



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов

09.02.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

МЕХАНИКА ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Направление подготовки (специальность)
18.04.01 Химическая технология

Направленность (профиль/специализация) программы
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очно-заочная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	2

Магнитогорск
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 910)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий
08.02.2023, протокол № 5

Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:
профессор кафедры МиХТ, д.фю-м.н

 А.Н. Смирнов

Рецензент:

ведущий специалист НТЦ

группы по АКДП ПАО "ММК", канд. техн. наук

 Е.Н. Степанов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Механика дисперсных сред» является освоение вопросов основных закономерностей механики твердых дисперсных тел, происходящих в различных химико-технологических системах, которые в свою очередь формируют профессиональный уровень специалиста по данной специальности.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Механика дисперсных сред входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Для изучения дисциплины необходимы знания, сформированные в результате изучения дисциплин бакалавриата, таких, как математика, физика, информатика, общая и неорганическая химия, физическая химия, поверхностные явления и дисперсные системы, аналитическая химия и физико-химические методы анализа, техническая термодинамика и теплотехника.

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Производственная - научно-исследовательская работа

Производственная - преддипломная практика

Производственная - технологическая (производственно-технологическая) практика

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Механика дисперсных сред» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-2	Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
ОПК-2.1	Использует современные приборы и методики, организует проведение экспериментов и испытаний, проводит их обработку и анализирует их результаты

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 8,1 акад. часов;
- аудиторная – 8 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 60 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Структура и структурные связи дисперсных систем								
1.1 Раздел: 1 Структура и структурные связи твердых дисперсных сред. 1.1 Тема Состав и строение твердых дисперсных сред. Сыпучесть порошкообразных ма-териалов	2		1		2,1	- Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к собеседованию	Устный опрос (собеседование). Лабораторная работа по дисперсному анализу (№1)	ОПК-2.1
Итого по разделу			1		2,1			
2. Динамические и кинетические свойства дисперсных систем								
2.1 1.2. Тема: Физические свойства сыпучих материалов	2				9	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Подготовка к выполнению лабораторной работы, собеседованию	Устный опрос (собеседование). Выполнение лабораторной работы №1	ОПК-2.1
2.2 Раздел: Гидродинамика неподвижного зернистого слоя 2.1. Тема: Течение жидкости через неподвижные зернистые слои. Основные параметры, характеризующие структуру зернистого слоя.				2		7,1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Подготовка к собеседованию	Устный опрос (собеседование).

2.3 Раздел 3 Основы механики кипящего слоя 3.1 Тема: Начало псевдооживления. Основные уравнения для развитого кипящего слоя. Математические модели реакторов с кипящим слоем		3		7	- Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к лабораторному занятию.	Устный опрос (собеседование). Выполнение лабораторной работы № 2	ОПК-2.1
2.4 Раздел Движение сыпучего материала в транспортирующих и технологических устройствах 4.1 Тема: Транспортирующие устройства для сыпучих материалов. Истечение и движение сыпучего материала				8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Работа с электронными биб-лиотеками.	Устный опрос (собеседование). Тест. Отчет по лабораторной работе №2	ОПК-2.1
2.5 5. Раздел Разделение неоднородных систем 5.1 Тема: Неоднородные системы и методы их разделения. Коагуляция частиц дисперсной фазы. Уравнения фильтрования. Расчет центрифуг.				10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Работа с электронными библиотеками.	Устный опрос (собеседование). Консультации.	ОПК-2.1
2.6 6. Раздел Разделение газовых систем 6.1 Тема: Очистка газов под действием сил различной природы. Коагуляции и укрупнение частиц, отделяемых при газоочистке.				7,5	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Работа с электронными биб-лиотеками.	Устный опрос (собеседование). Консультации.	ОПК-2.1
2.7 7. Раздел Перемешивание в жидких средах 7.1 Тема: Перемешивание в жидких средах. Виды перемешивания. Интенсивность и эффективность перемешивания		2		9,3	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Работа с электронными биб-лиотеками.	Устный опрос (собесе-дование). Выполнение и отчет по лабораторной работе №3. Консультации	ОПК-2.1
Итого по разделу		7		57,9			
Итого за семестр		8		60		зачёт	
Итого по дисциплине		8		60		зачет	

5 Образовательные технологии

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине «Механика дисперсных сред» используются образовательные технологии:

1. Информационно-развивающие технологии, направленные на формирование системы знаний, запоминание и свободное оперирование ими.

Используется лекционно-семинарский метод, самостоятельное изучение литературы, применение современных информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации.

2. Деятельностные практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений при разборе конкретных ситуаций, основанных на практических примерах, обеспечивающих возможность качественно выполнять профессиональную деятельность.

3. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения.

4. Личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента, при выполнении домашних индивидуальных заданий, на консультациях.

В ходе диалогового обучения студенты учатся критически мыслить, решать сложные проблемы на основе анализа обстоятельств и соответствующей информации, взвешивать альтернативные мнения, принимать продуманные решения, участвовать в дискуссиях, общаться. Для этого на занятиях организуются индивидуальная и групповая работа, идет работа с документами и различными источниками информации.

В процессе обучения используется форма многосторонней коммуникации в образовательном процессе. Такой подход предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой.

Реализация такого подхода осуществляется следующим образом:

1. Распределение тем по «Механике дисперсных сред» с учетом пожеланий студентов, тематики их научных интересов и т.п.

2. Подготовка студентами формы отчетности самостоятельной работы (текст доклада и презентация).

3. Обсуждение подготовленного отчета по лабораторной работе в режиме дискуссии с элементами коллективного решения творческих задач.

