4	2	4	10
3	Обогащение руд	4	2	4	10
4	Выщелачивание	2	2	2	10
5	Оборудование ионообменных процессов	4	2	4	10
6	Оборудование экстракционных процессов	4	2	2	10
7	Высокотемпературные	2	2	2	10

	процессы				
8	Процессы в перемешиваемом слое твердого материала	2	-	3	10
9	Процессы в псевдооживленном слое твердого материала	2	-	3	10
10	Процессы в пламени	2	-	2	10
11	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	2	2	2	10

5.2.1 Лекции

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, час
1	Введение	Предмет и задачи курса. Факторы, влияющие на конструкции аппаратов и машин, их эксплуатацию. Химическая, радиохимическая и ядерная безопасность при конструировании химической аппаратуры и ее обслуживание.	2
2	Оборудование механических процессов	Общие сведения о процессах. Основные физико-механические свойства сыпучих материалов. Дисперсионный состав. Транспортировка, хранение сыпучих материалов. Классификация транспортных устройств. Конвейеры: скребковые, ленточные, винтовые. Ковшовые элеваторы. Установки пневмотранспорта. Конструкции и расчет. Бункеры и затворы. Дозаторы сыпучих материалов. Дробление и измельчение. Физико-механические основы измельчения. Расход энергии. Аппаратура для крупного дробления: щековые и конусные дробилки; для среднего и мелкого: валковые и ударные дробилки; для измельчения: шаровые и стержневые мельницы. Классификация. Основные способы классификации. Ситовая классификация. Грохоты: колосниковые, качающиеся, вибрационные. Гидравлическая классификация. Гидроциклоны. Классификаторы: реечные, скребковые, спиральные.	4
3	Обогащение руд	Способы обогащения. Гравитационное обогащение. Магнитная и электростатическая сепарация. Общие сведения о процессах. Конструкция	4

		аппаратов: отсадочные машины, концентрационные столы, сепараторы, РКС	
4	Выщелачивание	<p>Определение процесса выщелачивания. Перколяционное и агитационное выщелачивание. Основные факторы, влияющие на скорость процесса гидрометаллургического вскрытия руд и концентратов. Аппараты с механическим, пневмомеханическим и пульсационным перемешиванием. Горизонтальные и вертикальные автоклавы. Конструкции и расчеты. Расчет объема аппарата и числа аппаратов в каскаде непрерывного действия.</p>	2
5	Оборудование ионообменных процессов	<p>Место и роль ионного обмена в атомной промышленности. Основы ионного обмена: физико-химические свойства, равновесие ионного обмена, кинетика ионного обмена. Конструкции ионообменных аппаратов периодического, непрерывного и полунепрерывного действия. Методы оценки и сравнения эффективности ионообменной аппаратуры. Инженерный расчет ионообменного оборудования.</p>	4
6	Оборудование экстракционных процессов	<p>Основные понятия экстракции. Область применения экстракции на предприятиях, производящих редкие и радиоактивные металлы. Теоретические основы процесса: экстракционное равновесие, выбор экстрагента и разбавителя, применение высаливателей, кинетика экстраги-рования. Устройство смесителей-отстойников, колонных аппаратов и центробежных экскаваторов.</p>	4
7	Высокотемпературные процессы	<p>Общая характеристика высокотемпературных процессов производства урана и редких металлов. Основные положения кинетики гетерогенных химических реакций.</p>	2
8	Процессы в перемешиваемом слое твердого материала	<p>Общие сведения. Вращающиеся, шахтные печи, шнековые реакторы, их достоинства и недостатки. Основные конструкционные особенности. Движения мелкокускового материала. Расчет печей по</p>	2

		производительности.	
9	Процессы в псевдооживленном слое твердого материала	Области применения в технологии редких и радиоактивных элементов. Гидродинамика взвешенного и кипящего слоя. Кипящий и фонтанирующий слой. Конструктивные особенности реакторов кипящего слоя, их достоинства и недостатки. Методы расчета по производительности. Аппараты "комбинированного" типа. Достоинства и недостатки.	2
10	Процессы в пламени	Общие сведения. Области применения. Гидродинамика горящего факела. Теплопередача в пламенных процессах. Конструкция пламенных реакторов и их расчет.	2
11	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	Теория процессов восстановительной и рафинировочной плавки. Конструкции печей.	2

5.2.2 Лабораторные занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, час
1	Введение		1
2	Оборудование механических процессов	Определение удельной поверхности порошкообразных материалов. Определение размера пор фильтрующего элемента.	2
3	Обогащение руд	Выделение ильменитового концентрата методом магнитной сепарации.	2
4	Выщелачивание	Подготовка руды к процессу выщелачивания.	2
5	Оборудование ионообменных процессов	Исследование процесса сорбции урана на ионообменных смолах.	2
6	Оборудование экстракционных процессов	Экстракция руды	2
7	Высокотемпературные процессы	Исследование процесса осаждения твердых частиц в жидкости под действием силы тяжести.	2
8	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	Теория процессов восстановительной и рафинировочной плавки. Конструкции печей.	2

5.2.3 Практические работы (семинары)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, час
1	Введение	Материальный и тепловые расчеты при проектировании промышленного оборудования. Энергетический расчет.	2
2	Оборудование механических процессов	Расчет угла захвата и производительности щековой дробилки.	4
3	Обогащение руд	Расчет скоростей осаждения твердых частиц различного размера в жидкостях и газах	4
4	Выщелачивание	Способы выщелачивания руд. Расчет агитаторов, чанов и пачуков.	2
5	Оборудование ионообменных процессов	Расчет сорбционных аппаратов. Расчет регенерирующих аппаратов.	4
6	Оборудование экстракционных процессов	Расчет экстракторов. Расчет регенерирующих аппаратов.	2
7	Высокотемпературные процессы	Расчет печей.	2
8	Процессы в перемешиваемом слое твердого материала	Расчет печей по производительности.	3
9	Процессы в псевдооживленном слое твердого материала	Методы расчета реакторов кипящего слоя	3
10	Процессы в пламени	Конструкция пламенных реакторов и их расчет.	2
11	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	Конструкции печей.	2

5.2.4 Самостоятельная работа обучающихся (СРО)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, час
1	Введение	Предмет и задачи курса. Факторы, влияющие на конструкции аппаратов и машин, их эксплуатацию. Химическая, радиохимическая и ядерная безопасность при конструировании химической аппаратуры и ее обслуживание.	3,5
2	Оборудование механических процессов	Общие сведения о процессах. Основные физико-механические свойства сыпучих материалов. Дисперсионный состав. Транспортировка, хранение сыпучих материалов. Классификация транспортных устройств. Конвейеры: скребковые, ленточные, винтовые. Ковшовые элеваторы. Установки пневмотранспорта. Конструкции и расчет. Бункеры и затворы. Дозаторы сыпучих материалов. Дробление и измельчение. Физико-механические основы	10

		измельчения. Расход энергии. Аппаратура для крупного дробления: щековые и конусные дробилки; для среднего и мелкого: валковые и ударные дробилки; для измельчения: шаровые и стержневые мельницы. Классификация. Основные способы классификации. Ситовая классификация. Грохоты: колосниковые, качающиеся, вибрационные. Гидравлическая классификация. Гидроциклоны. Классификаторы: речные, скребковые, спиральные.	
3	Обогащение руд	Способы обогащения. Гравитационное обогащение. Магнитная и электростатическая сепарация. Общие сведения о процессах. Конструкция аппаратов: отсадочные машины, концентрационные столы, сепараторы, РКС	10
4	Выщелачивание	Определение процесса выщелачивания. Перколяционное и агитационное выщелачивание. Основные факторы, влияющие на скорость процесса гидрометаллургического вскрытия руд и концентратов. Аппараты с механическим, пневмомеханическим и пульсационным перемешиванием. Горизонтальные и вертикальные автоклавы. Конструкции и расчеты. Расчет объема аппарата и числа аппаратов в каскаде непрерывного действия.	10
5	Оборудование ионообменных процессов	Место и роль ионного обмена в атомной промышленности. Основы ионного обмена: физико-химические свойства, равновесие ионного обмена, кинетика ионного обмена. Конструкции ионообменных аппаратов периодического, непрерывного и полунепрерывного действия. Методы оценки и сравнения эффективности ионообменной аппаратуры. Инженерный расчет ионообменного оборудования.	10
6	Оборудование экстракционных процессов	Основные понятия экстракции. Область применения экстракции на предприятиях, производящих редкие и радиоактивные металлы. Теоретические основы процесса: экстракционное равновесие, выбор экстрагента и разбавителя, применение высаливателей, кинетика	10

		экстраги-рования. Устройство смесителей-отстойников, колонных аппаратов и центробежных экскаваторов.	
7	Высокотемпературные процессы	Общая характеристика высокотемпературных процессов производства урана и редких металлов. Основные положения кинетики гетерогенных химических реакций.	10
8	Процессы в перемешиваемом слое твердого материала	Общие сведения. Вращающиеся, шахтные печи, шнековые реакторы, их достоинства и недостатки. Основные конструкционные особенности. Движения мелкокускового материала. Расчет печей по производительности.	10
9	Процессы в псевдооживленном слое твердого материала	Области применения в технологии редких и радиоактивных элементов. Гидродинамика взвешенного и кипящего слоя. Кипящий и фонтанирующий слой. Конструктивные особенности реакторов кипящего слоя, их достоинства и недостатки. Методы расчета по производительности. Аппараты "комбинированного" типа. Достоинства и недостатки.	10
10	Процессы в пламени	Общие сведения. Области применения. Гидродинамика горящего факела. Теплопередача в пламенных процессах. Конструкция пламенных реакторов и их расчет.	10
11	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	Теория процессов восстановительной и рафинировочной плавки. Конструкции печей.	10

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература

1. Ящура, А.И. Система технического обслуживания и ремонта оборудования химической промышленности: Справочник [Электронный ресурс] : справочник / А.И. Ящура. — Электрон. дан. — Москва : ЭНАС, 2012. — 448 с. <https://e.lanbook.com/book/38622>.

2. Косинцев, В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования [Электронный ресурс] : учебник / В.И. Косинцев, А.И. Михайличенко, Н.С. Крашенинникова, В.М. Миронов ; под ред. Михайличенко А.И.. — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2013. — 395 с. <https://e.lanbook.com/book/45151>.

3. Пахомов, В.С. Коррозия и защита теплообменного оборудования химических производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Пахомов. — Электрон. дан. — Пенза: ПензГТУ, 2013. — 364 с. <https://e.lanbook.com/book/62491>.

4. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования [Текст]: справочник: учебное пособие по спец. 240801 (гриф УМО). Т. 1. / А. С. Тимонин. - 3-е изд., испр. - Калуга: Бочкаревой Н.; 2015. - 852 с.

5. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования [Текст]: справочник: учебное пособие по спец. 240801 (гриф УМО). Т. 2. / А. С. Тимонин. - 3-е изд., испр. - Калуга: Бочкаревой Н.; 2015. - 1028 с.

6. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования [Текст]: справочник: учебное пособие по спец. 240801 (гриф УМО). Т. 3. / А. С. Тимонин. - 3-е изд., испр. - Калуга: Бочкаревой Н.; 2015. - 968 с.

