

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 05.10.2023 17:23:03  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«05» декабря 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины  
ГИДРОМЕХАНИКА НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД**

Направление подготовки

**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

Направленность программы бакалавриата

**Все направленности**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **Механический**

Кафедра **Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры**

Санкт-Петербург

2021

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**

| Должность | Подпись | Ученое звание,<br>фамилия, инициалы |
|-----------|---------|-------------------------------------|
| Доцент    |         | А.Ю.Иваненко                        |

Рабочая программа дисциплины «Гидромеханика неоднородных сред» обсуждена на заседании кафедры Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры

протокол от «27» октября 2021 № 4\_  
Заведующий кафедрой

Р.Ш.Абиев

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от «\_30\_» ноября 2021 № 4\_

Председатель

А.Н.Луцко

## СОГЛАСОВАНО

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
| Руководитель направления подготовки<br>«Технологические машины и<br>оборудование» |  | Доцент А.Н.Луцко |
| Директор библиотеки   |  | Т.Н.Старостенко  |
| Начальник методического отдела<br>учебно-методического управления                 |  | Т.И.Богданова    |
| Начальник УМУ   |  | С.Н.Денисенко    |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.</b> | <b>4</b>  |
| <b>2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.</b>   | <b>4</b>  |
| <b>3. Объем дисциплины.</b>   | <b>5</b>  |
| <b>4. Содержание дисциплины.</b>  | <b>6</b>  |
| 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.   | 6         |
| 4.2. Занятия лекционного типа.  | 7         |
| 4.3. Занятия семинарского типа.   | 9         |
| 4.3.1. Семинары, практические занятия.  | 9         |
| 4.3.2. Лабораторные занятия.  | 10        |
| 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.  | 11        |
| 4.4.1. Темы контрольных задач для самостоятельного выполнения.  | 11        |
| <b>4.4.1. Контрольные задачи.</b>   | <b>12</b> |
| <b>5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации</b>  | <b>15</b> |
| <b>7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.</b>   | <b>17</b> |
| <b>8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.</b>                            | <b>17</b> |
| <b>9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.</b>   | <b>18</b> |
| <b>10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.</b>                          | <b>18</b> |
| 10.1. Информационные технологии.  | 18        |
| 10.2. Программное обеспечение.  | 18        |
| 10.3. Базы данных и информационные справочные системы.  | 18        |
| <b>11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.</b>                                 | <b>19</b> |
| <b>12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.</b>  | <b>19</b> |
| Приложение № 1  | 20        |
| <b>Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Гидромеханика неоднородных сред»</b>                           | <b>20</b> |
| <b>Примеры заданий для курсового проекта</b>  | <b>21</b> |

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код и наименование компетенции <sup>1</sup>   | Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>  | Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>   |
|---|--|--|
| <b>ОПК-1</b><br>Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности. | <b>ОПК-1.13.</b><br>Способен выполнять технологический расчет машин и аппаратов гидромеханических процессов. | <b>Знать:</b><br>теоретические основы моделирования физических явлений, составляющих предмет дисциплины, и определяющих суть технологического процесса химической технологии (ЗН-1).<br><b>Уметь:</b><br>проводить экспериментальные исследования физико-механических свойств неоднородных сред (У-1).<br><b>Владеть:</b><br>навыками решения задач гидромеханики с использованием итерационных и приближенных методов вычислений (Н-1). |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы<sup>4</sup>.

Дисциплина относится к дисциплинам обязательной части учебного плана (Б1.О.29.) и изучается 5 и 6 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Физика», «Теоретическая механика», «Основы гидромеханики. Насосы, компрессоры, вентиляторы».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Гидромеханика неоднородных систем» знания, умения и навыки необходимы для изучения дисциплин профессионального цикла «Машины и аппараты для процессов тепло- и массопереноса», «Оборудование для очистки сточных вод и утилизации твердых отходов» и могут быть использованы при выполнении курсовых проектов и выпускной квалификационной работы.