Для оценки знаний рекомендуется использовать рейтинговую систему, которая обеспечивает диагностику достижения обучаемым заданного уровня компетентности на каждом этапе текущего, промежуточного и рубежного, итогового контроля. Все набранные баллы суммируются и составляют индивидуальный интегральный индекс в целом по курсу. Цель студента – набрать максимальное число баллов. При рейтинговой системе резко возрастает роль текущего и промежуточного контроля. В итоге, в конце семестра, студенты, набравшие суммарный рейтинг 50% получают допуск к зачету.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

Смирнов, А. Н. Механика дисперсных сред : практикум / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. - Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2019. - 1 CD-ROM. - Загл. с титул. экрана. - URL : <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=4038.pdf&show=dcatalogues/1/1532667/4038.pdf&view=true> . - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

Баранова, М. П. Физико-химические основы получения топливных водоугольных суспензий [Электронный ресурс] : монография / М. П. Баранова, В. А. Кулагин. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. - 160 с. - ISBN 978-5-7638-2116-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/441837>

б) Дополнительная литература:

Киселев, И. Я. Общая химия. Дисперсные системы : учебное пособие / И. Я. Киселев. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2014. — 29 с. — ISBN 978-5-9239-0679-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/46061>

Малышева, Ж. Н. Теоретическое и практическое руководство по дисциплине «Поверхностные явления и дисперсные системы» : учебное пособие / Ж. Н. Малышева, И. А. Новаков. — 4-е изд., доп. и перераб. — Волгоград : ВолгГТУ, 2017. — 392 с. — ISBN 978-5-9948-2618-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/174092> .

в) Методические указания:

Дюльдина, Э. В. Поверхностные явления и дисперсные системы : учебное пособие / Э. В. Дюльдина, С. П. Ключковский ; МГТУ. - 2-е изд. - Магнитогорск : МГТУ, 2014. - 86 с. : ил., табл.,граф.

URL:<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=16.pdf&show=dcatalogues/1/1120686/16.pdf&view=true>- Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Adobe Design Premium CS 5.5 Academic Edition	К-615-11 от 12.12.2011	бессрочно
STATISTICA в.6	К-139-08 от 22.12.2008	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Учебно-методические издания кафедры

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Раздел: Структура и структурные связи твердых дисперсных сред.

1.1. Тема: Компоненты структуры. Форма и размеры твердых частиц. Анизотропия пористого тела

1.2. Тема: Влажность, подвижность и связность частиц, слеживаемость, абразивность.

2. Раздел: Гидродинамика неподвижного зернистого слоя

2.1. Тема: Расчет гидравлического сопротивления неподвижного слоя

3. Раздел Основы механики кипящего слоя

3.1 Тема: Образование разрывов. Влияние сил сцепления между частицами.

4.1 Тема: Движение сыпучего материала в трубчатых питателях и машинах барабанного типа

5. Раздел Разделение неоднородных систем

5.1 Тема: Скорость стесненного осаждения (отстаивания). Устройство фильтров. Расчет фильтров. Центрифугирование.

6. Раздел Разделение газовых систем

6.1 Тема: Сравнительные характеристики и выбор газоочистительной аппаратуры.

7. Раздел Перемешивание в жидких средах

7.1 Тема: Конструкции мешалок, их характеристики и выбор.

Лабораторные работы:

1. Экспериментальное определение гранулометрического состава методом весовой седиментации
2. Реология твердых дисперсных тел
3. Гидродинамика кипящего слоя.
4. Экспериментальное определение площади сгустителя
5. Изучение процесса фильтрования при постоянном давлении
6. Определение расхода энергии на перемешивание

Пример оформления отчета по лабораторной работе

Гидродинамика кипящего слоя

2.1. Теоретическая часть

В настоящее время в химической технологии широко используются процессы, при которых происходит взаимодействие газа или жидкости с мелкораздробленным твердым материалом (сушка, обжиг, адсорбция, каталитические процессы и др.). Такие процессы осуществляют в аппаратах с так называемым кипящим слоем (взвешенным или псевдооживленным), в которых указанные процессы значительно ускоряются. Все расчеты по определению параметров псевдооживленного слоя построены на использовании скорости оживающего агента (1), отнесенной к полному поперечному сечению аппарата (фиктивная скорость):

$$\omega = \frac{Q}{f_a}, \quad (2.1)$$

где Q – объемный расход сжижающего агента, м³/с; f_a – площадь поперечного сечения аппарата, м².

Если через неподвижный слой материала, лежащего на решетке (рис. 9.6), пропускать снизу вверх поток газа или жидкости (ожижающий агент), то состояние слоя будет зависеть от значения скорости ожижающего агента. При достижении некоторой скорости, называемой первой критической $\omega_{кр1}$, частицы начинают перемещаться по объему слоя (псевдооживенное состояние). При дальнейшем повышении скорости ожижающего агента объем слоя возрастает.