7. Ветошкин, А. Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды [Текст]: учебное пособие для студ. вузов (гриф МО)/ А. Г. Ветошкин - М.: Высшая школа, 2014. - 639 с.

6.2 Дополнительная литература

1. Енговатов, И.А. Вывод из эксплуатации ядерных установок (на примере блоков атомных станций) [Электронный ресурс] : монография / И.А. Енговатов, Б.К. Былкин. — Электрон. дан. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2015. — 128 с. <https://e.lanbook.com/book/73947>.

2. Седнин, А.В. Атомные электрические станции. Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Седнин, Н.Б. Карницкий, М.Л. Богданович. — Электрон. дан. — Минск : "Вышэйшая школа", 2010. — 150 с. <https://e.lanbook.com/book/65539>.

3. Маркитанова, Л.И. Защита от радиации [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Л.И. Маркитанова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2015. — 39 с. <https://e.lanbook.com/book/91504>.

4. Журнал «Экология и промышленность России»

5. Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение»

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

1. Оборудование производств редких элементов [Электронный ресурс] : методические указания к самостоятельной работе / Воронеж. гос. ун-т инж. технол.; сост. К.Б. Ким – Воронеж : ВГУИТ, 2019. – 22 с. - [ЭИ]

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	https://www.edu.ru/
Научная электронная библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp?
Национальная исследовательская компьютерная сеть России	https://niks.su/
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	http://window.edu.ru/
Электронная библиотека ВГУИТ	http://biblos.vsu.ru/megapro/web
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	https://minobrnauki.gov.ru/
Портал открытого on-line образования	https://npoed.ru/
Электронная информационно-	https://education.vsu.ru/

1. Базы данных по химии <http://chemister.ru/Links/database.htm>
2. Отечественные базы данных по химии <http://www.chem.msu.su/rus/library/rusdbs.html>
3. Химия. Базы данных. http://elementy.ru/catalog/t39/Khimiya/g29/bazy_dannykh

6.5 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Используемые виды информационных технологий:

- «электронная»: персональный компьютер и информационно-поисковые (справочно-правовые) системы;
- «компьютерная» технология: персональный компьютер с программными продуктами разного назначения (ОС Windows; MSOffice; КОМПАС-График; СПС «Консультант плюс»);
- «сетевая»: локальная сеть университета и глобальная сеть Internet.
- тестовые задания в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/>.

1. Тестовые задания в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/>.

2. Microsoft Windows XP; Microsoft Windows 2008 R2 Server; Microsoft Office 2007 Professional 07.

3. Информационная справочная система. Портал фундаментального химического образования ChemNet. Химическая информационная сеть: Наука, образование, технологии <http://www.chemnet.ru>

4. Информационная справочная система. Сайт о химии. Неорганическая химия. <http://www.xumuk.ru/nekrasov>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Лекционная аудитория № 020 кафедры неорганической химии и химической технологии, оснащенная мультимедийной техникой: Мультимедийный проектор Ben Q MW 519; Сетевой коммутатор для подключения к компьютерной сети (Интернет);

2. Аудитории № 029, 027, 022 кафедры неорганической химии и химической технологии с необходимым оборудованием для проведения лабораторных работ:

- рН-метр РНер-4,
- электролизер,
- гальванометр, источник питания постоянного тока Б5.30/3, электроды,
- дифференциальный теплопроводящий микрокалориметр МИД - 200,
- аналитические весы ВЛР – 200,
- технические весы NKS – 1008,
- наборы химической посуды и реактивов для выполнения лабораторного практикума.
- наборы для демонстрационных опытов: гальванический элемент, химическое равновесие, электролиты и др.

3. Таблицы:

3.1. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева

3.2. Электроотрицательность элементов

3.3. Таблица растворимости кислот, оснований, солей

3.4. Стандартные электродные потенциалы металлов

3.5. Плакаты по свойствам атомов химических элементов.

4. Модели пространственного строения молекул и кристаллических решеток.

5. Демонстрационные опыты на лекциях по каждой теме.

6. Коллекция природных минералов, образцов простых и сложных веществ по каждой группе периодической системы химических элементов.

7. Аппаратура, применяемая для НИРС:- криоскоп Testo 735-2, потенциостатический комплекс IPC – Compact, аналитические весы WA 34 TYP PRLT A-14, термоанализатор STA 409 LUXX фирмы NETZSCH, семисекционная электродиализная ячейка с платиновым анодом и катодом, мульти-сенсорная пьезокварцевая ячейка детектирования.

8. Центр коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов», оснащенные специализированной мебелью для занятий, химической посудой; весами техническими – WS-23.; весами аналитическими ВЛР-200,WA-34; иономером U-130; термостатом U-8; термометром Testo; рН-метром РНер-4; Колориметром КФК-2, КФК-2МП; микрокалориметром МИД-200; вольтметрами цифровыми – Щ68003; рН-метрами 121, 340; шкафом сушильным 2В-151; аквадистиллятором ДЭ-15; прибором синхронного термического анализа STA.

9. Аудитория № 39 кафедры неорганической химии и химической технологии для самостоятельной работы, оснащенная комплектами мебели для учебного процесса, компьютерами со свободным доступом в Интернет.

8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Оценочные материалы (ОМ) для дисциплины (модуля) включают в себя:

- перечень компетенций с указанием индикаторов достижения компетенций, этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

ОМ представляются отдельным комплектом и **входят в состав рабочей программы дисциплины (модуля).**

Оценочные материалы формируются в соответствии с П ВГУИТ «Положение об оценочных материалах»

АННОТАЦИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

«Оборудование производств редких элементов»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции:

№ п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ПКв-5	Способен разрабатывать предложения по внедрению новых	ИД1 _{ПКв-5} - Демонстрирует знание правил радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами;

		технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО	методы и типы спектрометрической аппаратуры; методы оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО
			ИД2 _{ПКв-5} Систематизирует и анализирует информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков

Содержание разделов дисциплины: Факторы, влияющие на конструкции аппаратов и машин, их эксплуатацию. Химическая, радиохимическая и ядерная безопасность при конструировании химической аппаратуры и ее обслуживание. Общие сведения о процессах. Основные физико-механические свойства сыпучих материалов. Дисперсионный состав. Транспортировка, хранение сыпучих материалов. Классификация транспортных устройств. Конвейеры: скребковые, ленточные, винтовые. Ковшовые элеваторы. Установки пневмотранспорта. Конструкции и расчет. Бункеры и затворы. Дозаторы сыпучих материалов. Дробление и измельчение. Физико-механические основы измельчения. Расход энергии. Аппаратура для крупного дробления: щековые и конусные дробилки; для среднего и мелкого: валковые и ударные дробилки; для измельчения: шаровые и стержневые мельницы. Классификация. Основные способы классификации. Ситовая классификация. Грохоты: колосниковые, качающиеся, вибрационные. Гидравлическая классификация. Гидроциклоны. Классификаторы: речные, скребковые, спиральные. Способы обогащения. Гравитационное обогащение. Магнитная и электростатическая сепарация. Общие сведения о процессах. Конструкция аппаратов: отсадочные машины, концентрационные столы, сепараторы, РКС

Определение процесса выщелачивания. Перколяционное и агитационное выщелачивание. Основные факторы, влияющие на скорость процесса гидрометаллургического вскрытия руд и концентратов. Аппараты с механическим, пневмомеханическим и пульсационным перемешиванием. Горизонтальные и вертикальные автоклавы. Конструкции и расчеты. Расчет объема аппарата и числа аппаратов в каскаде непрерывного действия. Место и роль ионного обмена в атомной промышленности. Основы ионного обмена: физико-химические свойства, равновесие ионного обмена, кинетика ионного обмена. Конструкции ионообменных аппаратов периодического, непрерывного и полунепрерывного действия. Методы оценки и сравнения эффективности ионообменной аппаратуры. Инженерный расчет ионообменного оборудования. Основные понятия экстракции. Область применения экстракции на предприятиях, производящих редкие и радиоактивные металлы. Теоретические основы процесса: экстракционное равновесие, выбор экстрагента и разбавителя, применение высаливателей, кинетика экстрагирования. Устройство смесителей-отстойников, колонных аппаратов и центробежных экскаваторов. Общая характеристика высокотемпературных процессов производства урана и редких металлов. Основные положения кинетики гетерогенных химических реакций. Общие сведения. Вращающиеся, шахтные печи, шнековые реакторы, их достоинства и недостатки. Основные конструкционные особенности. Движения мелкокускового материала. Расчет печей по производительности. Области применения в технологии редких и радиоактивных элементов. Гидродинамика взвешенного и кипящего слоя. Кипящий и фонтанирующий слой. Конструктивные особенности реакторов кипящего слоя, их достоинства и недостатки. Методы расчета по производительности. Аппараты "комбинированного" типа. Достоинства и недостатки. Общие сведения. Области применения. Гидродинамика горящего факела. Теплопередача в пламенных процессах.

Конструкция пламенных реакторов и их расчет. Теория процессов восстановительной и рафинировочной плавки. Конструкции печей.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине
Оборудование производств редких элементов
Специальность

18.05.02 – Химическая технология материалов современной энергетики

(код наименования направления подготовки/специальности)

специализация № 3
**Технология теплоносителей и радиозэкология ядерных
энергетических установок**

Квалификация (степень) выпускника

Инженер

Разработчик: доцент, к.х.н., Ким К.Б.

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

п/п	Код компетенции	Формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	ПКв-5	Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО	ИД1 _{ПКв-5} - Демонстрирует знание правил радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами; методы и типы спектрометрической аппаратуры; методы оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО
			ИД2 _{ПКв-5} - Систематизирует и анализирует информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
ИД1 _{ПКв-5} - Демонстрирует знание правил радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами; методы и типы спектрометрической аппаратуры; методы оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО	Знать: правила радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами
	Уметь: применять правила радиационной безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами
	Владеть: навыками оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО
ИД2 _{ПКв-5} - Систематизирует и анализирует информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков	Знать: информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определяет оптимальные технологические процессы
	Уметь: систематизировать и анализировать информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определять оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков
	Владеть: навыками определения оптимальных технологических процессов, разрабатывать альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков

2. Паспорт оценочных материалов по дисциплине

№ п/п	Разделы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология оценки (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1.	Введение	ПКв-5	Собеседование	1,2	Процентная шкала
			Тест	80-82	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача		Уровневая шкала
2.	Оборудование механических процессов	ПКв-5	Тест	84-86	Процентная шкала
			Собеседование	3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,3,14,15,16,17,18	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	69-71	Уровневая шкала
			Тест	197-212	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
3.	Обогащение руд	ПКв-5	Тест	87-141	Процентная шкала
			Собеседование	19-30, 31-42	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	72-75	Уровневая шкала
4.	Оборудование ионообменных процессов	ПКв-5	Тест	142-143	Процентная шкала
			Собеседование	44-47	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	76	Уровневая шкала
5.	Оборудование экстракционных процессов	ПКв-5	Тест	144-145	Процентная шкала
			Собеседование	48-51	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	77	Уровневая шкала
6.	Высокотемпературные процессы	ПКв-5	Собеседование	52-57	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	78	Уровневая шкала
			Тест	146-147	Уровневая шкала
7	Процессы в перемешиваемом слое твердого материала	ПКв-5	Собеседование	58-60	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	79	Уровневая шкала
			Контрольная задача	197-198	Уровневая шкала

89	Процессы в псевдооживленном слое твердого материала	ПКв-5	Собеседование	61-93	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	80	Уровневая шкала
			Контрольная задача	199-202	Уровневая шкала
9	Процессы в пламени	ПКв-5	Собеседование	64-66	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	81	Уровневая шкала
			Контрольная задача	204	Уровневая шкала
10	Процессы и аппараты для получения и очистки металлов	ПКв-5	Собеседование	67-68	Отметка в системе «зачтено-незачтено»
			Кейс-задача	78	Уровневая шкала
			Контрольная задача	203	Уровневая шкала

3. Оценочные материалы для промежуточной аттестации (дифференциальный зачет). Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

Испытание промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине Оборудование производства редких элементов(9 семестр –экзамен) проводится формеписьменного ответа, предусматривает возможность последующего собеседования.