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

<sup>4</sup> Место дисциплины будет учитываться при заполнении таблицы 1 в Приложении 1 (Фонд оценочных средств)

### 3. Объем дисциплины.

| Вид учебной работы   | Всего,<br>академических часов |                |                                  |
|--|-------------------------------|----------------|----------------------------------|
|  | Очная форма обучения          |                |                                  |
|  | 5 сем                         | 6 сем          | Всего                            |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц/ академических часов) | 2/72                          | 3/108          | 5/180                            |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                     | <b>56</b>                     | <b>48</b>      | <b>104</b>                       |
| занятия лекционного типа   | 36                            |                | 36                               |
| занятия семинарского типа, в т.ч.  | 18                            | 32             | 50                               |
| семинары, практические занятия   |                               | 32             | 32                               |
| лабораторные работы  | 18                            |                | 18                               |
| курсовое проектирование (КР или КП)  |                               | 16             | 16                               |
| КСР  | 2                             |                | 2                                |
| другие виды контактной работы  |                               |                |                                  |
| <b>Самостоятельная работа</b>  | <b>16</b>                     | <b>24</b>      | <b>40</b>                        |
| <b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)                        | Кр                            |                | Кр                               |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)                 | зачет                         | КП,<br>экзамен | КП,<br>зачет,<br>экзамен<br>(36) |

## 4. Содержание дисциплины.

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

| № п/п              | Наименование раздела дисциплины                            | Занятия лекционного типа, акад. часы | Занятия семинарского типа, академ. часы |                     | Самостоятельная работа, акад. часы | Формируемые компетенции | Формируемые индикаторы |
|--------------------|--|--------------------------------------|---|---------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------|
|                    |  |                                      | Семинары и/или практические занятия     | Лабораторные работы |                                    |                         |                        |
| <b>5-й семестр</b> |  |                                      |   |                     |                                    |                         |                        |
| 1                  | Морфологические и дисперсионные свойства неоднородных сред | 4                                    |   | 18                  |                                    | ОПК-1                   | ОПК-1.13               |
| 2                  | Механика квазигомогенных сред                              | 4                                    |   |                     |                                    |                         |                        |
| 3                  | Движение одиночных частиц.                                 | 8                                    |   |                     | 8                                  |                         |                        |
| 4                  | Взаимопроникающие континуальные среды.                     | 16                                   |   |                     | 8                                  |                         |                        |
| 5                  | Взаимопроникающие структурные среды                        | 2                                    |   |                     |                                    |                         |                        |
| 6                  | Образование дисперсной фазы.                               | 2                                    |   |                     |                                    |                         |                        |
|                    | <b>ИТОГО</b>   | <b>36</b>                            |   | <b>18</b>           | <b>16</b>                          |                         |                        |
| <b>6-й семестр</b> |  |                                      |   |                     |                                    |                         |                        |
| 7                  | Дробление и измельчение твёрдых материалов                 |                                      | 18                                      |                     | 12                                 | ОПК-1                   | ОПК-1.13               |
| 8                  | Механика зернистых сред                                    |                                      | 14                                      |                     | 12                                 |                         |                        |
|                    | <b>ИТОГО</b>   |                                      | <b>32</b>                               |                     | <b>24</b>                          |                         |                        |

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Иновационная форма <sup>5</sup> |
|----------------------|--|-------------------|---------------------------------|
| 1                    | <p><b>Морфологические и дисперсионные свойства неоднородных сред.</b><br/>           Пространственные соотношение долей компонентов и его следствия. Форма и размеры дисперсных частиц. Распределение частиц по размерам. Структура капиллярно-пористых сред.</p> <p>Экспериментальный анализ дисперсных свойств неоднородных сред. Визуальные методы. Рассев. Седиментационные методы. Гидроаэродинамические методы. Методы фильтрации.</p> | 4                 | ЛВ.                             |
| 2                    | <p><b>Квазигомогенные среды.</b><br/>           Феноменологические модели текучих сред. Течение неньютоновских жидкостей. Турбулентное течение неньютоновских жидкостей. Реометрия. Сжимаемость газосодержащих квазигомогенных сред. Истечение газосодержащих сред из отверстий сосудов.</p>   | 4                 | ЛВ                              |
| 3                    | <p><b>Движение одиночных частиц.</b><br/>           Установившееся движение твердых частиц. Влияние формы частиц на их движение. Неустановившееся движение твердых частиц. Движение капель и пузырей газа. Влияние градиента давления в потоке на движение частиц. Обтекание частиц в пристенном слое.</p>   | 4                 | ЛВ, Д                           |
|                      | <p>Сепарация неоднородных систем. Сепарация эмульсий; суспензий и газожидкостных систем. Сепарация в центробежном поле.</p> <p>Конструкция промышленных сепараторов.</p>   | 4                 | ЛВ                              |