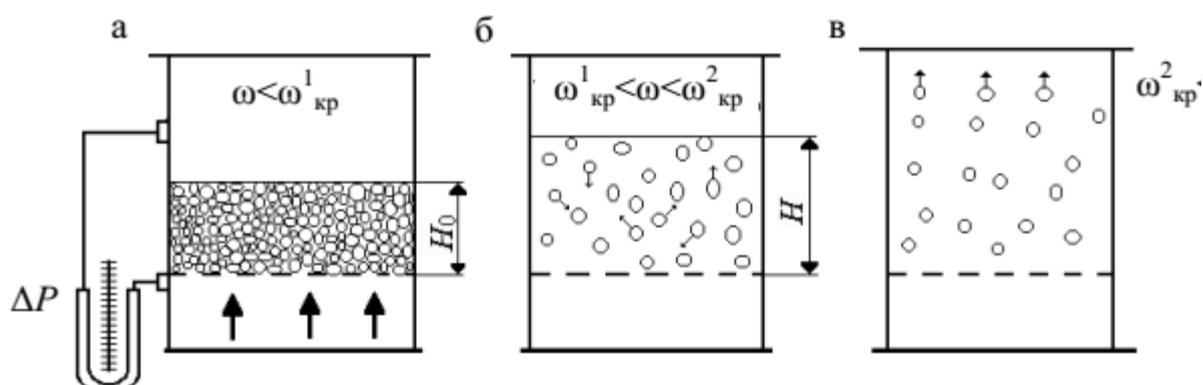


Рис. 9.6. Изменение структуры слоя в зависимости от скорости ожижающего агента (ω)
а – неподвижный слой; б – кипящий (псевдооживенный) слой; в – унос частиц из аппарата (пневмотранспорт)

При дальнейшем увеличении скорости высота взвешенного слоя увеличивается, т. е. слой расширяется и его порозность растет, хаотическое движение частиц становится более интенсивным. Такой взвешенный слой во многом напоминает жидкость. Он «течет», принимая форму аппарата, имеет свободную поверхность, свою вязкость. Поэтому такой слой часто называют кипящим. При достижении ожижающим агентом второй критической скорости $\omega_{кр2}$ (скорость уноса) слой разрушается, а частицы в режиме пневмотранспорта уносятся из аппарата. Расширение кипящего слоя характеризуется порозностью ε , которая определяется как отношение объема пустот $V_{п}$ в слое к объему всего слоя $V_{сл}$

$$\varepsilon = \frac{V_{п}}{V_{сл}} = \frac{V_{сл} - V_{т}}{V_{сл}} = 1 - \frac{V_{т}}{V_{сл}}, \quad (2.2)$$

где $V_{т}$ – объем, занимаемый твердыми частицами в слое, м³;
 $V_{сл} = f_a H$ – объем слоя (H – высота псевдооживенного слоя, м см. рис.9.6).

Порозность неподвижного слоя твердых частиц одинакового диаметра составляет приблизительно 0,4. В процессе псевдооживления объем твердых частиц остается величиной постоянной, следовательно, его можно определить по параметрам неподвижного слоя

$$V_T = f_a H_o (1 - \varepsilon), \quad (2.3)$$

где H_o – высота неподвижного слоя частиц. Подставив (2.3) в (2.2), получим формулу для расчета порозности по измеренным значениям высот слоя

$$\varepsilon = 1 - \frac{f_a H_o (1 - \varepsilon_0)}{f_a H} = 1 - (1 - \varepsilon_0) \frac{H_o}{H}. \quad (2.4)$$

Из формулы (2.4) видно, что с увеличением скорости оживающего агента порозность слоя растет (см. рис.9.6). Таким образом, псевдооживленный слой может существовать в пределах от $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$ ($\omega < \omega_{1кр}$) до $\varepsilon = 1$ ($\omega \geq \omega_{1кр}$). Будем полагать что справедливо и для частиц неправильной формы. Слой твердых частиц является для оживающего агента гидравлическим сопротивлением, следовательно можно измерить перепад давления, возникающий при движении оживающего агента через этот слой. На рис. 9.7 (НС – неподвижный слой, ПС – псевдооживленный) показаны графики типичных изменений гидравлического сопротивления слоя ΔP и порозности ε .

В момент начала псевдооживления вес зернистого материала, приходящийся на единицу площади поперечного сечения аппарата, уравнивается силой гидравлического сопротивления слоя

$$\Delta P = \frac{G_c}{f_a} \quad (2.5)$$

где G_c – вес материала в слое H .

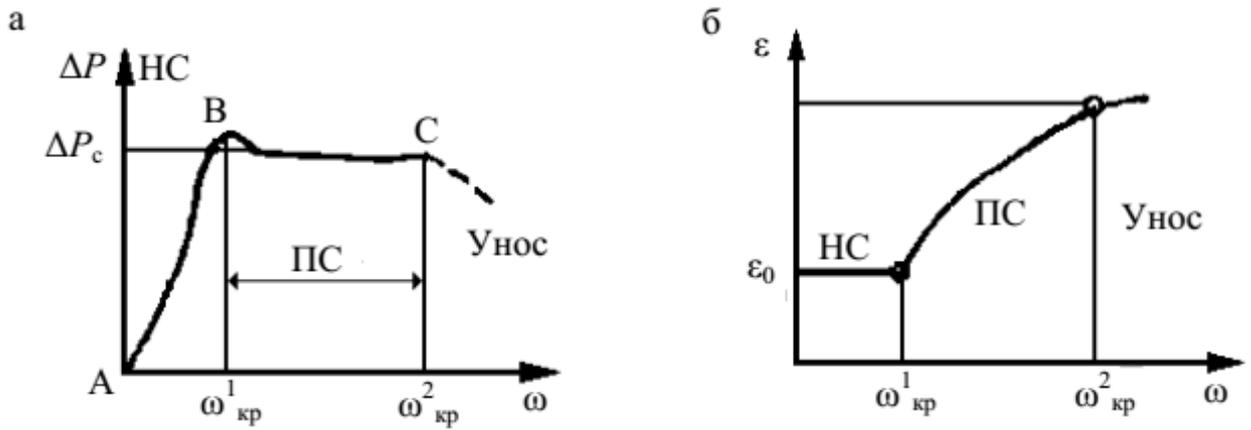


Рис.9.7. Графики зависимостей

а) $\Delta P=f(\omega)$, б) $\varepsilon=f(\omega)$

Используя формулы (2.3) и (2.5), с учетом силы Архимеда, получим:

$$\Delta P_c = gH_0(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}})(1 - \varepsilon_0) \quad (2.6)$$

