Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 18.09.2025 13:21:35
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735a0852

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ / А.С. Соколов /
« 27 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли»

Направление подготовки/специальность
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Профиль/специализация
Средства автоматизации и базы данных для проектирования технологических производств

Квалификация
Бакалавр
Формы обучения
Очно-заочная
Москва, 2025г.

Разработчик(и):

Профессор каф. «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М. Б. Генералова»,

д.т.н., доцент  /М.Г.Лагуткин/

Согласовано:

Зав. кафедрой «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М. Б. Генералова»,



к.т.н., /А. С. Кирсанов/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 4
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 4
3.2. Тематический план изучения дисциплины 6
3.3. Содержание дисциплины 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 7
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 7
4.1. Нормативные документы и ГОСТы7
4.2. Основная литература 7
4.3. Дополнительная литература 7
4.4. Электронные образовательные ресурсы 8
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 8
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 8
5. Материально-техническое обеспечение 8
6. Методические рекомендации 8
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 8
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 8
7. Фонд оценочных средств 9
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 9
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения9
7.3. Оценочные средства 9

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплин

Основная цель дисциплины «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли» — глубокая профессиональная подготовка специалиста, обеспечивающая успешное решение исследовательских, проектных, конструкторских задач, возникающих при создании нового оборудования для химических и нефтехимических производств.

Основные задачами дисциплины определяются квалификационной характеристикой, в соответствии с которой в результате изучения данной дисциплины специалист должен знать основные направления и перспективы развития химической и нефтехимической промышленности, вопросы проектирования, эксплуатации и исследования технологического оборудования химических и нефтехимических производств.

Обучение по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК – 3 Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование	ИОПК-3.1. Знает способы внедрения и освоения нового технологического оборудования ИОПК-3.2. Применяет знания по внедрению и освоению нового технологического оборудования ИОПК-3.3. Применяет знания по освоению нового технологического оборудования

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли» относится к учебным дисциплинам обязательной части блока Б1 «Дисциплины и модули» образовательной программы «Средства автоматизации и базы данных для проектирования технологических производств» направления 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, квалификация (степень) – бакалавр.

Освоение дисциплины «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли» в 7-м, 8-м и 9-м семестре необходимо для последующего освоения дисциплин «Промышленная экология отрасли», «Основы обеспечения технологичности конструкции».

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единицы (288 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очно-заочная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры		
			7	8	9
1	**Аудиторные занятия**	**162**	54	54	54
	В том числе:				
1.1	Лекции	72	24	24	24
1.2	Семинарские/практические занятия	36	12	12	12
1.3	Лабораторные занятия	54	18	18	18
2	**Самостоятельная работа**	**126**	42	42	42
	В том числе:				
2.1	Доклад, сообщение				
3	**Промежуточная аттестация**				
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**экзамен**	экзамен	экзамен	экзамен
	Итого	**288**	96	96	96

3.2 Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очная-заочная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1.1	Основные принципы конструирования аппаратов химических производств.	36	9	4	6		15
1.2	Конструирование и расчет теплообменных аппаратов, в том числе в коррозионностойком исполнении.	36	9	4	6		15
1.3	Конструирование и расчет выпарных и кристаллизационных аппаратов, в том числе в коррозионностойком исполнении.	36	9	4	7		16
1.4	Конструирование и расчет аппаратов гидромеханического	36	9	4	7		16

	разделения дисперсных систем, в том числе в коррозионностойком исполнении.						
1.5	Конструирование и расчет сушильных аппаратов, в том числе в коррозионностойком исполнении.	36	9	5	7		16
1.6	Конструирование и расчет реакторов, в том числе в коррозионностойком исполнении.	36	9	5	7		16
1.7	Конструирование и расчет аппаратов со слоем зернистого материала, в том числе в коррозионностойком исполнении.	36	9	5	7		16
1.8	Конструирование и расчет колонного оборудования для массообменных процессов, в том числе в коррозионностойком исполнении.	36	9	5	7		16
	Итого	**288**	**72**	**36**	**54**		**126**

3.3 Содержание дисциплины

Тема 1.Основные принципы конструирования аппаратов химических производств.

Научные основы исследования и конструирования аппаратов химических производств.

Связь технологического процесса с конструкцией аппарата. Физическое и математическое моделирование. Экспериментальные исследования. Основные принципы и методы конструирования аппаратов химических производств. Показатели качества. Нормативные документы, используемые при конструировании химического оборудования.

Тема 2. Конструирование и расчет теплообменных аппаратов, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Классификация и номенклатура современных теплообменных аппаратов. Основные требования, предъявляемые к теплообменным аппаратам в ходе проектирования, изготовления и эксплуатации. Основные виды теплоносителей и влияние их характеристик на конструкцию аппарата. Выбор направления движения теплоносителей, их конечных температур и скорости движения. Этапы расчета теплообменников, цель и задачи каждого типа расчета. Общая схема расчета теплообменников. Последовательность теплового расчета аппаратов.