Каждый билет включает в себя 3 контрольных вопросов (задач), из них:

- 1 вопрос на проверку знаний(тестовые задания);
- 1 контрольная задача на проверку умений;
- 1 кейс-задача на проверку навыков.

3.1 Вопросы к собеседованию(для защиты лабораторных работ, дифференциального зачета)

ПКв-5- Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО

Номер вопроса	Формулировка задания
1.	Факторы, влияющие на конструкции аппаратов и машин, их эксплуатацию.
2.	Химическая, радиохимическая и ядерная безопасность при конструировании химической аппаратуры и ее обслуживание.
3.	Трубы и фасонные части трубопроводов.
4.	Соединение трубопроводов.
5.	Компенсаторы.
6.	Опора трубопроводов.
7.	Арматура: краны, вентили, задвижки, клапаны.
8.	Расчет трубопроводной арматуры.

9.	Основные физико-механические свойства сыпучих материалов.
10.	Дисперсионный состав.
11.	Транспортировка, хранение сыпучих материалов.
12.	Классификация транспортных устройств.
13.	Конвейеры: скребковые, ленточные, винтовые.
14.	Ковшовые элеваторы.
15.	Установки пневмотранспорта
16.	Конструкции и расчет пневмотранспорта.
17.	Бункеры и затворы.
18.	Дозаторы сыпучих материалов.
19.	Дробление и измельчение.
20.	Физико-механические основы измельчения.
21.	Расход энергии.
22.	Аппаратура для крупного дробления: щековые и конусные дробилки; для среднего и мелкого: валковые и ударные дробилки
23.	Аппаратура для измельчения: шаровые и стержневые мельницы.
24.	Классификация. Основные способы классификации. Ситовая классификация.
25.	Грохоты: колосниковые, качающиеся, вибрационные.
26.	Гидравлическая классификация.
27.	Гидроциклоны.
28.	Классификаторы: речные, скребковые, спиральные
29.	Способы обогащения.
30.	Гравитационное обогащение.
31.	Магнитная и электростатическая сепарация.
32.	Общие сведения о процессах.
33.	Конструкция аппаратов: отсадочные машины, концентрационные столы, сепараторы, РКС.
34.	Определение процесса выщелачивания.
35.	Перколяционное и агитационное выщелачивание.
36.	Основные факторы, влияющие на скорость процесса гидromеталлургического вскрытия руд и концентратов.
37.	Аппараты с механическим, пневмомеханическим.
38.	Аппараты с пневмомеханическим перемешиванием.
39.	Аппараты с пульсационным перемешиванием.
40.	Горизонтальные и вертикальные автоклавы..
41.	Конструкции и расчеты автоклавов.
42.	Расчет объема аппарата и числа аппаратов в каскаде непрерывного действия.
43.	Место и роль ионного обмена в атомной промышленности.
44.	Основы ионного обмена: физико-химические свойства, равновесие ионного обмена, кинетика ионного обмена.
45.	Конструкции ионообменных аппаратов периодического, непрерывного и полунепрерывного действия.
46.	Методы оценки и сравнения эффективности ионообменной аппаратуры.
47.	Инженерный расчет ионообменного оборудования.
48.	Основные понятия экстракции.
49.	Область применения экстракции на предприятиях, производящих редкие и радиоактивные металлы.
50.	Теоретические основы процесса: экстракционное равновесие, выбор экстрагента и разбавителя, применение высаливателей, кинетика экстрагирования.
51.	Устройство смесителей-отстойников, колонных аппаратов и центробежных экскаваторов.
52.	Общая характеристика высокотемпературных процессов производства урана и редких металлов.
53.	Основные положения кинетики гетерогенных химических реакций.
54.	Вращающиеся, шахтные печи, шнековые реакторы, их достоинства и недостатки.
55.	Основные конструкционные особенности шахтных печей.
56.	Движения мелкокускового материала.
57.	Расчет печей по производительности.
58.	Области применения в технологии редких и радиоактивных элементов.
59.	Гидродинамика взвешенного и кипящего слоя.
60.	Кипящий и фонтанирующий слой
61.	Конструктивные особенности реакторов кипящего слоя, их достоинства и недостатки.
62.	Методы расчета по производительности.
63.	Аппараты "комбинированного" типа. Достоинства и недостатки.

64.	Гидродинамика горящего факела.
65.	Теплопередача в пламенных процессах.
66.	Конструкция пламенных реакторов и их расчет.
67.	Теория процессов восстановительной и рафинировочной плавки.
68.	Конструкции печей.

Критерии и шкалы оценки:

- **оценка «зачтено»** выставляется студенту, если он активно участвует в собеседовании и обсуждении, подготовил аргументы в пользу решения, предложил альтернативы, выслушивал мнения других;

- **оценка «не зачтено»**, если студент выполнял роль наблюдателя, не внес вклад в собеседование и обсуждение.

3.2 Кейс-задачи (задания) к зачету

ПКв-5- Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО

№ задания	Кейс-задания
69	<p>Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления по исходным данным: внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 400$ мм; рабочее давление в аппарате $P = 0,6$ МПа (абс.); материал обечайки – 08Х18Н10Т; температура в аппарате – 100 °С. Решение: Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:</p> $S \geq S_R + C, \quad (1)$ <p>где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м; C – величина суммарной прибавки, м. Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм. Расчетная толщина стенки определяется по формуле:</p> $S_R = \frac{P_R \cdot D_{вн}}{2[\sigma] \varphi - P_R}, \quad (2)$ <p>где P_R – расчетное внутреннее избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа; $P_{атм}$ – атмосферное давление, МПа; $D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м; $[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса; φ – коэффициент сварного шва, зависит от типа сварки, по справочнику [Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 14.7, стр. 407.</p> $P_R = 1,1 (0,6 - 0,1) = 0,55 \text{ МПа},$ $S_R = \frac{0,55 \cdot 0,4}{2 \cdot 130 - 0,55} = 0,00085 \text{ м}.$ <p>Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:</p> $C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3)$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (4)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лазинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (5)$$

$$S_1 = 0,00085 + 0,001 = 0,00185 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,002$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,00018$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,00018 = 0,00118 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,00085 + 0,00118 = 0,00203 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,003$ м.

Допускаемое внутреннее избыточное давление $[P]$, МПа, определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]_t(S-C)}{D_{вн} + (S-C)} \quad (6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 130 \cdot 1 \cdot (0,003 - 0,00118)}{0,4 + (0,003 - 0,00118)} = 1,18 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$P_R \leq [P], \quad (7)$$

$$0,55 \text{ МПа} \leq 1,18 \text{ МПа} - \text{условие выполнено.}$$

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления равна $S = 0,003$ м.

70

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления по исходным данным:

внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 500$ мм;

рабочее давление в аппарате $P = 0,8$ МПа (абс.);

материал обечайки – 08X18H10T;

температура в аппарате – 20 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D_{вн}}{2[\sigma] \varphi - P_R} \quad (2)$$

где P_R – расчетное внутреннее избыточное давление, $P_R = 1.1 (P - P_{атм})$, МПа;

$P_{атм}$ – атмосферное давление, МПа;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса;

φ – коэффициент сварного шва, зависит от типа сварки, по справочнику [Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 14.7, стр. 407.

$$P_R = 1.1 (0.8 - 0.1) = 0.77 \text{ МПа,}$$

$$S_R = \frac{0.77 \cdot 0.5}{2 \cdot 140 - 1 - 0.77} = 0.00138 \text{ м.}$$

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (4)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0.0001 = 0.001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (5)$$

$$S_1 = 0.00138 + 0.001 = 0.00238 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0.003$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,00022$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0.001 + 0 + 0.00022 = 0.00122 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0.00138 + 0.00122 = 0.0026 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,003$ м.

Допускаемое внутреннее избыточное давление $[P]$, МПа, определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S-C)}{D_{вн} + (S-C)} \quad (6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (0,003 - 0,00122)}{0,5 + (0,003 - 0,0012)} = 0,99 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$P_R \leq [P], \quad (7)$$

$$0,77 \text{ МПа} \leq 0,99 \text{ МПа} - \text{условие выполнено.}$$

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления равна $S = 0,003$ м.

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления по исходным данным:
внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 600$ мм;
рабочее давление в аппарате $P = 1,2$ МПа (абс.);
материал обечайки – 08X18H10T;
температура в аппарате – 150 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D_{вн}}{2[\sigma]\varphi - P_R}, \quad (2)$$

где P_R – расчетное внутреннее избыточное давление, $P_R = 1,1(P - P_{атм})$, МПа;

$P_{атм}$ – атмосферное давление, МПа;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст]: справочник. – Л.:
Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и

температуры протекания процесса;

φ – коэффициент сварного шва, зависит от типа сварки, по справочнику [Лашинский, А.А.

Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 14.7, стр. 407.

$$P_R = 1,1(1,2 - 0,1) = 1,21 \text{ МПа,}$$

$$S_R = \frac{1,21 \cdot 0,6}{2 \cdot 120 - 1 - 1,21} = 0,00304 \text{ м.}$$

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (4)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $P = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лазинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (5)$$

$$S_1 = 0,00304 + 0,001 = 0,00404 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,005$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0005$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0005 = 0,0015 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,00304 + 0,0015 = 0,00454 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,005$ м.

Допускаемое внутреннее избыточное давление $[P]$, МПа, определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]_f(S-C)}{D_{вн} + (S-C)}, \quad (6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 120 \cdot 1 \cdot (0,005 - 0,0015)}{0,6 + (0,005 - 0,0015)} = 1,55 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$P_R \leq [P], \quad (7)$$

$$1,21 \text{ МПа} \leq 1,39 \text{ МПа} \text{ – условие выполнено.}$$

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления равна $S = 0,005$ м.

72

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления по исходным данным:

внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 700$ мм;

рабочее давление в аппарате $P = 0,6$ МПа (абс.);

материал обечайки – 08X18H12T;

температура в аппарате – 20 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D_{вн}}{2[\sigma]\varphi - P_R} \quad (2)$$

где P_R – расчетное внутреннее избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа;

$P_{атм}$ – атмосферное давление, МПа;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст]: справочник. – Л.:
Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и

температуры протекания процесса;

φ – коэффициент сварного шва, зависит от типа сварки, по справочнику [Лашинский, А.А.

Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 14.7, стр. 407.

$$P_R = 1,1 (0,6 - 0,1) = 0,55 \text{ МПа,}$$

$$S_R = \frac{0,55 \cdot 0,7}{2 \cdot 140 - 1 - 0,55} = 0,0014 \text{ м.}$$

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (4)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (5)$$

$$S_1 = 0,0014 + 0,001 = 0,0024 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного

сорта листа, получаем $S_1 = 0,003$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем

по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,00022$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,00022 = 0,00122 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,0014 + 0,00122 = 0,00262 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сорта листа, получаем $S = 0,003$ м.

Допускаемое внутреннее избыточное давление $[P]$, МПа, определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]\varphi(S-C)}{D_{вн} + (S-C)} \quad (6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 \cdot (0,003 - 0,00122)}{0,7 + (0,003 - 0,0012)} = 0,71 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$P_R \leq [P], \quad (7)$$

$$0,55 \text{ МПа} \leq 0,71 \text{ МПа} \text{ – условие выполнено.}$$

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления равна $S = 0,003$ м.

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления по исходным данным:
внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 800$ мм;
рабочее давление в аппарате $P = 0,8$ МПа (абс.);
материал обечайки – 08X18H12T;
температура в аппарате – 100 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;
 C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D_{вн}}{2[\sigma] \varphi - P_R}, \quad (2)$$

где P_R – расчетное внутреннее избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа;

$P_{атм}$ – атмосферное давление, МПа;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

73

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса;

φ – коэффициент сварного шва, зависит от типа сварки, по справочнику [Лашинский, А.А.

Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 14.7, стр. 407.

$$P_R = 1,1 (0,8 - 0,1) = 0,77 \text{ МПа,}$$

$$S_R = \frac{0,77 \cdot 0,8}{2 \cdot 130 - 1 - 0,77} = 0,0024 \text{ м.}$$

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (4)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;
 C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (5)$$

$$S_1 = 0,0024 + 0,001 = 0,0034 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,004$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0004$ м.
 Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0004 = 0,0014 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,0024 + 0,0014 = 0,0038 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,004$ м.
 Допускаемое внутреннее избыточное давление $[P]$, МПа, определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]_f(S-C)}{D_{вн} + (S-C)}, \quad (6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 130 \cdot 1 \cdot (0,004 - 0,0014)}{0,8 + (0,004 - 0,0014)} = 0,84 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие прочности:

$$P_R \leq [P], \quad (7)$$

$$0,77 \text{ МПа} \leq 0,84 \text{ МПа} - \text{условие выполнено.}$$

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии внутреннего избыточного давления равна $S = 0,004$ м.

74

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления по исходным данным:
 внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 900$ мм;
 рабочее наружное давление $P = 1,2$ МПа (абс.);
 расчетная длина обечайки $l_R = 1500$ мм;
 материал обечайки – 08X18H12T;
 температура в аппарате – 100 °С.
 Решение:
 Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;
 C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчётную толщину стенки S_R определяем по формуле:

$$S_R = \max \left\{ K_2 D_{вн} \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 P_R D_{вн}}{2[\sigma]} \right\}, \quad (2)$$

где $D_{ин}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лацинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса;

K_2 – коэффициент определяется по расчетной номограмме на рис. 6.3 [Лацинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.] в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 . Указанные выше коэффициенты определим по формулам:

$$K_1 = \frac{n_u P_R}{2,4 \cdot 10^{-3} E}; \quad (3)$$

где E – модуль упругости, определяется по табл. 1.5, стр. 14 [Лацинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.], МПа;

n_u – запас устойчивости, $n_u = 2,4$;

P_R – расчетное наружное избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа.

$$K_3 = \frac{l_R}{D_{ин}}, \quad (4)$$

где l_R – расчетная длина обечайки, м.

$$P_R = 1,1 (1,2 - 0,1) = 1,21 \text{ МПа.}$$

Определим коэффициенты K_1 и K_3 :

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 1,21}{2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^8} = 6,05;$$

$$K_3 = \frac{1,5}{0,9} = 1,67.$$

По расчетной номограмме в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 находим $K_2 = 1,1$. Полученное значение подставляем в формулу (2):

$$S_R = 1,1 \cdot 0,9 \cdot 10^{-2} = 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$S_R = \frac{1,1 \cdot 1,21 \cdot 0,9}{2 \cdot 10^8} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

По max принимаем $S_R = 9,9 \cdot 10^{-3}$ м.

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (6)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лацинский, А.Р.

Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (7)$$

$$S_1 = 0,0099 + 0,001 = 0,0109 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,012$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0008$ м. Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0008 = 0,0018 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,0099 + 0,0018 = 0,0117 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,012$ м. Определим допускаемое наружное давление $[p]$, МПа:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}; \quad (8)$$

где $[p]_p$ – допускаемое давление из условия прочности, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](S-C)}{D_{вн} + (S-C)}, \quad (9)$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 130 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{0,9 + (12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})} = 2,91 \text{ МПа};$$

$[p]_E$ – допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E}{n_1 B_1} \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \left(\frac{100(S-C)}{D_{вн}} \right)^{2,5} \quad (10)$$

где:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \sqrt{\frac{D_{вн}}{100(S-C)}} \right\} \quad (11)$$

$$B_1 = 9,45 \cdot \frac{0,9}{1,5} \sqrt{\frac{0,9}{100(12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}} = 5,33.$$

По \min принимаем $B_1 = 1,0$. Подставим полученное значение в формулу (10):

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 1,0} \cdot \frac{0,9}{1,5} \left(\frac{100(12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{0,9} \right)^{2,5} = 1,42 \text{ МПа.}$$

Подставим полученные значения в уравнение (9):

$$[p] = \frac{2,91}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,91}{1,42}\right)^2}} = 1,28 \text{ МПа.}$$

Проверим выполнение условия:

$$[\sigma] \geq P_R,$$

Условие выполняется, т.к. $1,28 \geq 1,21$ МПа.

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления равна $S = 0,012$ м.

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления по исходным данным:

внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 1000$ мм;

рабочее наружное давление $P = 0,6$ МПа (абс.);

расчетная длина обечайки $l_R = 2500$ мм;

материал обечайки – 08X18H12T;

температура в аппарате – 20 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчётную толщину стенки S_R определяем по формуле:

$$S_R = \max \left\{ K_2 D_{вн} \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 P_R D_{вн}}{2[\sigma]} \right\}; \quad (2)$$

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст]: справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса;

75

K_2 – коэффициент определяется по расчетной номограмме на рис. 6.3 [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст]: справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.] в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 . Указанные выше коэффициенты определим по формулам:

$$K_1 = \frac{n_u P_R}{2,4 \cdot 10^{-2} E}; \quad (3)$$

где E – модуль упругости, определяется по табл. 1.5, стр. 14 [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст]: справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.], МПа;

n_u – запас устойчивости, $n_u = 2,4$;

P_R – расчетное наружное избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа.

$$K_3 = \frac{l_R}{D_{вн}}, \quad (4)$$

где l_R – расчетная длина обечайки, м.

$$P_R = 1,1 (0,6 - 0,1) = 0,55 \text{ МПа.}$$

Определим коэффициенты K_1 и K_3 :

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,55}{2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^5} = 2,75;$$

$$K_3 = \frac{25}{1} = 2,5.$$

По расчетной номограмме в зависимости от коэффициентов K_1 и K_2 находим $K_2 = 1,0$.
Полученное значение подставляем в формулу (2):

$$S_R = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$S_R = \frac{1,18 \cdot 55 \cdot 1,0}{2 \cdot 140} = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

По тах принимаем $S_R = 10 \cdot 10^{-3}$ м.

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (6)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м}.$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (7)$$

$$S_1 = 0,01 + 0,001 = 0,011 \text{ м}.$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,012$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0008$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0008 = 0,0018 \text{ м}.$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,01 + 0,0018 = 0,0118 \text{ м}.$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,012$ м.

Определим допускаемое наружное давление $[p]$, МПа:

$$[p] = \frac{[\sigma]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}; \quad (8)$$

где $[p]_p$ – допускаемое давление из условия прочности, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s-c)}{D_{вн} + (s-c)}, \quad (9)$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 140 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1 + (12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})} = 2,83 \text{ МПа};$$

$[p]_E$ – допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа,

определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-5} E}{n_d B_1} \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \left(\frac{100(s-c)}{D_{вн}} \right)^{2,5} \quad (10)$$

где:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \sqrt{\frac{D_{вн}}{100(s-c)}} \right\}, \quad (11)$$

$$B_1 = 9,45 \cdot \frac{1,0}{2,4} \sqrt{\frac{1,0}{100(12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}} = 3,74.$$

По min принимаем $B_1 = 1,0$. Подставим полученное значение в формулу (10):

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1,0} \cdot \frac{1,0}{2,5} \left(\frac{100(12 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,0} \right)^{2,5} = 0,73 \text{ МПа.}$$

Подставим полученные значения в уравнение (9):

$$[p] = \frac{2,83}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,83}{0,73} \right)^2}} = 0,71 \text{ МПа.}$$

Проверим выполнение условия:

$$[p] \geq P_R,$$

Условие выполняется, т.к. $0,71 \geq 0,55$ МПа.

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления равна $S = 0,012$ м.

76

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления по исходным данным:

внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 1200$ мм;
 рабочее наружное давление $P = 0,7$ МПа (абс.);
 расчетная длина обечайки $l_R = 2800$ мм;
 материал обечайки – 08X18H12T;
 температура в аппарате – 150 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчётную толщину стенки S_R определяем по формуле:

$$S_R = \max \left\{ K_2 D_{вн} \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 P_R D_{вн}}{2[\sigma]} \right\}; \quad (2)$$

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса;

K_2 – коэффициент определяется по расчетной номограмме на рис. 6.3 [Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.] в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 . Указанные

выше коэффициенты определим по формулам:

$$K_1 = \frac{n_u P_R}{2,4 \cdot 10^{-3} E}; \quad (3)$$

где E – модуль упругости, определяется по табл. 1.5, стр. 14 [Лазинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.: Машиностроение, 1981 – 385 с.], МПа;

n_u – запас устойчивости, $n_u = 2,4$;

P_R – расчетное наружное избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа.

$$K_3 = \frac{l_R}{D_{вн}}, \quad (4)$$

где l_R – расчетная длина обечайки, м.

$$P_R = 1,1 (0,7 - 0,1) = 0,66 \text{ МПа.}$$

Определим коэффициенты K_1 и K_3 :

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,66}{2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,99 \cdot 10^5} = 3,32;$$

$$K_3 = \frac{2,8}{1,2} = 2,33.$$

По расчетной номограмме в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 находим $K_2 = 1,1$.
Полученное значение подставляем в формулу (2):

$$S_R = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} = 13,2 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$S_R = \frac{1,1 \cdot 0,66 \cdot 1,2}{2 \cdot 120} = 3,63 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

По тах принимаем $S_R = 13,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (6)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лазинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (7)$$

$$S_1 = 0,0132 + 0,001 = 0,0142 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,016$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0008$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0008 = 0,0018 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,0132 + 0,0018 = 0,015 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,016 \text{ м}$.