Поскольку сопротивление псевдооживленного слоя остается величиной постоянной (см. рис.9.7), то его можно определить по формуле (2.6) для любого значения ε

$$\Delta P_c = gH_0\rho_{\text{ч}}(1 - \varepsilon_0). \quad (2.7)$$

Для частиц, находящихся во взвешенном состоянии, выполняется следующее соотношение:

$$G = R + A, \quad (2.8)$$

где - $R = \xi \frac{\rho_{\text{с}} \omega_0^2}{2} F$ сила сопротивления твердой частицы, Н; $G = mg = V_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}} g$ -

сила G - сила тяжести, Н; $A = V_{\text{ч}} \rho_{\text{с}} g$ - сила Архимеда, Н; ξ - коэффициент сопротивления твердой частицы (зависит от режима обтекания); F - площадь поперечного сечения частицы, м²; m - масса частицы, кг; $\rho_{\text{с}}$ - плотность ожидающего агента, кг/м³; $V_{\text{ч}}$ - объем твердой частицы, м³; $\rho_{\text{ч}}$ - плотность твердых частиц, кг/м³; $\omega_0 = \omega/\varepsilon$ - действительная скорость ожижающего агента в промежутках между частицами, м/с.

Таким образом,

$$R = G - A, \quad (2.9)$$

откуда

$$\xi \frac{\rho_c \omega_0^2}{2} F = V_q g (\rho_q - \rho_c). \quad (2.10)$$

Поделив правую и левую части, уравнения (2.1) на F и подставив в него значение ω , получим

$$\xi \frac{\rho_c \omega^2}{2\varepsilon^2} = \frac{V_q g (\rho_q - \rho_c)^3}{F}, \quad (2.11)$$

$$\text{или при } \rho_q \gg \rho_c \Delta P = \frac{V_q g \rho_q}{F} = \frac{mg}{F} \quad (2.12)$$

Из формулы (2.12) следует, что перепад давления, возникающий при псевдооживлении твердой частицы, равен весу частицы, деленной на площадь поперечного сечения частицы. Следовательно, когда все частицы слоя перейдут в псевдооживленное состояние, перепад давления:

$$\Delta P = \frac{G_c}{f_a}, \quad (2.13)$$

где G_c – вес частицы слоя, Н.

Из уравнений (2.12) и (2.13) видно, что перепад давления для псевдооживленного слоя есть величина постоянная, независящая от скорости газа. Это постоянство для слоя объясняется тем, что при повышении расхода оживающего агента происходит одновременное увеличение порозности слоя, а следовательно, действительная скорость оживающего агента между частицами остается величиной постоянной (см. формулы (2.10) и (2.11)).

Расчет критических скоростей для псевдооживленного слоя проводится с использованием зависимости между критериями Лященко Ly и Архимеда Ar (рис. 9.8), $Ly = f(Ar)$,

где критерий Лященко

$$Ly = \frac{\omega^3 \rho_c^2}{\mu_c (\rho_{\text{ч}} - \rho_c) g}, \quad (2.14)$$

критерий Архимеда

$$Ar = \frac{d_{\text{ч}}^3 \rho_c (\rho_{\text{ч}} - \rho_c) g}{\mu_c^2}, \quad (2.15)$$

μ_c – динамический коэффициент вязкости, Па·с;

$d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы, м.

Для расчета критических скоростей можно воспользоваться формулой Тодеса, полученной из анализа экспериментальных данных

$$\text{Re} = \frac{\text{Ar} \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{\text{Ar} \cdot \varepsilon^{4,75}}}, \quad (2.16)$$

где $\text{Re} = \frac{\omega d_{\text{ч}} \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}}$ – критерий Рейнольдса.

Для расчета скорости начала псевдооживления ($\varepsilon = \varepsilon_{\text{г}} = 0,4$)

$$\text{Re}_{\text{кр}}^1 = \frac{\text{Ar}}{1400 + 5,22\sqrt{\text{Ar}}}, \quad (2.17)$$

где $\text{Re}_{\text{кр}}^1 = \frac{\omega_{\text{кр}}^1 d_{\text{ч}} \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}}$.

Для расчета скорости уноса ($\varepsilon = 1$)

$$\text{Re}_{\text{кр}}^2 = \frac{\text{Ar}}{18 + 0,61\sqrt{\text{Ar}}}, \quad (2.18)$$

где $\text{Re}_{\text{кр}}^2 = \frac{\omega_{\text{кр}}^{\text{II}} d_{\text{ч}} \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}} = \frac{\omega_{\text{кр}}^{\text{II}} d_{\text{ч}}}{\nu}$; $\nu = \mu/\rho$. ν – коэффициент кинематической вязкости,