Определение коэффициентов теплопередачи и величины среднего температурного напора. Основные способы интенсификации теплообмена.

Смесительные теплообменники. Область применения, основные конструкции, последовательность расчета на примере насадочного теплообменника.

Рекуперативные теплообменники. Змеевиковые теплообменники погружного и оросительного типа. Область применения. Конструкции змеевиков, калачей, оросительных устройств. Последовательность теплового, конструктивного и гидравлического расчетов. Теплообменники типа «труба в трубе», основные конструкции разборных, полуразборных и неразборных аппаратов, устройство и принцип их работы. Методы интенсификации теплообмена в межтрубном пространстве. Последовательность теплового, конструктивного и гидравлического расчетов.

Кожухотрубчатые теплообменники, область применения, основные конструкции, принцип работы. Методы интенсификации теплообмена в межтрубном пространстве и компенсации температурных напряжений в конструкции. Последовательность теплового, конструктивного и гидравлического расчетов.

Витые теплообменники, область применения, основные конструкции, способы навивки трубных пучков. Последовательность теплового, конструктивного и гидравлического расчетов.

Теплообменники с оребренными трубами, область применения, основные конструкции, принцип работы. Основные способы оребрения труб, определение эффективных коэффициентов теплоотдачи оребренных труб. Последовательность теплового, конструктивного и гидравлического расчетов.

Пластинчатые теплообменники, область применения, основные конструкции и принцип работы. Конструирование теплопередающих пластин. Схемы реализации движения теплоносителей, последовательность теплового, конструктивного (компоновочного) и гидравлического расчетов.

Пластинчато – ребристые теплообменники, область их применения, основные конструкции и принцип их работы. Основные способы оребрения поверхностей. Определение эффективности теплообмена оребренных поверхностей. Последовательность теплового конструктивного и гидравлического расчетов.

Спиральные теплообменники, область применения, основные конструкции и принцип работы. Способы уплотнения торцов спиральных каналов. Последовательность теплового, конструктивного и гидравлического расчетов.

Рекуперативные теплообменники из углеграфита и фторопласта, область применения, основные конструкции и принцип их работы. Последовательность теплового и конструктивного расчетов.

Тема 3. Конструирование и расчет выпарных и кристаллизационных аппаратов, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Классификация выпарных и кристаллизационных аппаратов. Основные требования, предъявляемые к рациональным конструкциям выпарных и кристаллизационных аппаратов. Классификация основных видов упариваемых и кристаллизующихся растворов. Конструирование и расчет основных узлов (греющая и сепарационная камера, циркуляционные трубы и контуры, сепараторы и брызгоуловители) выпарных и кристаллизационных аппаратов. Конструирование и расчет вспомогательных узлов (штуцера, узлы ввода и вывода растворов, суспензий, греющего пара, конденсата и инертных газов) выпарных и кристаллизационных аппаратов. Конструирование и расчет вспомогательных узлов (штуцера, узлы ввода и вывода растворов, суспензий, греющего пара, конденсата и инертных газов) выпарных и кристаллизационных аппаратов. Расчет

трубы вскипания выпарных аппаратов.

Общие принципы технологического расчета выпарных и кристаллизационных аппаратов.

Конструирование трубчатых выпарных и кристаллизационных аппаратов с естественной и принудительной циркуляцией, способы организации циркуляции, область применения данных аппаратов, расчет кратности циркуляции. Конструктивный и гидравлический расчеты данных аппаратов. Пленочные и роторно–пленочные аппараты, основные конструкции и принцип их работы, конструирование роторов аппаратов и оросителей, конструктивный и гидравлический расчеты.

Аппараты погружного горения, область применения, основные конструкции и принцип работы. Конструирование барботеров, определение глубины их погружения в раствор.

Аппараты для массовой изогидрической кристаллизации, область применения и основные конструкции кристаллизаторов поверхностного и вакуумного типов.

Тема 4. Конструирование и расчет аппаратов гидромеханического разделения дисперсных систем, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Основные типы аппаратов гидромеханического разделения дисперсных систем.

Основные характеристики дисперсных систем. Методы и приборы для анализа гранулометрического состава дисперсных материалов. Методы анализа поля скоростей турбулентных потоков.

Осаждение частиц в поле действия силы тяжести. Отстойники. Конструкции, область применения, расчет геометрических параметров.

Осаждение частиц в поле действия центробежной силы инерции. Напорные гидроциклоны. Устройство, принцип действия, область применения. Поле скоростей в гидроциклоне. Расчет расходных характеристик, показателей разделения. Конструкции батарейных гидроциклонов. Устройство, принцип действия, область применения вакуум-гидроциклонов.

Струйные аппараты. Область применения, принцип действия, классификация. Расчет струйного насоса.

Центрифуги и сепараторы. Область применения, классификация, принцип действия, область применения. Расчет расходных характеристик и показателей разделения.