<sup>5</sup> **Примеры образовательных технологий, способов и методов обучения** (с сокращениями): традиционная лекция (Л), лекция-визуализация (ЛВ), проблемная лекция (ПЛ), лекция – пресс-конференция (ЛПК), занятие – конференция (ЗК), тренинг (Т), дебаты (Д), мозговой штурм (МШ), мастер-класс (МК), «круглый стол» (КрСт), активизация творческой деятельности (АТД), регламентированная дискуссия (РД), дискуссия типа форум (Ф), деловая и ролевая учебная игра (ДИ, РИ), метод малых групп (МГ), занятия с использованием тренажеров, имитаторов (Тр), компьютерная симуляция (КтСм), использование компьютерных обучающих программ (КОП), интерактивных атласов (ИА), посещение врачебных конференции, консилиумов (ВК), участие в научно-практических конференциях (НПК), съездах, симпозиумах (Сим), учебно-исследовательская работа студента (УИРС), проведение предметных олимпиад (О), подготовка письменных аналитических работ (АР), подготовка и защита рефератов (Р), проектная технология (ПТ), экскурсии (Э), дистанционные образовательные технологии (ДОТ).

| №<br>раздела<br>дисциплины | Наименование темы<br>и краткое содержание занятия  | Объем,<br>акад. часы | Инновационная<br>форма <sup>5</sup> |
|----------------------------|--|----------------------|-------------------------------------|
| 4                          | <p><b>Взаимопроникающие континуальные среды.</b><br/>Уравнения сохранения массы. Уравнения переноса количества движения. Одномерная двухфазная модель. Определение удельной силы межфазного сопротивления.</p>   | 4                    | ЛВ                                  |
|                            | <p>Гидродинамика псевдооживленного слоя. Расчет аппаратов с псевдооживленным слоем.</p>  | 4                    | ЛВ                                  |
|                            | <p>Пневматический транспорт - Принципы расчёта и проектирования установок пневмотранспорта (пневмотранспорт с высокой и низкой концентрацией материала, струйные насосы, камерные и пневмовинтовые питатели, пневморазгрузчики). Аэрожелоба с псевдооживленным слоем.</p>  | 4                    | ЛВ                                  |
|                            | <p>Фильтрация жидкости и газа<br/>Удельная сила межфазного сопротивления при течении жидкости в пористом теле. Постановка фильтрационных задач в капиллярно-пористом теле. Фильтрация газов. Расчет фильтров.</p>  | 4                    | ЛВ                                  |
| 5                          | <p><b>Взаимопроникающие структурные среды.</b> Структуры и режимы течения газожидкостных потоков. Модели газожидкостных потоков.</p>   | 2                    | ЛВ                                  |
| 6                          | <p><b>Образование дисперсной фазы.</b><br/>Полезная и реальная работы диспергирования. Образование капель и пузырей при истечении диспергируемой среды из отверстий. Диспергирование капель и пузырей при обтекании их потоком сплошной среды. Диспергирование капель и пузырей в турбулентном потоке сплошной среды. Форсунки и распылители жидкости.</p> | 2                    | ЛВ                                  |



### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма                                   |
|----------------------|--|-------------------|---|
| 7                    | <b>Дробление и измельчение твёрдых материалов.</b><br>Основные приемы дробления твердых тел.<br>Основные приемы помола твердых тел.<br>Классификация машин для дробления и измельчения.                                | 4                 | Слайд-презентация                                     |
|                      | Дробилки валковые, щёковые, конусные, молотковые, роторные, виброщёковые и конусные инерционные. Особенности конструкции. Основы расчета основных узлов и деталей машин для дробления. Расчет мощности дробилок        | 6                 | Слайд-презентация, Учебный фильм, групповая дискуссия |
|                      | Мельницы для тонкого помола твёрдых материалов. Работа и мощность измельчения. Классификация мельниц.<br>Барабанные мельницы, особенности конструкции. Основы расчета основных узлов и деталей.                        | 4                 | Слайд-презентация, Учебный фильм                      |
|                      | Общие принципы построения технологических комплексов, критерии оптимизации. Разработка технологических схем. Условные обозначения и требования ЕСКД.   | 2                 | Слайд-презентация                                     |
| 8                    | Зернистые среды. Физико-механические свойства зернистых сред.<br>Предельное напряженное состояние зернистой среды. Уравнение статики зернистой среды.<br>Напряжения в зернистой среде.                                 | 4                 | Слайд-презентация                                     |
|                      | Расчет бункеров и силосов.<br>Давление материала на стенки цилиндрического сосуда. Давление материала на конусные части сосудов. Истечение сыпучего материала из отверстий сосудов. Явления сводо- и трубообразования. | 6                 | МК  |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
|                      | Процессы сортировки и перемешивания сыпучих материалов.<br>Основные теории процесса грохочения.<br>Воздушная сепарация порошкообразных материалов. Гидравлическая классификация.<br>Особенности перемешивания сыпучих, низковязких, высоковязких сред. | 6                 | Слайд-презентация   |

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия                       | Объем, акад. часы | Примечание |
|----------------------|--|-------------------|------------|
| 1                    | Микроскопический анализ сыпучих материалов                           | 2                 |            |
| 1                    | Ситовой анализ сыпучих материалов                                    | 2                 |            |
| 1                    | Седиментационный анализ порошков                                     | 2                 |            |
| 1                    | Определение углов внутреннего и внешнего трения зернистого материала | 2                 |            |
| 1                    | Определение удельной поверхности порошка при фильтрации атмосферного | 2                 |            |
| 1                    | Определение компрессионной характеристики порошкообразного           | 2                 |            |
| 4                    | Определение условий псевдооживления зернистого материала             | 2                 |            |
| 8                    | Определение эффективности рассева                                    | 2                 |            |
| 8                    | Определение качества смешения сыпучих материалов.                    | 2                 |            |

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

##### 4.4.1. Темы контрольных задач для самостоятельного выполнения

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля                                    |
|----------------------|--|-------------------|---|
| <b>5 – й семестр</b> |  |                   |   |
| 1                    | Физико-механические свойства зернистых материалов.<br>Оформление отчетов по лабораторным работам, обработка и анализ результатов.                            | 8                 | Защита отчетов                                    |
| 2                    | Контрольная задача № 1.<br>Расчет сепаратора.  | 2                 | Решение контрольных задач в письменном виде       |
| 3                    | Контрольная задача № 2. Расчет аппарата с псевдооживленным слоем.  | 2                 |   |
|                      | Контрольная задача № 3.<br>Расчет вертикального пневмотранспорта   | 2                 |   |
|                      | Контрольная задача № 4.<br>Расчет фильтра для жидкостной суспензии   | 2                 |   |
| <b>6 – й семестр</b> |  |                   |   |
| 6                    | Построение схемы дробильно-сортировочного цеха. Подбор основного и вспомогательного оборудования. Расчет бункеров и силосов для хранения сыпучих материалов. | 24                | Пояснительная записка и чертежи курсового проекта |

#### 4.4.1. Контрольные задачи<sup>6</sup>.

В ходе практических занятий каждый студент решает ряд контрольных задач по всем разделам курса (всего каждому студенту предлагается 4 задачи). Решение задач является обязательным условием допуска к экзамену.

#### Контрольная задача № 1

Рассчитать жалюзийный тонкопленочный осадитель для горизонтального сепаратора для выделения капель дисперсной фазы (воды) из потока сплошной фазы (углеводородной жидкости). Производительность по жидкой фазе  $Q$  м<sup>3</sup>/час, содержание воды – 5 % масс. Граничный размер осаждаемых капель  $\delta = 30$  мкм. Плотность воды принять равной  $\rho_2=1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность сплошной фазы  $\rho_1$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости сплошной фазы при рабочей температуре  $\mu$  Па·сек. Угол наклона пластин  $\alpha=45^\circ$