Для частиц неправильной формы вместо $d_{\text{ч}}$ используется эквивалентный диаметр $d_{\text{э}}$. Эквивалентный диаметр $d_{\text{э}}$ для частиц неправильной формы вычисляют как диаметр условного шара $d_{\text{ш}}$, объем которого V равен объему реальной частицы, умноженному на фактор формы ϕ ,

$$d_{\text{э}} = d_{\text{ш}} \phi, \quad (2.19)$$

Ly

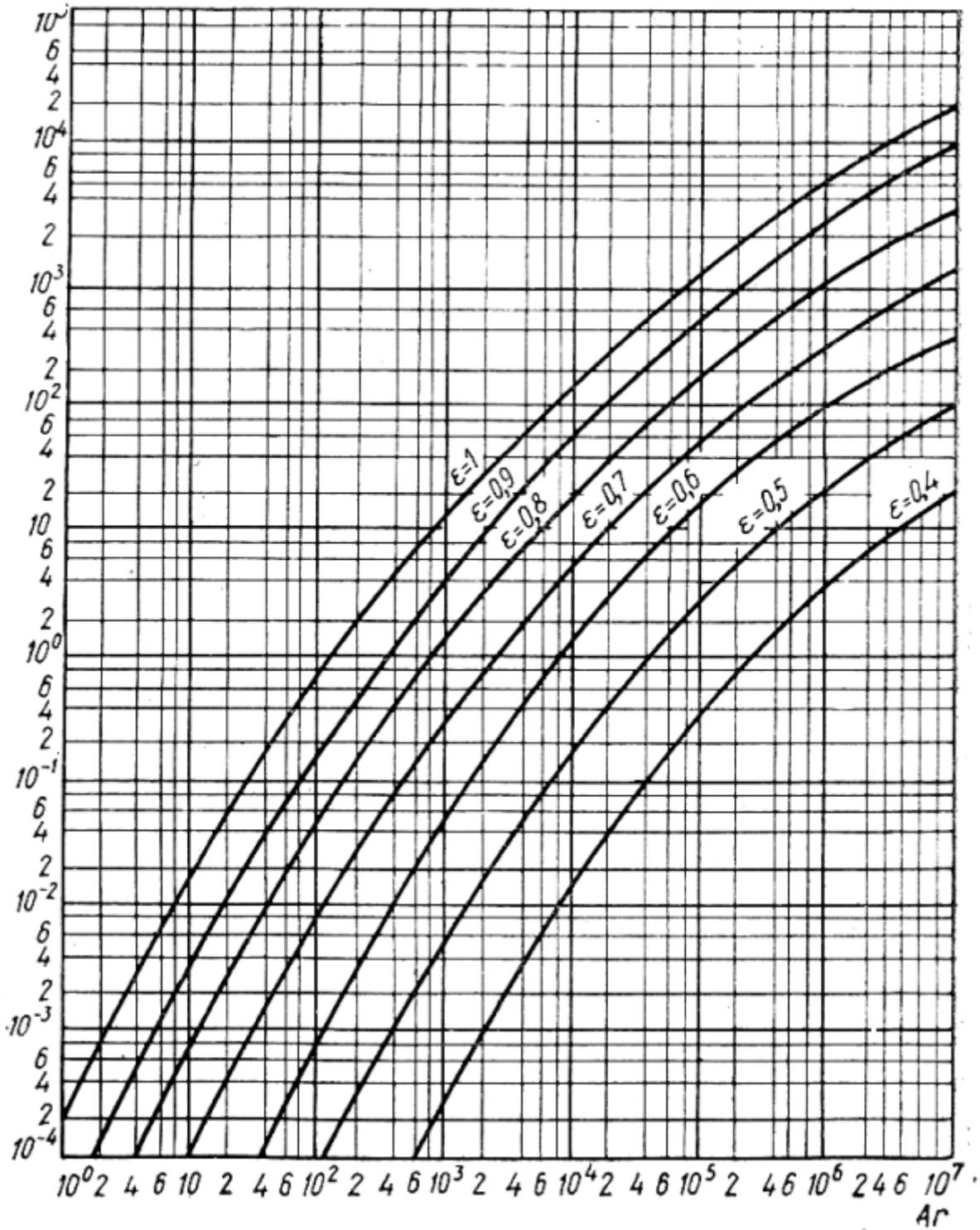


Рис. 9.8. Зависимость критерия Лященко Ly от критерия Архимеда Ar

2.2. Описание экспериментальной установки (рис. 9.9, 9.10).