Флотаторы. Теоретические основы процесса флотации. Основные конструкции флотаторов. Напорные флотаторы, вакуумфлотаторы, импеллерные флотаторы, электрофлотаторы, флотаторы с фильтросами. Принцип действия, достоинства и недостатки, область применения.

Аппараты пылегазоочистки. Осадительные камеры, инерционные пылеуловители, циклоны, вихревые пылеуловители. Область применения, принцип действия, порядок расчета, достоинства и недостатки.

Мокрые пылеуловители. Полые скрубберы, насадочные, скруббер Вентури. Область применения, достоинства и недостатки, порядок расчета.

Тема 5. Конструирование и расчет сушильных аппаратов, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Общие положения конвективной сушки дисперсных материалов. Состояние равновесия между влажным газом и материалом. Схема классификации влажного материала применительно к процессам сушки. Материальный и тепловой балансы. Диаграмма

влажного газа, изображение статики процесса в i- X диаграмме. Кинетика сушки. Определение продолжительности процесса. Общая схема расчета сушки для дисперсных материалов (блок–схема алгоритма расчета). Определение движущей силы процесса сушки в период постоянной скорости.

Определение движущей силы процесса сушки в период убывающей скорости сушки. Математическое описание процесса сушки с целью расчета движущей силы процесса на ЭВМ. Коэффициенты тепло- и массообмена при сушке дисперсных материалов и их определение.

Определение массообменных коэффициентов и их определение. Эффективные коэффициенты тепло- и массообмена и их определение.

Определение времени сушки для дисперсных материалов: а/ из основного уравнения теплообмена;

б/ из основного уравнения массообмена.

Классификация применения сушильных аппаратов в зависимости от основных свойств высушиваемых материалов.

Технологические и технико-экономические аспекты выбора способа сушки. Аппараты для сушки в неподвижном слое /камерные, туннельные, сушилки с опрокидывающимися полками, турбинные и тарельчатые сушилки,шахтные сушилки, вальцовые и ленточные сушилки/. Конструкции сушилок и их расчет, определение геометрических размеров.

Конструктивные особенности барабанных сушилок. Схемы некоторых типов внутренних насадок барабанных сушилок. Расчет барабанных сушилок, определение геометрических размеров.

Распылительные сушилки и их конструктивные особенности. Форсунки для распылительных сушилок, схемы распылительных дисков, схемы сушильных камер. Расчет распылительных сушилок, определение геометрических размеров.

Пневматические сушилки и их конструктивные особенности. Пневматические трубы-сушилки. Спиральные пневматические сушилки (спиральная пневмосушилка с циклонным сепаратором, пневмосушилка с плоской бифлярной спиралью, вихревая сушилка). Расчет пневмосушилок, определение их геометрических размеров.

Спирально-вихревые сушилки и их конструктивные особенности. Расчет спирально-вихревой сушилки. Определение геометрических размеров.

Аэрофонтанные сушилки и сушилки с кипящим слоем, их конструктивные особенности. Расчет аэрофонтанных сушилок и сушилок кипящего слоя, определение геометрических размеров.

Обоснование применения для сушки дисперсных материалов сушилок кипяшего слоя и спиральных сушильных установок.

Тема 6. Конструирование и расчет реакторов, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Основные понятия и определения. Кинетика химических процессов. Материальный и тепловой баланс химических процессов. Основные типы реакторов.

Реакторы периодического действия (гомогенные нестационарные реакторы).

Одиночные реакторы полунепрерывного действия. Одиночные реакторы непрерывного действия (гомогенные стационарные реакторы).

Трубчатые реакторы. Методы расчета реакторов: реакторы идеального смешения периодического и непрерывного действия, реакторы идеального вытеснения, реакторы промежуточного типа.

Конструкции химических реакторов. Основные требования, предъявляемые к реакционным аппаратам. Конструкции колонных реакторов: Конструкция футерованной

аппаратуры для синтеза карбамида, конструкция реакторов с перемешивающими устройствами.

Мешалки. Конструкции трубчатых реакторов. Конструкции барботажных реакторов. Конструкции реакторов для контактно-каталитических процессов. Факторы, влияющие на ход контактно-каталитического процесса. Конструкции реакторов с неподвижным слоем катализатора.

Аппараты шахтного (емкостного) типа. Трубчатый контактный аппарат для дегидрирования циклогексанола. Аппараты полочного типа. Аппараты комбинированного типа. Аппараты с неподвижным слоем катализатора. Аппараты с движущимся слоем гранулированного катализатора.

Тема 7. Конструирование и расчет аппаратов со слоем зернистого материала, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Особенности взаимодействия на поверхности раздела газообразной (жидкой) и твердой фаз. Классификация аппаратов с твердой фазой по способу взаимодействия фаз. Характеристика твердого зернистого материала. Основные узлы аппаратов с неподвижным и псевдоожиженным слоем.

Пределы существования псевдоожиженного слоя. Минимальная скорость псевдоожижения монодисперсного и полидисперсного слоев. Определение скорости витания. Однородное и неоднородное псевдоожижение.