Определим допускаемое наружное давление $[p]$, МПа:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}; \quad (8)$$

где $[p]_p$ – допускаемое давление из условия прочности, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](S-C)}{D_{вн} + (S-C)}; \quad (9)$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 120 \cdot (16 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,2 + (16 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})} = 2,81 \text{ МПа};$$

$[p]_E$ – допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-8} E}{n_1 B_1} \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \left(\frac{100(S-C)}{D_{вн}} \right)^{2,5} \quad (10)$$

где:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \sqrt{\frac{D_{вн}}{100(S-C)}} \right\}; \quad (11)$$

$$B_1 = 9,45 \cdot \frac{1,2}{2,8} \sqrt{\frac{1,2}{100(16 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}} = 3,72.$$

По \min принимаем $B_1 = 1,0$. Подставим полученное значение в формулу (10):

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-8} \cdot 1,99 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1,0} \cdot \frac{1,2}{2,8} \left(\frac{100(16 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,2} \right)^{2,5} = 1,13 \text{ МПа.}$$

Подставим полученные значения в уравнение (9):

$$[p] = \frac{2,81}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,81}{1,13}\right)^2}} = 1,05 \text{ МПа.}$$

Проверим выполнение условия:

$$[p] \geq P_R,$$

Условие выполняется, т.к. $1,05 \geq 0,66 \text{ МПа}$.

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления равна $S = 0,016 \text{ м}$.

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления по исходным данным:
внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 1400 \text{ мм}$;
рабочее наружное давление $P = 1,2 \text{ МПа}$ (абс.);

расчетная длина обечайки $l_R = 3000$ мм;
 материал обечайки – 08X18H12T;
 температура в аппарате – 20 °С.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчётную толщину стенки S_R определяем по формуле:

$$S_R = \max \left\{ K_2 D_{вн} \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 P_R D_{вн}}{2[\sigma]} \right\}; \quad (2)$$

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и температуры протекания процесса;

K_2 – коэффициент определяется по расчетной номограмме на рис. 6.3 [Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.] в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 . Указанные выше коэффициенты определим по формулам:

$$K_1 = \frac{n_u P_R}{2,4 \cdot 10^{-3} E}; \quad (3)$$

где E – модуль упругости, определяется по табл. 1.5, стр. 14 [Лашинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.], МПа;

n_u – запас устойчивости, $n_u = 2,4$;

P_R – расчетное наружное избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа.

$$K_3 = \frac{l_R}{D_{вн}}, \quad (4)$$

где l_R – расчетная длина обечайки, м.

$$P_R = 1,1 (1,2 - 0,1) = 1,21 \text{ МПа.}$$

Определим коэффициенты K_1 и K_3 :

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 1,21}{2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^8} = 6,05;$$

$$K_3 = \frac{3}{1,4} = 2,14.$$

По расчетной номограмме в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 находим $K_2 = 1,2$.

Полученное значение подставляем в формулу (2):

$$S_R = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2} = 16,8 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$S_R = \frac{1,1 \cdot 1,21 \cdot 1,4}{2 \cdot 140} = 6,66 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

По тах принимаем $S_R = 16,8 \cdot 10^{-3}$ м.
 Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (6)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лазинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (7)$$

$$S_1 = 0,0168 + 0,001 = 0,0178 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,018$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0008$ м.

Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0008 = 0,0018 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,0168 + 0,0018 = 0,0186 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,02$ м.

Определим допускаемое наружное давление $[p]$, МПа:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}; \quad (8)$$

где $[p]_p$ – допускаемое давление из условия прочности, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s-c)}{D_{вн} + (s-c)}, \quad (9)$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 140 \cdot (20 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,4 + (20 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})} = 3,59 \text{ МПа;}$$

$[p]_E$ – допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-5} E}{\pi_1 B_1} \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \left(\frac{100(s-c)}{D_{вн}} \right)^{2,5} \quad (10)$$

где:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D_{\text{вн}}}{l_R} \sqrt{\frac{D_{\text{вн}}}{100(s-c)}} \right\}, \quad (11)$$

$$B_1 = 9,45 \cdot \frac{1,4}{3} \sqrt{\frac{1,4}{100(20 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}} = 3,87.$$

По min принимаем $B_1 = 1,0$. Подставим полученное значение в формулу (10):

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1,0} \cdot \frac{1,4}{3} \left(\frac{100(20 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,4} \right)^{2,5} = 1,56 \text{ МПа.}$$

Подставим полученные значения в уравнение (9):

$$[p] = \frac{3,59}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,59}{1,56} \right)^2}} = 1,43 \text{ МПа.}$$

Проверим выполнение условия:

$$[p] \geq P_R,$$

Условие выполняется, т.к. $1,43 \geq 1,21$ МПа.

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления равна $S = 0,02$ м.

Задание: Определить исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления по исходным данным:

внутренний диаметр обечайки $D_{\text{вн}} = 1600$ мм;

рабочее наружное давление $P = 0,6$ МПа (абс.);

расчетная длина обечайки $l_R = 3200$ мм;

материал обечайки – 08X18H12T;

температура в аппарате – 100 °C.

Решение:

Исполнительную толщину стенки аппарата определяем по формуле:

$$S \geq S_R + C, \quad (1)$$

где S_R – расчётная толщина стенки обечайки аппарата, м;

C – величина суммарной прибавки, м.

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа из следующего ряда: 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм и далее через 2 мм.

Расчётную толщину стенки S_R определяем по формуле:

$$S_R = \max \left\{ K_2 D_{\text{вн}} \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 P_R D_{\text{вн}}}{2[\sigma]} \right\}, \quad (2)$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение материала, МПа, выбирается по учебнику [Лацинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:
Машиностроение, 1981 – 385 с.] табл. 1.4, стр. 11 в зависимости от материала обечайки и

температуры протекания процесса;

K_2 – коэффициент определяется по расчетной номограмме на рис. 6.3 [Лацинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:
Машиностроение, 1981 – 385 с.] в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 . Указанные

выше коэффициенты определим по формулам:

$$K_1 = \frac{n_u P_R}{2,4 \cdot 10^{-3} E}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости, определяется по табл. 1.5, стр. 14 [Лацинский, А.А.

Конструирование сварных химических аппаратов [Текст] : справочник. – Л.:

Машиностроение, 1981 – 385 с.], МПа;

n_u – запас устойчивости, $n_u = 2,4$;

P_R – расчетное наружное избыточное давление, $P_R = 1,1 (P - P_{атм})$, МПа.

$$K_3 = \frac{l_R}{D_{вн}}, \quad (4)$$

где l_R – расчетная длина обечайки, м.

$$P_R = 1,1 (0,6 - 0,1) = 0,55 \text{ МПа.}$$

Определим коэффициенты K_1 и K_3 :

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,55}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 2,75$$

$$K_3 = \frac{3,2}{1,6} = 2,0.$$

По расчетной номограмме в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 находим $K_2 = 0,9$.
Полученное значение подставляем в формулу (2):

$$S_R = 0,9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} = 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$S_R = \frac{1,1 \cdot 0,55 \cdot 1,6}{2 \cdot 10^5} = 3,72 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

По тах принимаем $S_R = 14,4 \cdot 10^{-3}$ м.

Величину суммарной прибавки определяем следующей формуле по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5)$$

где C_1 – прибавка на коррозию, м,

$$C_1 = \tau \cdot \Pi; \quad (6)$$

$$C_1 = 10 \cdot 0,0001 = 0,001 \text{ м.}$$

где $\Pi = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м/год – средняя величина коррозии в год;

$\tau = 10 \dots 15$ лет – время эксплуатации аппарата;

C_2 – прибавка на эрозию, м, $C_2 = 0$;

C_3 – минусовой допуск на материал, м. Значения минусового допуска определяем в зависимости от толщины стенки S_1 , м, по справочнику [Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры: справочник. / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.] табл. 2.22, стр. 102 .

$$S_1 = S_R + C_1, \quad (7)$$

$$S_1 = 0,0144 + 0,001 = 0,0154 \text{ м.}$$

Полученное значение толщины стенки S_1 округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S_1 = 0,016$ м. Исходя из полученного значения S_1 , определяем по справочнику минусовой допуск $C_3 = 0,0008$ м.
Полученные значения подставляем в формулу (3):

$$C = 0,001 + 0 + 0,0008 = 0,0018 \text{ м.}$$

Полученные значения подставляем в формулу (1):

$$S \geq 0,0144 + 0,0018 = 0,0162 \text{ м.}$$

Полученное значение исполнительной толщины стенки аппарата округляем до ближайшего гостированного сортамента листа, получаем $S = 0,018 \text{ м}$.
 Определим допускаемое наружное давление $[p]$, МПа:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}; \quad (8)$$

где $[p]_p$ – допускаемое давление из условия прочности, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](S-c)}{D_{вн} + (S-c)}; \quad (9)$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot 130 \cdot (18 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,6 + (18 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})} = 2,61 \text{ МПа};$$

$[p]_E$ – допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, МПа, определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-5} E}{\pi_1 B_1} \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \left(\frac{100(S-c)}{D_{вн}} \right)^{2,5} \quad (10)$$

где:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D_{вн}}{l_R} \sqrt{\frac{D_{вн}}{100(S-c)}} \right\}; \quad (11)$$

$$B_1 = 9,45 \cdot \frac{1,6}{3,2} \sqrt{\frac{1,6}{100(18 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}} = 4,7.$$

По \min принимаем $B_1 = 1,0$. Подставим полученное значение в формулу (10):

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1,0} \cdot \frac{1,6}{3,2} \left(\frac{100(18 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3})}{1,6} \right)^{2,5} = 0,89 \text{ МПа.}$$

Подставим полученные значения в уравнение (9):

$$[p] = \frac{2,61}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,61}{0,89}\right)^2}} = 0,84 \text{ МПа.}$$

Проверим выполнение условия:

$$[p] \geq P_R.$$

Условие выполняется, т.к. $0,84 \geq 0,55 \text{ МПа}$.

Ответ: исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки аппарата при действии наружного избыточного давления равна $S = 0,018 \text{ м}$.

79

Задание: определить гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате по исходным данным:

внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 1800 \text{ мм}$;

объем обечайки аппарата $V_{об} = 12 \text{ м}^3$;

среда в аппарате – азотная кислота.