#### Варианты заданий

| № варианта | Q, м <sup>3</sup> /час | Сплошная фаза |   |                            |
|------------|------------------------|---------------|---|----------------------------|
|            |                        | Наименование  | Плотность<br>$\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup> | Вязкость<br>$\mu$ , Па·сек |
| 1          | 50                     | Диз.топливо   | 840                                       | 0.0006                     |
| 2          | 75                     | Диз.топливо   | 840                                       | 0.0006                     |
| 3          | 100                    | Диз.топливо   | 840                                       | 0.0006                     |
| 4          | 125                    | Диз.топливо   | 840                                       | 0.0006                     |
| 5          | 150                    | Диз.топливо   | 840                                       | 0.0006                     |
| 6          | 50                     | Нефть         | 800                                       | 0.0008                     |
| 7          | 75                     | Нефть         | 800                                       | 0.0008                     |
| 8          | 100                    | Нефть         | 800                                       | 0.0008                     |
| 9          | 125                    | Нефть         | 800                                       | 0.0008                     |
| 10         | 150                    | Нефть         | 800                                       | 0.0008                     |

<sup>6</sup> Пунктами 4.4.1-4.4.5 раскрывается тематика рефератов, творческих заданий, РГР, контрольных работ, эссе и т.д (если предусмотрено РПД).

## Контрольная задача № 2

Определить диаметр аппарата псевдооживленного (взвешенного) слоя силикагеля, его гидравлическое сопротивление, параметры взвешенного слоя (порозность и высоту) при следующих условиях работы аппарата. Расход воздуха (давление – атмосферное, температура – 600С) составляет  $V$  м<sup>3</sup>/час; расход силикагеля  $G$  кг/час; среднее время пребывания частиц в слое  $T$  мин.; число псевдооживления  $K_w$ ; плотность силикагеля 1100 кг/м<sup>3</sup>; насыпная плотность слоя частиц 650 кг/м<sup>3</sup>; ситовой состав частиц силикагеля:

|                  |            |           |          |           |           |
|------------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Фракция, мм      | 0,25 – 0,5 | 0,5 – 1,0 | 1,0 -1,5 | 1,5 - 2,0 | 2,0 – 3,0 |
| Массовая доля, % | 8          | 23        | 26       | 27        | 16        |

Гидравлическим сопротивлением опорной решетки пренебречь.

### Варианты заданий

| № варианта | $V$ , м <sup>3</sup> /час | $G$ , кг/час | $T$ , мин. | $K_w$ |
|------------|---------------------------|--------------|------------|-------|
| 1          | 3500                      | 800          | 8          | 1,4   |
| 2          | 3700                      | 1000         | 9          | 1,5   |
| 3          | 3900                      | 1200         | 10         | 1,6   |
| 4          | 4100                      | 1400         | 12         | 1,7   |
| 5          | 4300                      | 1600         | 14         | 1,8   |
| 6          | 3200                      | 1800         | 8          | 1,3   |
| 7          | 3400                      | 2000         | 10         | 1,4   |
| 8          | 3600                      | 2200         | 12         | 1,5   |
| 9          | 3800                      | 2400         | 14         | 1,6   |
| 10         | 2600                      | 600          | 6          | 1,7   |

### Контрольная задача № 3

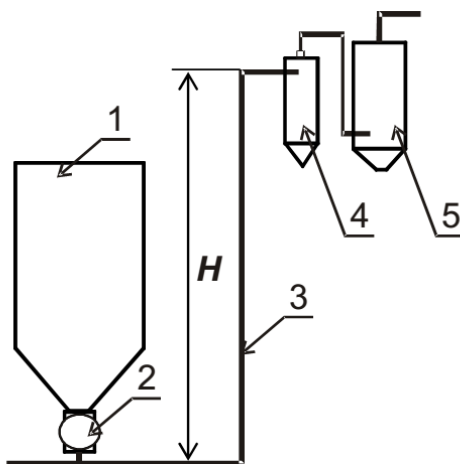
Рассчитать пневмотранспортную систему для подъема материала с плотностью  $\rho$  и размером частиц  $\delta$  производительностью  $Q$  на высоту  $H$ .

Требуется определить:

- 1) Диаметр трубопровода (подобрать стандартную трубу)
- 2) Расход и напор газодутьевой машины
- 3) Подобрать по требуемым параметрам газодутьевую машину (компрессор, вентилятор или газодувку).