Основы истечения свободной затопленной струи. Основы истечения турбулентных струй в псевдоожиженный слой. Расчет размеров факела в турбулентном слое. Расчет и конструирование газораспределительных решеток. Особенности конструирования решеток для термолабильных материалов. Провальные и беспровальные решетки.

Гидравлическое сопротивление аппаратов с неподвижным и псевдоожиженным слоями.

Расчет минимально необходимой высоты с точки зрения релаксации температуры ожижающего агента и твердого материала. Расчет минимально необходимой высоты слоя из условия равномерности обработки материала. Расчет размеров рабочей зоны аппаратов с псевдоожиженным слоем.

Основы расчета и конструирования сепарационного пространства аппаратов с неподвижным и псевдоожиженным слоем. Методика расчета сепарационного пространства по динамическому уносу.

Основы расчета и конструирования газовых камер аппаратов с неподвижным и псевдоожиженным слоем.

Форма аппаратов с псевдоожиженным слоем. Причины применения многокамерных аппаратов. Конструкции многокамерных аппаратов. Перетоки для твердого материала из камеры в камеру. Конструкция и расчет перетоков.

Устройство для подачи и выгрузки твердого зернистого материала. Основные конструкции и расчет. Регулирование температуры слоя в аппаратах с псевдоожиженным слоем.

Способы подвода и отвода тепла в аппаратах с зернистым слоем.

Особенности теплообмена поверхности с псевдоожиженным слоем.

Интенсификация процессов взаимодействия ожижающего агента с частицами в псевдоожиженном слое. Струйное псевдоожижение.

Гранулирование продуктов в аппаратах с псевдоожиженным слоем, механизм образования гранул в псевдоожиженном слое. Методика расчета

грануляторов с псевдоожиженным слоем. Способы подачи раствора в аппараты с псевдоожиженным слоем. Расчет и конструирование форсунок для подачи раствора.

Тема 8. Конструирование и расчет колонного оборудования для массообменных процессов, в том числе в коррозионностойком исполнении.

Характеристики массообменных процессов ректификации и абсорбции. Конструкции колонных аппаратов. Конструкции контактных устройств. Последовательность расчета контактного аппарата. Экстракционные аппараты. Характеристики процессов экстракции. Аппараты для жидкостной и твердофазной экстракции. Аппараты для процессов адсорбции и ионного обмена. Характеристики процессов адсорбции и ионного обмена.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Практическое занятие 1. Кожухотрубчатые теплообменники для теплоносителей без изменения
агрегатного состояния.

Практическое занятие 2.Кожухотрубчатые теплообменники для теплоносителей с изменением
агрегатного состояния.

Практическое занятие 3. Пластинчатые теплообменники.

Практическое занятие 4. Спиральные теплообменники.

Практическое занятие 5. Определение скорости осаждения.

Практическое занятие 6. Расчет отстойников.

Практическое занятие 7. Расчёт осадительной камеры.

Практическое занятие 8. Определение гидравлического сопротивления и эффективности
пылеочистки пылегазовых циклонов.

Практическое занятие 9. Определение гидравлического сопротивления и эффективности
пылеочистки вихревых пылеуловителей.

Практическое занятие 10. Расчет фильтров для улавливания пыли.

3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторное занятие 1.Анализ работы однокорпусной выпарной установки.

Лабораторное занятие 2. Анализ работы многокорпусной выпарной установки.

Лабораторное занятие 3. Барометрический конденсатор.

Лабораторное занятие 4. Реакторы непрерывного действия.

Лабораторное занятие 5. Реакторы периодического действия.

Лабораторное занятие 6. Исследование работы и расчёт барабанной сушилки.

Лабораторное занятие 7. Расчёт трубы-сушилки.

Лабораторное занятие 8. Анализ свойств псевдоожиженного слоя.

Лабораторное занятие 9. Расчёт гранулятора аммиачной селитры с псевдоожиженным слоем.

Лабораторное занятие 10. Определение гидравлического сопротивления тарельчатых колонн.

Лабораторное занятие 11. Определение гидравлического сопротивления насадочных колонн.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

1. Конструктивная разработка и расчет выпарного аппарата
2. Конструктивная разработка и расчет гидроциклона
3. Конструктивная разработка и расчет барабанной сушилки
4. Конструктивная разработка и расчет аппарата с перемешивающим устройством
5. Конструктивная разработка и расчет отстойника
6. Конструктивная разработка и расчет абсорбционной колонны

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Основная литература

1. Машины и аппараты химических производств: Учебное пособие для вузов/ А.С.Тимонин, Б.Г.Балдин, В.Я.Борщев, Ю.И.Гусев и др./ Под общей редакцией А.С.Тимонина.- Калуга: Издательство Н.Ф.Бочкаревой. 2008. - 872 с.
2. И.И. Поникаров, М.Г. Гайнуллин Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. Учебник. – Изд. 2-е. М.: Альфа-М, 2006.- 608 с.