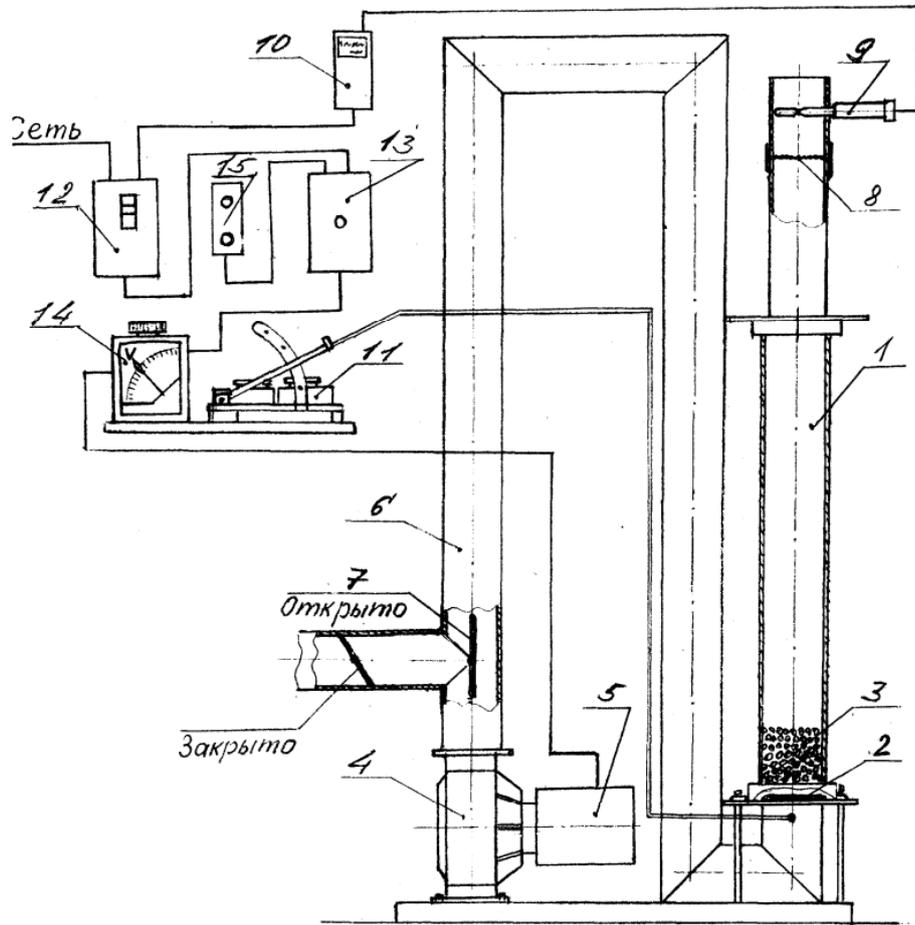


Рис. 9.9. Схема установки

1 – стеклянная труба; 2 – распределительная решетка; 3 – зернистый

слойполиэтилена; 4 – воздуходувка; 5 – электродвигатель; 6 – напорный трубопровод; 7 – заслонка; 8 – сетка; 9 – измерительный щуп; 10 – прибор контроля; 11 – микроманометр; 12 – автоматический выключатель; 13 – магнитный пускатель; 14 – автотрансформатор; 15 – кнопка пуска и управления

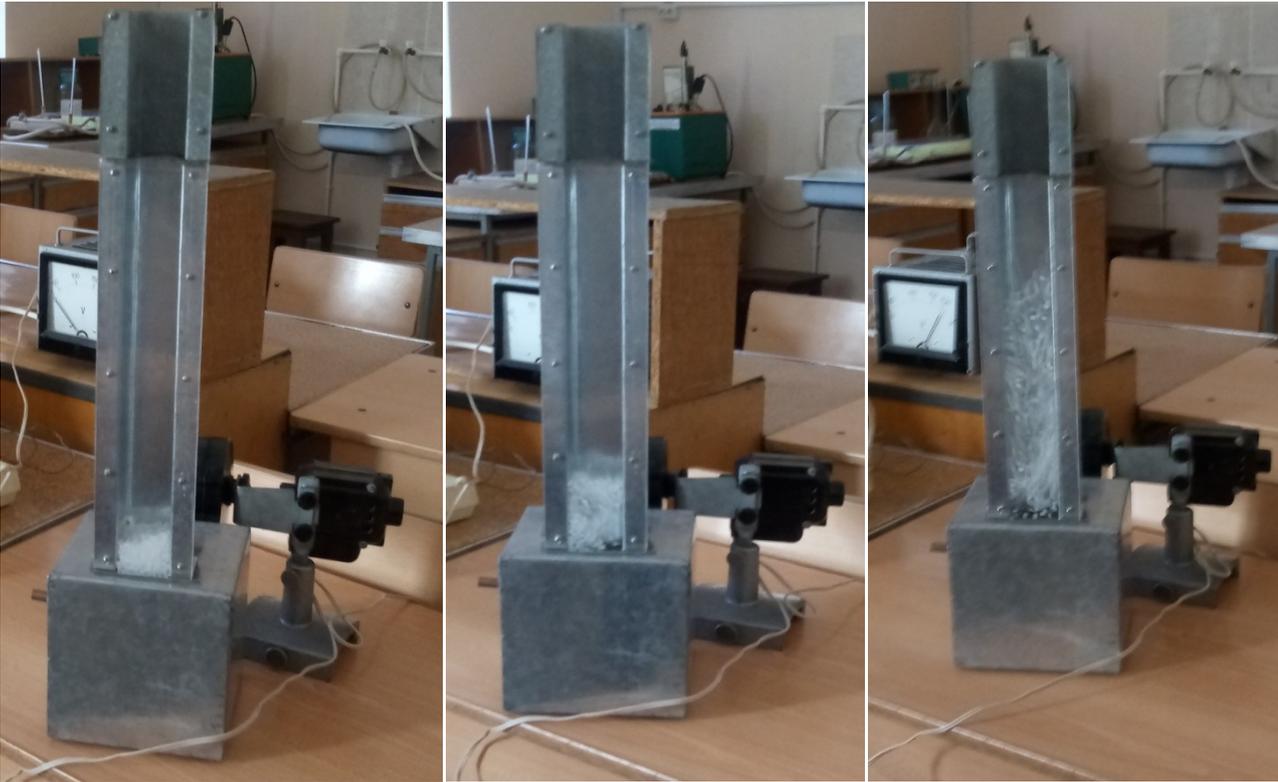


Рис. 9.10. Изменение структуры слоя в зависимости от скорости оживающего агента (ω)

2.3. Методика выполнения работы

Перед пуском установки следует ознакомиться с содержанием работы, установкой и получить задание у преподавателя.

Установить расход воздуха через колонку и определить соответствующие перепады давления (формулы для последующих расчетов в табл.2.1)

Таблица 2.1

Положение переключателя	Измеряемая величина
а	$\Delta P_a = \Delta P_p$
б	$\Delta P_b = \Delta P_p + \Delta P_1$
в	$\Delta P_v = 2\Delta P_p + \Delta P + \Delta P$

ΔP_p – перепад

давления, возникающий при движении сжи-

жающего агента через сетку; $\Delta P_1, \Delta P_2$ – соответственно перепад давления на первом и втором слоях.

В каждом опыте необходимо замерить высоты исследуемых слоев твердых частиц.

Расход воздуха измерить с помощью объемного счетчика. Результаты измерений занести в отчетную табл. 2.2.