Решение: Определим высоту обечайки по формуле:

$$H_{об} = V_{об} / (\pi \cdot D_{вн}^2); \quad (1)$$

где $V_{об}$ – объем обечайки, м^3 ;

	<p>$D_{вн}$ – внутренний диаметр обечайки, м.</p> $H_{об} = \frac{12}{3,14 \cdot 1,8^2} = 1,18 \text{ м.}$ <p>Определим гидростатическое давление аппарата по формуле:</p> $P_{гидрост.} = \rho g H_{ж} \quad (2)$ <p>где ρ – плотность среды в аппарате при нормальных условиях, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с, $g = 9,81$; $H_{ж}$ – высота столба жидкости в обечайке, м. Высоту столба жидкости в аппарате определяем по формуле:</p> $H_{ж} = 0,8 H_{об}, \quad (3)$ $H_{ж} = 0,8 \cdot 1,18 = 0,944 \text{ м.}$ <p>Подставив все значения в формулу (2) получим:</p> $P_{гидрост} = 1004 \cdot 9,81 \cdot 0,944 = 9297,68 \text{ МПа} \approx 0,009 \text{ МПа.}$ <p>Ответ: гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате $P_{гидрост} = 0,009 \text{ МПа}$.</p>
80	<p>Задание: определить гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате по исходным данным: внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 2000 \text{ мм}$; объем обечайки аппарата $V_{об} = 10 \text{ м}^3$; среда в аппарате – азотистая кислота. Решение: Определим высоту обечайки по формуле:</p> $H_{об} = V_{об} / (\pi \cdot D_{вн}^2); \quad (1)$ <p>где $V_{об}$ – объем обечайки, м^3; $D_{вн}$ – внутренний диаметр обечайки, м.</p> $H_{об} = \frac{10}{3,14 \cdot 2^2} = 0,796 \text{ м.}$ <p>Определим гидростатическое давление аппарата по формуле:</p> $P_{гидрост.} = \rho g H_{ж} \quad (2)$ <p>где ρ – плотность среды в аппарате при нормальных условиях, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с, $g = 9,81$; $H_{ж}$ – высота столба жидкости в обечайке, м. Высоту столба жидкости в аппарате определяем по формуле:</p> $H_{ж} = 0,8 H_{об}, \quad (3)$ $H_{ж} = 0,8 \cdot 0,796 = 0,64 \text{ м.}$ <p>Подставив все значения в формулу (2) получим:</p> $P_{гидрост} = 1685 \cdot 9,81 \cdot 0,64 = 10528,57 \text{ МПа} \approx 0,01 \text{ МПа.}$ <p>Ответ: гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате $P_{гидрост} = 0,01 \text{ МПа}$.</p>
81	<p>Задание: определить гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате по исходным данным: внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 2200 \text{ мм}$; объем обечайки аппарата $V_{об} = 15 \text{ м}^3$;</p>

среда в аппарате – серной кислоты.
Решение: Определим высоту обечайки по формуле:

$$H_{об} = V_{об} / (\pi \cdot D_{вн}^2); \quad (1)$$

где $V_{об}$ – объем обечайки, m^3 ;
 $D_{вн}$ – внутренний диаметр обечайки, м.

$$H_{об} = \frac{15}{3,14 \cdot 2,2^2} = 0,987 \text{ м.}$$

Определим гидростатическое давление аппарата по формуле:

$$P_{гидрост.} = \rho g H_{ж} \quad (2)$$

где ρ – плотность среды в аппарате при нормальных условиях, $кг/м^3$;
 g – ускорение свободного падения, $м/с$, $g = 9,81$;
 $H_{ж}$ – высота столба жидкости в обечайке, м.
Высоту столба жидкости в аппарате определяем по формуле:

$$H_{ж} = 0,8 H_{об}, \quad (3)$$

$$H_{ж} = 0,8 \cdot 0,987 = 0,79 \text{ м.}$$

Подставив все значения в формулу (2) получим:

$$P_{гидрост.} = 1836 \cdot 9,81 \cdot 0,79 = 14221,58 \text{ МПа} \approx 0,014 \text{ МПа.}$$

Ответ: гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате $P_{гидрост.} = 0,014$ МПа.

Задание: определить гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате по исходным данным:
внутренний диаметр обечайки $D_{вн} = 2400$ мм;
объем обечайки аппарата $V_{об} = 18$ m^3 ;
среда в аппарате – серной кислоты.
Решение: Определим высоту обечайки по формуле:

$$H_{об} = V_{об} / (\pi \cdot D_{вн}^2); \quad (1)$$

где $V_{об}$ – объем обечайки, m^3 ;
 $D_{вн}$ – внутренний диаметр обечайки, м.

$$H_{об} = \frac{18}{3,14 \cdot 2,4^2} = 0,995 \text{ м.}$$

82

Определим гидростатическое давление аппарата по формуле:

$$P_{гидрост.} = \rho g H_{ж} \quad (2)$$

где ρ – плотность среды в аппарате при нормальных условиях, $кг/м^3$;
 g – ускорение свободного падения, $м/с$, $g = 9,81$;
 $H_{ж}$ – высота столба жидкости в обечайке, м.
Высоту столба жидкости в аппарате определяем по формуле:

$$H_{ж} = 0,8 H_{об}, \quad (3)$$

$$H_{ж} = 0,8 \cdot 0,995 = 0,796 \text{ м.}$$

Подставив все значения в формулу (2) получим:

$$P_{гидрост.} = 1836 \cdot 9,81 \cdot 0,796 = 14340,09 \text{ МПа} \approx 0,014 \text{ МПа.}$$

	<p>Ответ: гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате $P_{\text{гидрост}} = 0,014$ МПа.</p>
83	<p>Задание: определить гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате по исходным данным: внутренний диаметр обечайки $D_{\text{вн}} = 2500$ мм; объем обечайки аппарата $V_{\text{об}} = 20$ м³; среда в аппарате – 10% раствор гидроксид натрия. Решение: Определим высоту обечайки по формуле:</p> $H_{\text{об}} = V_{\text{об}} / (\pi \cdot D_{\text{вн}}^2 / 4); \quad (1)$ <p>где $V_{\text{об}}$ – объем обечайки, м³; $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр обечайки, м.</p> $H_{\text{об}} = \frac{20}{3,14 \cdot 2,5^2} = 1,019 \text{ м.}$ <p>Определим гидростатическое давление аппарата по формуле:</p> $P_{\text{гидрост}} = \rho g H_{\text{ж}} \quad (2)$ <p>где ρ – плотность среды в аппарате при нормальных условиях, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с, $g = 9,81$; $H_{\text{ж}}$ – высота столба жидкости в обечайке, м. Высоту столба жидкости в аппарате определяем по формуле:</p> $H_{\text{ж}} = 0,8 H_{\text{об}}, \quad (3)$ $H_{\text{ж}} = 0,8 \cdot 1,019 = 0,815 \text{ м.}$ <p>Подставив все значения в формулу (2) получим:</p> $P_{\text{гидрост}} = 1109 \cdot 9,81 \cdot 0,815 = 8869,74 \text{ МПа} \approx 0,009 \text{ МПа.}$ <p>Ответ: гидростатическое давление столба жидкости в вертикальном цилиндрическом аппарате $P_{\text{гидрост}} = 0,009$ МПа.</p>

Критерии шкалы оценки:

Кейс-задача оценивается по уровневой шкале

- «**первый уровень обученности**» - студент не предложил вариантов решения сложившейся ситуации;
- «**второй уровень обученности**» - студент разобрался в сложившейся ситуации, однако не выявил причины случившегося и не предложил вариантов решения;
- «**третий уровень обученности**» - студент разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил один вариант выхода из сложившейся ситуации;
- «**четвертый уровень обученности**» - студент грамотно разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил несколько альтернативных вариантов выхода из сложившейся ситуации.
- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если он освоил **второй, третий и четвёртый уровень обученности;**
- **оценка «хорошо»** выставляется студенту, если он освоил **третий и четвёртый уровень обученности;**
- **оценка «удовлетворительно»** выставляется студенту, если он освоил **второй уровень обученности;**
- **оценка «неудовлетворительно»**, выставляется студенту, если он освоил **первый уровень обученности;**

3.3 Тесты (тестовые задания к зачету)

ПКв-5- Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО.

№ задания	Тестовое задание
84.	В элементе симметричной оболочки в общем случае возникают следующие внутренние усилия: 1) кольцевой момент; 2) крутящий момент; 3) меридиональный момент; 4) меридиональная сила; 5) сила инерции; 6) кольцевая сила; 7) радиальная сила.
85	В рамках безмоментной теории считаются равными нулю: 1) кольцевой момент; 2) меридиональный момент; 3) меридиональная сила; 4) кольцевая сила; 5) радиальная сила.
86	Стандартными внутренними диаметрами обечаек являются: 1) 400 мм; 2) 510 мм; 3) 860 мм; 4) 1200 мм.
87	Не рекомендуется чугунное литье аппаратов с толщиной стенок более 1) 10 мм; 2) 50 мм; 3) 100 мм;
88	Без разделки кромок свариваются стальные элементы толщиной 1) до 5 мм; 2) до 10 мм; 3) до 20 мм.
89	Односторонняя разделка кромок выполняется при толщине свариваемых деталей 1) 2...5 мм; 2) 5...15 мм; 3) 15...30 мм; 4) >30 мм.
90	Двусторонняя разделка кромок выполняется при толщине свариваемых деталей 1) > 2 мм; 2) > 5 мм; 3) > 15 мм; 4) > 30 мм.
91	Рабочее давление – это 1) максимальное абсолютное давление в аппарате при нормальном протекании технологического процесса; 2) максимальное избыточное давление в аппарате при нормальном протекании технологического процесса; 3) избыточное давление, на 10% превышающее соответствующее давление в аппарате.
92	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,3 МПа (изб.) давление пара в рубашке 0,2 (абс). Обечайку корпуса аппарата следует рассчитывать, как нагруженную 1) внутренним давлением; 2) наружным давлением.
93	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,3 МПа (изб.) давление пара в рубашке 0,35 (абс). Обечайку корпуса аппарата следует рассчитывать как нагруженную 1) внутренним давлением; 2) наружным давлением.
94	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,3 МПа (абс.) давление пара в рубашке 0,25 (изб). Обечайку корпуса аппарата следует рассчитывать как

	нагруженную 1) внутренним давлением; 2) наружным давлением.
95	Если избыточное давление в аппарате равно 0,5 МПа, то расчетное давление равно 1) 0,44 МПа; 2) 0,5 МПа; 3) 0,6 МПа; 4) 0,55 МПа.
96	Если абсолютное давление в аппарате равно 0,5 МПа, то расчетное давление равно 1) 0,4 МПа; 2) 0,5 МПа; 3) 0,44 МПа; 3) 0,66 МПа.
97	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,5 МПа (абс.) давление пара в рубашке 0,3 (изб). Обечайку корпуса аппарата следует рассчитывать как нагруженную 1) внутренним давлением; 2) наружным давлением.
98	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,7 МПа (изб.) давление пара в рубашке 0,75 (абс). Обечайку корпуса аппарата следует рассчитывать как нагруженную 1) внутренним давлением; 2) наружным давлением.
99	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,6 МПа (абс.) давление пара в рубашке 0,55 (изб). Обечайку корпуса аппарата следует рассчитывать как нагруженную 1) внутренним давлением; 2) наружным давлением.
100	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,5 МПа (абс.) давление пара в рубашке 0,3 (абс). В качестве расчетного давления следует принять 1) 0,22 МПа (нагружение внутреннее); 2) 0,22 МПа (нагружение наружное); 3) 0,11 МПа (нагружение внутреннее); 4) 0,11 МПа (нагружение наружное);
101	Рабочее давление в аппарате с рубашкой равно 0,5 МПа (абс.) давление пара в рубашке 0,45 (изб). В качестве расчетного давления следует принять 1) 0,15 МПа (нагружение внутреннее); 2) 0,15 МПа (нагружение наружное); 3) 0,05 МПа (нагружение внутреннее); 4) 0,05 МПа (нагружение наружное);
102	Если избыточное давление в аппарате равно 1 МПа, то расчетное давление равно 1) 0,9 МПа; 2) 1 МПа; 3) 1,1 МПа.
103	Максимальным напряжением в цилиндрической обечайке при внутреннем нагружении является 1) радиальное; 2) осевое (меридиональное); 3) касательное (кольцевое).
104	Расчетная толщина цилиндрической обечайки химических аппаратов равна 1) $s_R = \frac{p_R D}{2[\sigma] \phi - p_R}$ 2) $s_R = \frac{p_R R}{2[\sigma] \phi - p_R}$ 3) $s_R = \frac{p_R D}{2.3[\sigma] \phi - p_R}$
105	Более опасным для выпуклых оболочек при прочих равных условиях является 1) внутреннее нагружение; 2) наружное нагружение.
106	Допускаемое внутреннее давление для цилиндрической обечайки определяется по