4.2 Дополнительная литература

1. Муштаев В.И., Тимонин А.С., Лебедев В.Я. Конструирование и расчет аппаратов со взвешенным слоем. – М.: Химия, 1991. – 343 с.
2. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и прочностного оборудования. Справочник. Т. 1, 2, 3. – Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2001 г. – 990, 980, 990 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т 1V – 12 (М.Б. Генералов и др. 2004 – 832 с.

4.3 Электронные образовательные ресурсы

Программное обеспечение не предусмотрено.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте http://mospolytech.ru в разделе «Библиотека».

4.4 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Не предусмотрено

4.5 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1 . Не предусмотрено

5. Материально-техническое обеспечение

Учебные лаборатории кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова» полностью оснащены оборудованием и приборами для проведения лабораторных работ.

Имеются методические указания по проведению конкретных видов занятий, а также используемых в учебном процессе технических средств обучения.

Кафедра располагает компьютерным классом для проведения, как семинарских и практических занятий, так и для выполнения виртуальных лабораторных работ.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее

практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям по курсу «Надежность технических систем» необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия, определить средства материально-технического обеспечения лекционного занятия и порядок их использования в ходе чтения лекции. Уточнить план проведения практического занятия по теме лекции.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических занятий обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Изучение дисциплины завершается экзаменом.

Преподаватель, принимающий экзамен, лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

–

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

изучение теоретического материала, подготовку к лекционным и семинарским (практическим) занятиям

выполнение контрольных заданий

подготовка к тестированию с использованием общеобразовательного портала

написание и защита реферата по предложенной теме.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Студент должен помнить, что проводить самостоятельные занятия следует регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Не следует откладывать работу также из-за нерабочего настроения или отсутствия вдохновения. Настроение нужно создавать самому. Понимание необходимости выполнения работы, знание цели, осмысление перспективы благоприятно влияют на настроение.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или
«неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли»

Вид работы	Форма отчетности и текущего контроля
Практические работы	Оформленные отчеты (журнал) практических работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины с отметкой преподавателя «удовлетворительно/хорошо/отлично», если выполнены и оформлены все работы.
Курсовой проект	Работа студента, включающая аналитическую, графическую и расчетную части, и представляющая собой законченное решение поставленной задачи в рамках изучаемой дисциплины
Тест	Оценка преподавателя «удовлетворительно/хорошо/отлично», если результат тестирования по шкале (пункт 7.2.3) составляет более 41 %.

1.1 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 Шкала оценивания практических работ

Шкала оценивания	Описание
Неудовлетворительно	Не выполнены требования к написанию и защите практической работы: неправильно оформлена работа, неправильно подсчитаны значения, не сформулирован вывод.
Удовлетворительно	Выполнены не все требования к написанию и защите практической работы: неправильно оформлена работа, неправильно сформулирован вывод, но правильно подсчитаны значения.
Хорошо	Выполнены все требования, но с недочетами: незначительные ошибки в оформлении работы, неточности в формулировке выводов. Правильно подсчитаны значения.
Отлично	Выполнены все требования к написанию и защите практической работы: верно подсчитаны значения, сформулирован вывод, соблюдены требования к оформлению.

7.2.2 Шкала курсового проекта

Шкала оценивания	Описание
Неудовлетворительно	Не выполнил проект в полном объеме, не знает значительной части программного материала, допускает серьёзные ошибки, с большими затруднениями принимает практические конструктивные решения.
Удовлетворительно	Выполнил проект в полном объеме, но освоил только основной материал программы, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в принятии практических конструктивных решений.
Хорошо	Выполнил проект в полном объеме, твёрдо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, владеет необходимыми умениями и навыками при принятии конструктивных решений.
Отлично	Выполнил проект в полном объеме, глубоко и прочно освоил весь материал программы обучения, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при изменении задания, правильно обосновывает принятые конструктивные решения.

7.2.3 Шкала оценивания теста

Результат тестирования оценивается по процентной шкале оценки.

Оценка	Количество правильных ответов
Отлично	от 81% до 100%
Хорошо	от 61% до 80%
Удовлетворительно	от 41% до 60%
Неудовлетворительно	40% и менее правильных ответов

7.2 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

7.3.1.1 Примеры тестовых вопросов по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли»

Раздел дисциплины «Аппараты гидромеханического разделения дисперсных систем»

1. Укажите наиболее правильную совокупность способов задания гранулометрического состава частиц.
    1) Табличный способ, гистограмма, дифференциальная кривая распределения (плотность распределения) частиц по крупности, интегральная кривая распределения частиц по крупности;
    2) Табличный способ, гистограмма, параболическая кривая распределения частиц по крупности, интегральная кривая распределения частиц по крупности;
    3) Гистограмма, дифференциальная кривая распределения (плотность распределения) частиц по крупности, интегральная кривая распределения частиц по крупности, кривая вероятности;

4) Табличный способ, гистограмма, дифференциальная кривая распределения (плотность распределения) частиц по крупности, кривая вероятности;

2. Укажите наиболее правильную область применения трубки Пито-Прандтля.
   1) Измерение осредненного значения скорости потока и степени турбулентности;
   2) Измерение осредненного значения скорости потока;
   3) Измерение осредненного значения скорости потока и пульсационной составляющей;
   4) Измерение пульсационной составляющей скорости потока и степени турбулентности.