Последовательно изменяя расход воздуха, провести измерение указанных выше величин.

Измерения должны охватывать диапазон изменения скорости воздуха от нуля до наибольшей, которую обеспечивает вентилятор. Измерения следует организовать так, чтобы обеспечить определение первой критической скорости с максимально возможной точностью.

После окончания работы выключатель 9 поставить в положение "выкл." и ручку регулятора напряжения вывести на ноль.

Таблица 2.2

Результаты лабораторной работы

№ п/п	Опытные данные						Расчетные данные						
	Объем ожижающего агента V, м ³	Время изменения объема τ, с	Расход ожижающего агента Q, м ³ /с	Показания дифференциального манометра, мм вод. ст.			Высота слоя H, м		Скорость воздуха ω, м/с	Гидравлическое сопротивление слоёв, Па		Порозность слоя, ε	
				$\Delta P_a = \Delta P_p$ гидравлическое сопротивление сети	$\Delta P_0 = \Delta P_p + \Delta P_1$	$\Delta P_p = 2\Delta P_p + \Delta P_1 + \Delta P_2$	H ₁ пер-вого слоя	H ₂ вто-рого слоя		ΔP_1 пер-вого слоя	ΔP_2 вто-рого слоя	ε ₁ пер-вого слоя	ε ₂ вто-рого слоя
1													
2													
3													
и т.д.													

2.4. Обработка опытных данных и составление отчета

1. Рассчитать для каждого опыта скорость воздуха ω, м/с, по формуле

$$\omega = \frac{Q}{f_a} = \frac{V}{\tau} \frac{4}{\pi d^2}$$

2. Рассчитать гидравлические сопротивления слоев твердых частиц ΔP_i , переводя при этом показания дифференциального манометра из

миллиметров водяного столба в Па. Если сопротивление $\Delta P_p \ll \Delta P_i$, то сопротивлением сетки при расчетах можно пренебречь.

3. Построить график зависимости $\Delta P_i = f(\omega)$, на котором нанести данные для каждого из слоев. Из графика определить значение $\omega_{кр}^1$.
4. По формуле (2.4) рассчитать порозность и построить график зависимости $\varepsilon_i = f(\omega)$, на который нанести данные для каждого из слоев.
5. Расчет значений плотности и динамической вязкости воздуха можно проводить по следующим формулам:

$$\rho_c = \rho_0 \frac{273}{T} ;$$

$$\mu_c = \mu_0 \frac{273 + C \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2}}{T + C} ,$$

где $\rho_0 = 1,293$ – плотность воздуха при 0°C , кг/м^3 ;

$\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6}$ – динамический коэффициент вязкости при 0°C , $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$T = 273 + t$ $^\circ\text{C}$ – абсолютная температура, K ;

C – постоянная Сатерленда (для воздуха 124).

6. По значению $\omega_{кр}^1$ рассчитать критерий Лященко.

7. Определить средний диаметр частиц в слое d_{Σ} . Так как

$\rho_{ч} \gg \rho_{с}$, то в формуле (2.14) и (2.15) принять $\rho_{ч} - \rho_{с} \approx \rho_{ч}$. Затем по графику (рис. 9.8) найти соответствующее значение критерия Архимеда при $\varepsilon = 0,4$ и определить диаметр частиц d_{Σ} .

8. Рассчитать по известному d_{Σ} значение $\omega_{кр}^1$ и $\omega_{кр}^2$, исходя из формулы Тодеса.

9. Рассчитать вес твердых частиц, находящихся в каждом слое, по формуле (2.13).

Отчет о работе должен содержать: задание; схему установки со спецификацией; отчетную таблицу; графики $\Delta P_i = f(\omega)$ и $\varepsilon_i = f(\omega)$; расчет среднего диаметра частиц; расчет веса материала в каждом слое; экспериментальное определение $\omega_{кр}^1$; расчет $\omega_{кр}^1$ и $\omega_{кр}^2$ по формуле Тодеса.

Контрольные вопросы

1. Как рассчитываются характерные скорости ожижающего агента для псевдооживленного слоя?
2. Как определяется по экспериментальным данным скорость начала псевдооживления?
3. Как рассчитать средний диаметр частиц, находящихся в слое?
4. Что такое порозность и какой характер имеет зависимость порозности слоя от скорости ожижающего агента?
5. От чего зависят скорость начала псевдооживления и скорость уноса?
6. Почему с увеличением скорости ожижающего агента гидравлическое сопротивление неподвижного слоя растет, а псевдооживленного остается постоянным?
7. Как рассчитать эквивалентный диаметр для частиц неправильной формы?
8. Как пользоваться графиком зависимости $L_y = f(Ar)$?
9. Как рассчитать гидравлическое сопротивление псевдооживленного слоя, зная вес неподвижного слоя?

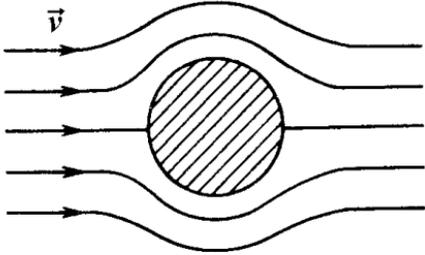
Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