	<p>формуле:</p> <p>1) $[p] = \pi(D + s - c)(s - c)[\sigma]\varphi$;</p> <p>2) $[p] = \pi D(s - c)[\sigma]\varphi$</p> <p>3) $[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(s - c)}{D + (s - c)}$</p>
107	<p>Расчетная толщина цилиндрической обечайки при внутреннем нагружении зависит от</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) внутреннего давления; 2) диаметра; 3) расчетной длины; 4) допускаемого напряжения материала; 5) модуля упругости материала; 6) коэффициента прочности сварного соединения.
108	<p>Расчетная толщина цилиндрической обечайки при наружном нагружении нагружении зависит от</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) наружного давления; 2) диаметра; 3) расчетной длины; 4) допускаемого напряжения материала; 5) модуля упругости материала; 6) коэффициента прочности сварного соединения.
109	<p>К потере устойчивости цилиндрической обечайки могут привести следующие виды нагрузки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) внутреннее давление; 2) наружное давление; 3) сжимающая осевая сила; 4) растягивающая осевая сила; 5) крутящий момент; 6) изгибающий момент.
110	<p>Расчетная толщина цилиндрической обечайки при наружном нагружении равна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) $s_R = \frac{p_R D}{2[\sigma]\varphi - p_R}$ 2) $s_R = \frac{p_R D}{2.3[\sigma]\varphi - p_R}$ 3) $s_R = \max\{K_2 D \cdot 10^{-2}; 1.1 p_R D / (2[\sigma])\}$; 4) $s_R = \frac{p_R D}{2.3[\sigma]\varphi - p_R}$.
111	<p>Расчетная толщина стенки выпуклого днища при внутреннем нагружении</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) $s_R = \frac{p_R D}{2[\sigma]\varphi - p_R}$; 2) $s_R = \frac{p_R D}{2.3[\sigma]\varphi - p_R}$; 3) $s_R = \frac{p_R R}{2[\sigma]\varphi - 0.5 p_R}$.
112	<p>Расчетная толщина стенки выпуклого днища при наружном нагружении</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) $s_R = \frac{p_R D}{2[\sigma]\varphi - p_R}$; 2) $s_R = \frac{p_R R}{2[\sigma]\varphi - 0.5 p_R}$. 3) $s_R = \frac{p_R D}{2.3[\sigma]\varphi - p_R}$;

	$4) s_R = \max \left\{ \frac{K_3 R}{510} \sqrt{\frac{n_u p_R}{10^{-6} E}}; \frac{p_R R}{2[\sigma]} \right\}.$
113	<p>Допускаемое внутреннее избыточное давление для выпуклого днища</p> $1) [p] = \frac{2[\sigma]\rho(s-c)}{D+(s-c)};$ $2) s_R = \max \left\{ \frac{K_3 R}{510} \sqrt{\frac{n_u p_R}{10^{-6} E}}; \frac{p_R R}{2[\sigma]} \right\}$ $3) [p] = \frac{2(s-c)\rho[\sigma]}{R+0.5(s-c)}.$
114	<p>Наибольшее давление выдерживает фланец</p> <ol style="list-style-type: none"> свободный на отбортовке; плоский приварной; приварной с конической горловиной.
115	<p>Для укрепления отверстий</p> <ol style="list-style-type: none"> увеличивают толщину стенки аппарата; приваривают накладные пластины; сваривают врезные бобышки; приваривают кольцевые ребра жесткости на корпусе.
116	<p>При выполнении отверстий в аппаратах укрепляются</p> <ol style="list-style-type: none"> все отверстия; отверстия, диаметр которых превышает некоторый минимальный; отверстия, диаметр которых не превышает некоторый расчетный.
117	<p>При укреплении отверстия штуцером в укреплении участвуют:</p> <ol style="list-style-type: none"> «лишняя» площадь сечения обечайки в пределах области повышенных напряжений; «лишняя» площадь сечения обечайки по всей ее длине; «лишняя» площадь сечения штуцера по всей его длине; «лишняя» площадь сечения штуцера в пределах области повышенных напряжений.
118	<p>Два укрепляемых отверстия считаются близко расположенными, если</p> <ol style="list-style-type: none"> расстояние между ними меньше трех наибольших диаметров отверстий; расстояние между ними меньше диаметра обечайки; пересекаются области повышенных напряжений, возникающих из-за этих отверстий.
119	<p>На период колебаний колонного аппарата влияют</p> <ol style="list-style-type: none"> масса аппарата; высота аппарата; допускаемое напряжение материала корпуса аппарата; момент инерции сечения корпуса.
120	<p>Период собственных колебаний колонного аппарата при абсолютно жестком основании равен</p> $1) T_0 = 1.8H \sqrt{\frac{mH}{EI}};$ $2) T_0 = \sqrt{1 + 4EI / (HC_F I_F)}$ $3) T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{H}{g}}.$
121	<p>Период собственных колебаний колонного аппарата при нежестком основании равен</p> $1) T = 1.8H \sqrt{\frac{mH}{EI}};$ $2) T = T_0 \sqrt{1 + 4EI / (HC_F I_F)};$ $3) T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{g}}.$
122	<p>К расчетным сечениям колонного аппарата относятся следующие:</p> <ol style="list-style-type: none"> сварной шов присоединения днища;

	<p>2) сварной шов в месте присоединения обечайки к опоре;</p> <p>3) поперечное сечение обечайки опоры в месте наибольших вырезов;</p>
123	<p>Максимальное растягивающее напряжение в колонном аппарате возникает</p> <p>1) с наветренной стороны;</p> <p>2) с подветренной стороны.</p>
124	<p>Максимальное сжимающее (по абсолютной величине) напряжение в колонном аппарате возникает</p> <p>1) с наветренной стороны;</p> <p>2) с подветренной стороны.</p>
125	<p>Условие устойчивости колонного аппарата, работающего под наружным давлением:</p> <p>1) $\frac{P_1}{[P_1]} + \frac{M}{[M]} \leq 1;$</p> <p>2) $\frac{P_R}{[p]} + \frac{P_1}{[P_1]} + \frac{M}{[M]} \leq 1;$</p> <p>3) $\frac{P_R}{[p]} + \frac{P_1}{[P_1]} + \frac{Q}{[Q]} \leq 1.$</p>
126	<p>К поверхностным теплообменным аппаратам относятся</p> <p>1) кожухотрубчатые;</p> <p>2) насадочные (скрубберы);</p> <p>3) пленочные;</p> <p>4) спиральные;</p> <p>5) типа «труба в трубе»;</p>
127	<p>Проточки в отверстиях под трубки в трубных решетках выполняются для</p> <p>1) снижения затрат на изготовление теплообменника;</p> <p>2) уменьшения термических напряжений в трубках и кожухе;</p> <p>3) улучшения качества закрепления трубок в трубной решетке.</p>
128	<p>Стальные трубки закрепляются в трубной решетке</p> <p>1) пайкой;</p> <p>2) электросваркой;</p> <p>3) вальцовкой;</p> <p>4) резьбовым соединением.</p>
129	<p>Толщина трубной решетки определяется из условий</p> <p>1) устойчивости;</p> <p>2) прочности;</p> <p>3) развальцовки трубок.</p>
130	<p>В аппаратах высокого давления рабочее давление превышает</p> <p>1) 0,1 МПа;</p> <p>2) 1 МПа;</p> <p>3) 10 МПа;</p> <p>4) 100 МПа.</p>
131	<p>Толстостенной называется обечайка, для которой коэффициент толстостенности</p> <p>1) $\beta > 1,05;$</p> <p>2) $\beta > 1,2;$</p> <p>3) $\beta > 2;$</p> <p>4) $\beta < 2.$</p>
132	<p>Аппараты с быстровращающимися элементами:</p> <p>1) центрифуги;</p> <p>2) барабанные печи;</p> <p>3) сепараторы;</p> <p>4) узлы распылительных сушилок;</p>
133	<p>Какие конструкции мешалок относятся к быстроходным?</p> <p>1) Лопастные</p> <p>2) Якорные</p> <p>3) Рамные</p> <p>4) Турбинные</p> <p>5) Листовые</p> <p>6) Пропеллерные</p>
134	<p>Какие конструкции мешалок относятся к тихоходным?</p>

	1) Турбинные 2) Рамные 3) Листовые 4) Лопастные 5) Пропеллерные 6) Якорные
135	Какими тремя методами осуществляется перемешивание? 1) Вибрационный 2) Пневматический 3) Электрический 4) Центробежный 5) Механический
136	Сальниковые уплотнения применяют в аппаратах работающих при.... 1) давлении до 0,1 МПа и температуре до 170 град. Цельсия 2) давлении до 0,1 МПа и температуре до 70 град. Цельсия 3) давлении до 0,01 МПа и температуре до 70 град. Цельсия 4) давлении до 0,1 кПа и температуре до 70 град. Цельсия
137	Динамическая жесткость системы - это а) отношение амплитуды силы к амплитуде перемещений б) отношение амплитуды перемещений к амплитуде силы в) отношение амплитуды колебаний к амплитуде перемещений
138	К графическим документам относят а) чертеж детали б) сборочный чертеж в) ведомость спецификаций г) чертеж общего вида
139	К видам схем относят а) электрическая б) функциональная в) структурная
140	К типам схем относят а) общая б) комбинированная в) кинематическая
141	К текстовым конструкторским документам относят а) инструкции б) таблицы в) схемы г) габаритный чертеж
142	Физический износ подразделяют на: (не менее 2х ответов) а) Тепловой б) Коррозионный в) Химический г) Механический
143	Чем проверяются участки поверхности аппарата и сварные швы, на которых обнаружены несквозные трещины? а) Бензин б) Вода в) Керосин
144	Дефекты, какого размера дает возможность обнаружить метод цветной дефектоскопии? а) до 0,02 мм б) 0 в) 0,03-0,04 мм г) не менее 0,01 мм д) до 0,01 мм
145	Шейки валов, имеющие небольшие царапины, риски, овальность до 0,1 мм, ремонтируют: а) Наплавкой б) Шлифование в) Сваркой г) Пайкой

146	Для каких посадок диаметр отверстия меньше диаметра вала: а) Посадки с зазором б) Посадки с натягом в) Переходные посадки
147	Для каких посадок диаметр отверстия больше диаметра вала: а) Посадки с зазором б) Посадки с натягом в) Переходные посадки
148	Комплекс организационных и технологических мероприятий по обслуживанию и ремонту оборудования – это а) система технического обслуживания и ремонта б) техническое обслуживание в) ремонт
149	Комплекс работ для поддержания работоспособности оборудования между ремонтами – это а) система технического обслуживания и ремонта б) техническое обслуживание в) ремонт
150	Комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности оборудования и восстановлению ресурсов оборудования – это а) система технического обслуживания и ремонта б) техническое обслуживание в) ремонт
151	Изделия, изготовленные без применения сборочных операций – это а) детали б) сборочные единицы в) комплексы
152	Изделия, составные части которого подлежат соединению с помощью сборочных операций – это а) детали б) сборочные единицы в) комплексы
153	Два и более изделия, не соединенных с помощью сборочных операций, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций – это а) детали б) сборочные единицы в) комплексы
154	Поломанные валы восстанавливают а) Наплавкой б) Шлифование в) Сваркой г) Пайкой
155	В каком теплообменнике тепло передается при непосредственном контакте теплоносителей? а) Смесительный б) Поверхностный в) Рекуперативный г) Регенеративный
156	Какой вид ремонта оборудования наиболее экономичен? а) Подетальный б) Поузловой в) Помашинный г) Остановочный
157	Для вертикальных емкостных аппаратов не применяются а) Опоры-лапы б) Опоры-стойки в) Седловые опоры г) Площадки обслуживания
158	Роль опорных роликов во вращающихся барабанных аппаратах? а) Элемент привода вращения барабана б) Опоры барабана в) Ограничители аксиального смещения барабана

	г) Устройства для повышения устойчивости барабана
159	Свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. а) Долговечность б) Безотказность в) Сохраняемость г) Ремонтопригодность

3.4 Контрольная задача (зачет)

ПКв-5- Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО.