3. Укажите, на чем основан принципа действия прибора Коултера для измерения гранулометрического состава частиц.
   1) Измеряется скорость осаждения частиц под действием силы тяжести;
   2) Измеряется скорость осаждения частиц под действием центробежной силы инерции;
   3) Измеряется проводимость калиброванного отверстия при прохождении через него частицы.
   4) Измеряются размеры частиц с помощью микроскопа.
4. Укажите, как от табличных данных задания гранулометрического состава частиц при неравномерном шаге разбивки диапазона крупности частиц перейти к дифференциальной кривой распределения.
   1) Табличные данные представить в виде гистограммы и аппроксимировать её плавной кривой;
   2) Построить график при последовательном суммировании табличных данных;
   3) Табличные данные разделить на длину соответствующего интервала крупности частиц и полученное значение отложить на графике из середины интервала, полученные точки аппроксимировать плавной кривой;
   4) Табличные данные отложить из середины соответствующих интервалов на оси абсцисс и полученные точки соединить плавной кривой.

5. Укажите наиболее правильное определение принципа действия и возможности измерения трубки Пито-Прадтля.
   1) На основании измерения динамического напора определяется осредненное значение скорости потока;
   2) На основании измерения статического напора определяется осредненное значение скорости потока;
   3) На основании измерения разности динамического и статического напора определяется осредненное значение и пульсационная скорости потока;
   4) На основании измерения разности динамического и статического напора определяется осредненное значение скорости потока.

6. Укажите наиболее правильное определение степени турбулентности потока.
   1) Степень турбулентности потока – это отношение пульсационной составляющей скорости потока к средней скорости;
   2) Степень турбулентности потока – это отношение среднеквадратичного значения скорости потока к средней скорости;
   3) Степень турбулентности потока – это отклонение скорости в данной точке от среднего значения скорости;

4) Степень турбулентности потока – это отношение мгновенного значения скорости к средней скорости потока.

7. Укажите, от чего в первую очередь зависит производительность отстойника по разделяемой суспензии.
   1) Производительность отстойника по разделяемой суспензии зависит в первую очередь от его объема;
   2) Производительность отстойника по разделяемой суспензии зависит в первую очередь от площади поверхности осаждения;
   3) Производительность отстойника по разделяемой суспензии зависит в первую очередь от площади поверхности осаждения и скорости осаждения частиц;
   4) Производительность отстойника по разделяемой суспензии зависит в первую очередь от его объема и скорости осаждения частиц.

8. Укажите, от чего в первую очередь зависит производительность гидроциклона по разделяемой суспензии.
   1) Диаметра цилиндрической части корпуса и давления в питающем патрубке;
   2) Диаметров верхнего и нижнего сливных патрубков;
   3) Диаметра цилиндрической части корпуса и угла конусности конической части корпуса;
   4) Диаметра верхнего сливного патрубка и давления в питающем патрубке.

9. Укажите за счет чего в первую очередь увеличится концентрация дисперсной фазы в сгущенном продукте гидроциклона (нижний слив) при постоянном диаметре цилиндрической части корпуса.
   1) За счет уменьшения угла конусности конической части корпуса;
   2) За счет увеличения давления в питающем (входном) патрубке гидроциклона;
   3) За счет увеличения диаметра верхнего сливного патрубка;
   4) За счет уменьшения диаметра нижнего (пескового) разгрузочного патрубка.

10. Укажите наиболее правильный перечень показателей работы гидроциклона, который может быть рассчитан с использованием понятия граничного зерна разделения.
    1) Концентрация и гранулометрический состав частиц дисперсной фазы в осветленном и сгущенном продукте;
    2) Производительность по осветленному и сгущенному продуктам;
    3) Гранулометрический состав частиц дисперсной фазы в осветленном и сгущенном продукте;
    4) Концентрация дисперсной фазы в продуктах разделения.

11. Как соотносятся давления потоков в струйном аппарате?
    1) Давление рабочего потока больше давления инжектируемого потока и меньше давления смешанного потока;
    2) Давление смешанного потока меньше давления рабочего потока и больше давления инжектируемого потока;
    3) Давление инжектируемого потока меньше давления рабочего потока и больше давления смешанного потока;
    4) Давление смешанного потока меньше давления рабочего потока и меньше давления инжектируемого потока.

12. В каком случае целесообразно применять центрифуги или гидроциклоны, а не сепараторы?
    1) Если размер частиц дисперсной фазы больше максимального критического размера частиц;
    2) Если в суспензии содержится значительное количество мелкодисперсных частиц;
    3) Если необходимо разделять эмульсии;
    4) Если основная масса частиц меньше предельного размера, определяемого из условия возможности возникновения диффузии.