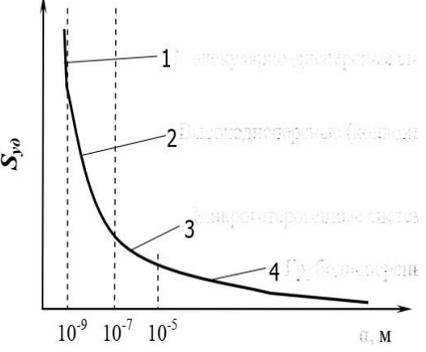
Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-2: Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты		
ОПК-2.1	Использует современные приборы и методики, организует проведение экспериментов и испытаний, проводит их обработку и анализирует их результаты	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификацию дисперсных систем 2. Состав и строение твердых дисперсных сред. 3. Основы теории размерностей 4. Условия и критерии подобия 5. Аналоговый подход в описании явлений. <p>Определить, исходя из термодинамических данных, в каком случае в изобарно-изотермических условиях возможно самопроизвольного получения дисперсных систем:</p> $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<ol style="list-style-type: none"> 1. $\Delta H < 0, \Delta S > 0$ 2. $\Delta H > 0, \Delta S < 0$ 3. $\Delta H > 0, \Delta S \approx 0$ 4. $\Delta H \approx 0, \Delta S < 0$ <p>Критерий подобия –</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. это математическое выражение в виде размерной комбинации (система СИ) определяющих (важнейших) параметров процесса 2. это математическое выражение в виде размерной комбинации определяющих (важнейших) параметров процесса. 3. это математическое выражение в виде безразмерной комбинации определяющих (важнейших) параметров процесса. 4. это логическое выражение в виде безразмерной комбинации определяющих (важнейших) параметров процесса <p>Выделить соответствующее электрокинетическое свойство дисперсных систем (1- 4), которое отражает явление электроосмоса и пояснить суть этого явления</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<div data-bbox="967 416 1444 683" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="967 687 2119 890">Рассчитайте толщину гидратных оболочек частиц золя диоксида кремния, если экспериментальными методами было установлено, что вязкость 15%-го золя составит $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па·с, а диаметр частиц равен 16 нм. Плотности частиц дисперсной фазы золя и дисперсионной среды соответственно 2,7 и 1 г/см³. Вязкость дисперсионной среды $1 \cdot 10^3$ Па·с, коэффициент формы частиц $\alpha = 2,5$</p> <ol data-bbox="967 927 2029 1102" style="list-style-type: none"> 1. Структурно – механические или реологические свойства дисперсных систем 2. Соотношение объемных и поверхностных свойств в зависимости от степени дисперсности 3. Кинетическая и агрегативная устойчивость. Качественные изменения свойств в зависимости от метода получения дисперсных систем <p data-bbox="967 1166 1966 1238">Определить какому типу дисперсных систем соответствуют структурно механические свойства ньютоновских жидкостей:</p> <ol data-bbox="967 1278 1527 1345" style="list-style-type: none"> 1. Структурированные жидкие системы 2. Свободно дисперсные системы

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>3. Коагуляционные структуры 4. Конденсационно - кристалли - зационные структуры</p> <p>Определить радиус и коэффициент диффузии, среднеквадратичный сдвиг частицы гидрозоля серы за 10 секунд. Дисперсность частицы равна 10 мкм^{-1}, температура $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, вязкость среды $10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.</p> <p>Используя правило размерностей найти силу, с которой поток идеальной несжимаемой жидкости плотностью (ρ), движущийся со скоростью V, действует на шар радиусом R (рисунок).</p>  <p>Синергизму при коагуляции смесью электролитов соответствует фактор</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Коагулирующие способности электролитов суммируются 2. Коагулирующие способности не зависят друг от друга

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>3. Коагулирующая способность смеси электролитов больше, чем каждого электролита в отдельно.</p> <p>4. Коагулирующая способность смеси электролитов меньше, чем каждого электролита в отдельно</p> <p>1. Структурообразование и структурно – механические свойства дисперсных систем. Динамическое состояние дисперсных систем</p> <p>2. Свободные, связанные, лиофильные, лиофобные дисперсные системы. Молекулярно – кинетические свойства</p> <p>3. Мера гетерогенности, степень раздробленности. Теория адсорбции, ДЛФО, уравнение Ламберта – Бугера _ Бэра</p> <p>На рисунке представлена зависимость удельной поверхности ($S_{уд}$) системы от размера ее частиц. Сопоставляя областям одну из цифр, указанных на рисунке определите, классифицируйте системы на:</p> <ul style="list-style-type: none"> • грубодисперсные • высокодисперсные • микрогетерогенные • молекулярно-дисперсные

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		 <p data-bbox="963 829 2128 957">Удельная поверхность непористой сажи равна $73,7 \text{ м}^2/\text{кг}$. Рассчитайте площадь занимаемую молекулой бензола в плотном монослое (изотерма Ленгмюра), исходя из данных об адсорбции бензола на этом адсорбенте при 293 К.</p> <p data-bbox="963 989 1041 1300">Р, Па 1,03 1,29 1,74 2,50</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>6,67</p> <p>$\Gamma \cdot 10^2$ моль/кг</p> <p>1,57</p> <p>1,94</p> <p>2,55</p> <p>3,51</p> <p>7,58</p> <p>Среднеквадратическое отклонение среднего из N отсчетов</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. в корень квадратный из N раз меньше среднеквадратического отклонения одного отсчета 2. в N раз меньше среднеквадратического отклонения одного отсчета 3. в N раз больше среднеквадратического отклонения одного отсчета 4. в корень квадратный из N раз больше среднеквадратического отклонения одного отсчета <p>В большей степени рассеивается свет с длиной волны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 380 нм; 2. 450 нм 3. 720 нм 4 . 670 нм

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Механика дисперсных сред», включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний и выявить степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Показатели и критерии оценивания:

Оценка	Критерии
Зачтено	Достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта, усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины, использование терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок, умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку, работа на лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.
Не зачтено	Фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта, знание отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины, неумение использовать терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок, пассивность на лабораторных занятиях