№ вопроса	Текст вопроса
160	Основные требования к машинам и аппаратам химических производств.
161	Основные параметры для подбора и расчета конструктивных элементов технологического оборудования.
162	Нормативная документация для проектирования, расчетов и эксплуатации оборудования.
163	Материалы, применяемые в химическом машиностроении.
164	Расчет тонкостенных обечаек, нагруженных внутренним давлением.
165	Расчет тонкостенных обечаек, нагруженных наружным давлением.
166	Днища химических аппаратов, их конструкции и способы изготовления.
167	Крышки химических аппаратов, их конструкции и способы изготовления.
168	Расчет днищ, нагруженных внутренним и наружным давлением.
169	Расчет крышек, нагруженных внутренним и наружным давлением.
170	Фланцевые соединения, назначение и конструкция узла. Типы фланцев.
171	Уплотнения фланцев. Подбор фланцев по ОСТам.
172	Методика расчета фланцевых соединений.
173	Устройства для присоединения трубопроводов и осмотров аппаратов
174	Методика расчета укрепления вырезов в стенках элементов технологического оборудования.
175	Конструкции опор технологического оборудования. Устройства для строповки.
176	Устройства для строповки.
177	Расчет опор вертикальных аппаратов.
178	Назначение и область применения Правил Госгортехнадзора.
179	Требования к проектированию сосудов, работающих под давлением.
180	Требования к материалам сосудов.
181	Требование к изготовлению сосудов.
182	Сварка и контроль сварных соединений по Правилам Госгортехнадзора.
183	Арматура сосудов, работающих под давлением.
184	Манометры и требования к ним.
185	Предохранительные устройства сосудов.
186	Предохранительные мембраны.
187	Регистрация сосудов, работающих под давлением. Документация.
188	Техническое освидетельствование сосудов, работающих под давлением.
189	Содержание и обслуживание сосудов, работающих под давлением.
190	Аварийная остановка сосудов, работающих под давлением.
191	Классификация теплообменных аппаратов.
192	Типы кожухотрубных теплообменников, их основные узлы.
193	Тепловой расчет теплообменных аппаратах.
194	Методика определения усилий и напряжений от разницы температур. Выбор типа конструкции аппарата.
195	Определение усилий и напряжений от давления.
196	Выбор способа крепления трубок.
197	Расчет трубных решеток.
198	Назначение и конструкции колонных и башенных аппаратов.
199	Тарельчатые колонны. Требования и типы конструкций тарелок.
200	Способы крепления тарелок в колонне.
201	Насадочные колонны. Типы насадок и требования к ним.
202	Оросительные устройства колонных аппаратов. Требования к оросителям.
203	Методика расчета колонных аппаратов на действие ветровых и сейсмических нагрузок.

204	Методика расчета опасных сечений на устойчивость.
205	Методика подбора опор колонн и их расчет.
206	Классификация технологического оборудования для обработки твердых и пастообразных продуктов.
207	Вращающиеся барабанные аппараты, их конструктивные узлы. Расчет элементов конструкции.
208	Аппараты с псевдоожиженным слоем.
209	Аппараты с перемешивающими лопастями.
210	Назначение и виды перемешивания. Типы конструкций мешалок. Способы крепления мешалок к валу.
211	Уплотнения вращающихся валов, типы конструкций и их выбор.
212	Приводы мешалок, их типы и конструкции.
213	Методика расчета лопастных мешалок.
214	Назначение и классификация центрифуг.
215	Центрифуга ФГН их основные узлы и принцип действия.
216	Центрифуга ФМБ их основные узлы и принцип действия.
217	Центрифуга ОГШ их основные узлы и принцип действия.
218	Расчет роторов центрифуг.
219	Назначение и классификация фильтров.
220	Барабанные вакуум-фильтры, их конструкция и принцип действия.
221	Назначение и классификация арматуры, ее условное обозначение. Запорная арматура.
222	Краны, принцип их работы, особенности конструкции, достоинства и недостатки.
223	Вентили и задвижки, принцип их работы, особенности конструкции, достоинства и недостатки.
224	Регулирующая арматура, ее конструкции и применение.
225	Предохранительные мембраны, их применение и классификация.
226	Классификация емкостной аппаратуры. Конструкция вертикальных цилиндрических аппаратов.
227	Горизонтальные цилиндрические резервуары. Шаровые и каплевидные резервуары. Прямоугольные резервуары.
228	Назначение аппаратов высокого давления, требования к их конструкции. Способы изготовления корпусов.
229	Конструктивные особенности затворов аппаратов высокого давления.
230	Расчет конструктивных элементов аппаратов высокого давления.
231	Трубы, их назначение и материалы. Расчет труб.
232	Принципы организации ремонтной службы на предприятии
233	Основными направлениями развития и совершенствования организации ремонтной службы на предприятиях
234	Задачи Системы ТОиР
235	Техническое обслуживание по Системе ТОиР
236	Виды ремонтов и их объем по Системе ТОиР
237	Основные направления совершенствования системы ТОиР
238	Документация ремонта
239	Финансирование ремонтов
240	Планирование ремонтов
241	Ремонтные операции. Разборка машины или аппарата на сборочные единицы и детали
242	Ремонтные операции. Очистка и мойка сборочных единиц и деталей
243	Ремонтные операции. Контроль, дефектация и сортировка деталей
244	Ремонтные операции. Восстановление изношенных или замена дефектных сборочных единиц (узлов) и деталей
245	Ремонтные операции. Сборка машины или аппарата
246	Ремонтные операции. Обкатка и испытание
247	Ремонт и монтаж валов
248	Ремонт теплообменной аппаратуры
249	Ремонт колонных аппаратов

Критерии шкалы оценки:

- **оценка «отлично»** выставляется студенту, если он набрал более 84-100 %;
- **оценка «хорошо»**, выставляется студенту, если он набрал более 75-84%;
- **оценка «удовлетворительно»**, выставляется студенту, если он набрал более 61-74%;
- **оценка «неудовлетворительно»**, выставляется студенту, если он набрал менее 0-60 %;

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Процедуры оценивания в ходе изучения дисциплины знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, регламентируются положениями:

- П ВГУИТ 2.4.03 Положение о курсовых экзаменах и зачетах;
- П ВГУИТ 4.1.02 Положение о рейтинговой оценке текущей успеваемости.

.

Для получения оценки «удовлетворительно» суммарная бально-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на экзамене, **должна быть не менее 60 баллов.**

5. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания для каждого результата обучения по дисциплине

Результаты обучения по этапам формирования компетенций	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	Шкала оценивания	
				Академическая оценка или баллы	Уровень освоения компетенции
5.1 ПКв-5 Способен разрабатывать предложения по внедрению новых технологий и оборудования для измерения радиационных характеристик РАО					
ЗНАТЬ	Собеседование	Знание методов и технологий исследования	Обучающийся не внес вклада в собеседование и обсуждение, предлагал неверные решения.	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
			Обучающийся участвовал в обсуждении, предоставил мало аргументов в пользу решения, допустил более 3, но менее 5 ошибок;	зачтено	Освоена (базовый)
			Обучающийся участвовал в обсуждении, подготовил аргументы в пользу решения, предложил альтернативы, выслушивал мнения других, допустил более 1, но менее 3 ошибок;	зачтено	Освоена (продвинутый)
			Обучающийся активно участвовал в собеседовании и обсуждении, подготовил аргументы в пользу решения, предложил альтернативы, выслушивал мнения других; допустил не более 1 ошибки в ответе	зачтено	Освоена (повышенный)
			При тестировании набрано менее 55 баллов.	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
			При тестировании набрано более 55, но менее 70 баллов	зачтено	Освоена (базовый)
			При тестировании набрано более 70, но менее 85 баллов	зачтено	Освоена (продвинутый)
			При тестировании набрано более 85 баллов	зачтено	Освоена (повышенный)
	УМЕТЬ: применять правила радиационной	Контрольная задача	Контрольная задача, отражающая научные основы метода, его	Контрольная задача не выполнена обучающимся	Не зачтено
При выполнении				зачтено	Освоена

<p>безопасности и основных санитарных правил обращения с радиоактивными веществами; систематизировать и анализировать информацию по технологиям и оборудованию для измерения радиационных характеристик РАО, определять оптимальные технологические процессы, разрабатывает альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков</p>		<p>сущность, сравнение с другими методами анализа</p>	<p>контрольной задачи обучающийся выбрал необходимые формулы и законы, но не смог произвести расчет</p>		(базовый)
			<p>При решении контрольной задачи обучающийся допустил ошибки в математических расчетах.</p>	зачтено	Освоена (продвинутый)
			<p>При решении контрольной задачи обучающийся не допустил ошибок.</p>	зачтено	Освоена (повышенный)
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками оценки рисков при разработке новых технологий измерения характеристик РАО; навыками определения оптимальных технологических процессов, разрабатывать альтернативные новые методы и технологии с учетом возможных рисков</p>	<p>Кейс- задание</p>	<p>Подбор соответствующей технологии и оборудования.</p>	<p>Обучающийся не может подобрать технологическую схему, соответствующее оборудование.</p>	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
			<p>Обучающийся слабо владеет технологическими схемами, выбор осуществляет с ошибками или помощью преподавателя</p>	зачтено	Освоена (базовый)
			<p>Обучающийся при выборе технологической схемы допускает неточности, небольшие ошибки.</p>	зачтено	Освоена (продвинутый)
			<p>Обучающийся владеет технологическими схемами, выбором необходимого технологического оборудования.</p>	зачтено	Освоена (повышенный)
			<p>Обучающийся слабо владеет методами управления, выбор</p>	зачтено	Освоена (базовый)

			метода осуществляет с ошибками или помощью преподавателя		
			Обучающийся при выборе методов управления допускает неточности, небольшие ошибки.	зачтено	Освоена (продвинутой)
			Обучающийся владеет методами управления, выбором методов для конкретного вещества и конкретной задачи	зачтено	Освоена (повышенный)