13. Укажите на чем основан принцип импеллерной флотации.
    1) Импеллерная флотация основана на том, что воздушные пузырьки образуются в воде за счет выделения из нее растворенного воздуха под действием вакуума;
    2) Импеллерная флотация основана на том, что разделяемая пульпа предварительно насыщается воздухом под избыточным давлением, а затем выпускается во флотационный резервуар, находящийся под атмосферным давлением;
    3) Импеллерная флотация основана на том, что воздух подается во всасывающую трубу насоса;
    4) Импеллерная флотация основана на механическом диспергировании воздуха в пульпе.

14. Укажите, как устроен фильтр-пресс автоматизированный камерный типа ФПАКМ.
    1) Фильтр-пресс автоматизированный камерный типа ФПАКМ состоит из комплекта горизонтальных фильтрующих плит, расположенных между верхней упорной плитой и нижней нажимной;
    2) Фильтр-пресс автоматизированный камерный типа ФПАКМ состоит из комплекта вертикально расположенных прямоугольных фильтровальных плит;
    3) Фильтр-пресс автоматизированный камерный типа ФПАКМ состоит из вертикального плоского фильтровального элемента – листа, представляющего собой жесткий каркас из трубы или проката, внутри которого расположен жесткий дренажный вкладыш;
    4) Фильтр-пресс автоматизированный камерный типа ФПАКМ представляет собой вертикальный цилиндрический корпус с крышкой и днищем, между которыми помещена решетка, в которой крепятся фильтровальные патроны.

15. Выберите наиболее полную характеристику осадительного центрифугирования.
    1) Осадительное центрифугирование – выделение твердой фазы из малоконцентрированных суспензий (концентрация до 5% об). Для этого процесса используются осветляющие шнековые центрифуги, трубчатые центрифуги и жидкостные сепараторы с тарельчатыми или цилиндрическими вставками;
    2) Осадительное центрифугирование проводят в сепараторах-сгустителях, из роторов которых осадок в виде концентрата непрерывно отводится через сопла. Концентрация твердой фазы – от 2 до 30% об.;
    3) Осадительное центрифугирование – разделение суспензий центрифугированием в перфорированных роторах центрифуг периодического и непрерывного действия;
    4) Осадительное центрифугирование – разделение средне- и высококонцентрированных суспензий. Для проведения этого процесса обычно

используют обезвоживающие и универсальные осадительные шнековые центрифуги, реже – центрифуги периодического действия с ручной или механической выгрузкой осадка.

16. Укажите наиболее правильный перечень сил, оказывающих основное влияние на процесс разделения в тарельчатом сепараторе.
    1) На процесс разделения в тарельчатом сепараторе основное влияние оказывает центробежная сила и сила тяжести;
    2) На процесс разделения в тарельчатом сепараторе основное влияние оказывает центробежная сила и сила трения;
    3) На процесс разделения в тарельчатом сепараторе основное влияние оказывает сила трения и сила Кориолиса;
    4) На процесс разделения в тарельчатом сепараторе основное влияние оказывает центробежная сила и сила Кориолиса.

17. Укажите наиболее правильный перечень изменений показателей работы пылегазового циклона и вихревого пылеуловителя, которые произойдут при уменьшении диаметра корпуса.
    1) При уменьшении диаметра корпуса увеличится концентрация твердой фазы в очищенном газе и уменьшится производительность аппарата;
    2) При уменьшении диаметра корпуса уменьшится концентрация твердой фазы в очищенном газе и увеличится производительность аппарата;
    3) При уменьшении диаметра корпуса увеличится концентрация твердой фазы в очищенном газе и увеличится производительность аппарата;
    4) При уменьшении диаметра корпуса уменьшится концентрация твердой фазы в очищенном газе и уменьшится производительность аппарата.

18. При расчете диаметра рабочей зоны вихревого пылеуловителя в каком диапазоне выбирается скорость в рабочей зоне?
    1) Скорость выбирается в диапазоне от 20 до 25 м/с;
    2) Скорость выбирается в диапазоне от 12 до 18 м/с;
    3) Скорость выбирается в диапазоне от 5 до 12 м/с;
    4) Скорость выбирается в диапазоне от 15 до 20 м/с.

19. Укажите наиболее правильное определение принципа действия турбулентных газопромывателей.
    1) Принцип действия этих аппаратов основан на взаимодействии частиц с жидкостью на поверхности насадки;
    2) Принцип действия этих аппаратов основан на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (порядка 60-150 м/с), орошающей его жидкости. Осаждению частиц пыли на каплях орошающей жидкости способствует турбулентность газового потока и высокие относительные скорости между улавливаемыми частицами и каплями;
    3) Принцип действия этих аппаратов основан на взаимодействии частиц с жидкостью, распыленной форсунками;
    4) Принцип действия этих аппаратов основан на взаимодействии частиц с жидкостью при прохождении газа через слой жидкости на тарелке.

20. При расчете диаметра полого скруббера в каком диапазоне выбирается скорость газа в рабочей зоне?

1) Скорость газа в рабочей зоне выбирается в диапазоне от 5 до 10 м/с;
2) Скорость газа в рабочей зоне выбирается в диапазоне от 8 до 12 м/с;
3) Скорость газа в рабочей зоне выбирается в диапазоне от 0,6 до 1,2 м/с;
4) Скорость газа в рабочей зоне выбирается в диапазоне от 2 до 5 м/с.

Ключи правильных ответов на тесты

1)– ***1***; 2) – ***2***; 3) – ***4***; 4) – ***3***; 5) – ***4***; 6) – ***2***; 7) – ***3***; 8) – ***1***; 9) – ***4***; 10) – ***4***; 11) – ***2***; 12) – ***1***;

13) – ***4***; 14) – ***1***; 15) – ***4***; 16) – ***2***; 17) – ***4***; 18) – ***3***; 19) – ***2***; 20) – ***3***.

7.3.1.2 Темы практических работ по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли»

Тематика практических работ изложена в пункте 3.4.

7.3.2. Промежуточная аттестация

7.3.2.1. Вопросы к экзамену по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение проектирования аппаратов отрасли»

1. Область назначения и классификация теплообменных аппаратов. Основные требования, предъявляемые к конструкциям теплообменников. Современная номенклатура теплообменников.
2. Змеевиковые теплообменники. Конструкция, принцип действия, порядок расчета.
3. Виды теплоносителей. Достоинства и недостатки.
4. Теплообменники типа «труба в трубе». Конструкция, принцип действия, порядок расчета.
5. Схема расчета теплообменных аппаратов. Определение коэффициентов
6. теплоотдачи и коэффициента теплопередачи.
7. Кожухотрубные теплообменники. Конструкции жесткого типа. Крепление труб в трубных досках. Порядок расчета.
8. Выбор направления движения рабочих сред. Определение среднего температурного напора.
9. Кожухотрубные теплообменники. Конструкции с плавающей головкой, U-образными трубками. Крепление труб в трубных досках Порядок расчета.

10. Смесительные теплообменники. Устройство, принцип действия, область применения барометрических конденсаторов.

11. Аппараты воздушного охлаждения. Устройство, принцип действия. Конструкции труб, порядок расчета.

12. Основное уравнение теплопередачи. Определение коэффициентов

13. теплоотдачи и коэффициента теплопередачи, средней разности температур.

14. Пластинчато-ребристые теплообменники. Конструкции, особенности расчета.

15. Выбор направления движения рабочих сред. Определение среднего температурного напора.

16. Теплообменники из неметаллических материалов. Область применения достоинства и недостатки.

17. Регенеративные теплообменные аппараты. Конструкции, область применения.

18. Виды теплоносителей, выбор направления движения теплоносителей, определение средней разности температур.

19. Смесительные теплообменные аппараты. Конструкции, область применения.

20. Тепловой и материальный баланс теплообменного аппарата. Количество передаваемого тепла при изменении фазового состояния и без изменения.

21. Градирни. Область применения, конструкции, принцип действия.

22. Порядок расчета рекуперативных теплообменных аппаратов.

23. Тепловые трубы, термосифоны. Устройство, принцип действия.

24. .Спиральные теплообменники. Устройство, уплотнения, порядок расчета.

25. Пластинчатые теплообменные аппараты. Конструкции, способы изготовления. Конструкции пластин. Порядок расчета пластинчатых теплообменников.

26. Тепловой и материальный баланс теплообменного аппарата. Количество передаваемого тепла при изменении фазового состояния и без изменения.

27. Порядок расчета рекуперативных теплообменных аппаратов. Определение коэффициентов теплоотдачи и коэффициента теплопередачи.

28.

29. Раздел дисциплины «Конструирование и расчет аппаратов с псевдоожиженным слоем»

30.

31. Основные характеристики слоя и частиц твердого зернистого материала.
32. Псевдоожижение и другие способы контактирования твердых частиц с газовым
33. (жидкостным) потоком.
34. Область существования псевдоожиженного слоя. Минимальная скорость псевдоожижения и скорость уноса.
35. Однородное и неоднородное псевдоожижение. Площадь поперечного сечения аппарата.
36. Конструкции корпуса аппаратов с псевдоожиженным слоем.
37. Конструирование сепарационного пространства аппаратов с неподвижным и псевдоожиженным слоем. Пути уменьшения уноса.
38. Конструирование газовых камер в аппаратах с неподвижным и псевдоожиженным слоем.
39. Конструирование газораспределительных решеток.
40. Гидравлическое сопротивление аппаратов с псевдоожиженным слоем.
41. Область существования псевдоожиженного слоя. Минимальная скорость псевдоожижения и скорость уноса.
42. Область существования псевдоожиженного слоя. Минимальная скорость псевдоожижения и скорость уноса.
43. Однородное и неоднородное псевдоожижение. Площадь поперечного сечения аппарата.
44. Истечение свободной газовой струи и струи, истекающей в псевдоожиженный слой.