#### Варианты заданий

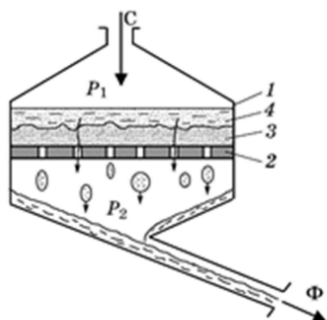
| № варианта | $Q$ , т/ч | $H$ м | $\delta$ , мкм | Материал | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Желательный тип газодутьевой машины |
|------------|-----------|-------|----------------|----------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1          | 8         | 8     | 70             | Гипс     | 1800                       | Вентилятор                          |
| 2          | 10        | 12    | 60             | Гипс     | 1800                       | Вентилятор                          |
| 3          | 15        | 16    | 50             | Гипс     | 1800                       | Компрессор                          |
| 4          | 8         | 16    | 150            | Песок    | 2200                       | Компрессор                          |
| 5          | 10        | 12    | 150            | Песок    | 2200                       | Компрессор                          |
| 6          | 15        | 8     | 100            | Песок    | 2200                       | Компрессор                          |
| 7          | 8         | 25    | 70             | Песок    | 2200                       | Вентилятор                          |
| 8          | 10        | 8     | 50             | Цемент   | 2450                       | Вентилятор                          |
| 9          | 15        | 12    | 40             | Цемент   | 2450                       | Вентилятор                          |
| 10         | 20        | 16    | 40             | Цемент   | 2450                       | Компрессор                          |



1 – бункер, 2 – шлюзовый питатель, 3 – пневмотрасса, 4 – циклон-осадитель, 5 – воздушный фильтр.

## Контрольная задача № 4

В фильтр диаметрами  $D=0.8$  м (см. рис.) с помощью при постоянном давлении  $\Delta P$  подается суспензия с концентрацией частиц  $C_ч$ . Известны: размер частиц  $\delta=50$  мкм, плотность частиц  $\rho_2=2500$  кг/м<sup>3</sup> плотность  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup> и вязкость  $\mu=10^{-3}$  Па·с жидкости, а также пористость осадка  $\varepsilon_{OC}=0.4$ . Осадок несжимаем. Сопротивление фильтрующей подложки  $R_{ФП}=2 \cdot 10^9$  1/м. Определить время, в течение которого высота слоя осадка достигнет значения  $H = 0.5$  м.



### Фильтр периодического действия:

1 – корпус; 2 – проницаемая для жидкой фазы перегородка; 3 – слой осадка; 4 – слой суспензии;  
С – суспензия; Ф – фильтрат

### Варианты заданий

| № варианта | Последняя цифра зачетки | $\Delta P$ , атм | $C_ч$ , г/м <sup>3</sup> | $\delta$ , мкм |
|------------|-------------------------|------------------|--------------------------|----------------|
| 1          | 0                       | 3.0              | 350                      | 50             |
| 2          | 1                       | 2.5              | 370                      | 100            |
| 3          | 2                       | 2.0              | 390                      | 50             |
| 4          | 3                       | 1.5              | 410                      | 100            |
| 5          | 4                       | 3.0              | 430                      | 50             |
| 6          | 5                       | 2.5              | 450                      | 100            |
| 7          | 6                       | 2.0              | 480                      | 50             |
| 8          | 7                       | 1.5              | 500                      | 100            |
| 9          | 8                       | 3.0              | 550                      | 50             |
| 10         | 9                       | 2.5              | 600                      | 100            |

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине в 5-м семестре проводится в форме зачета. Зачет ставится студенту на основании полностью решённых контрольных задач.

Промежуточная аттестация по дисциплине в 6-м семестре проводится в форме защиты КП и экзамена.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля, в том числе защитившие курсовой проект.

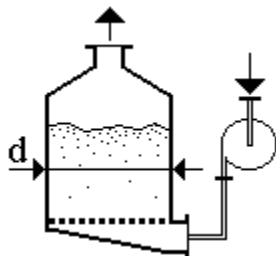
Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется вопросами (заданиями) двух видов: теоретические вопросы (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня вопросов и одну задачу, время подготовки студента к устному ответу - до 45 мин.

Пример варианта экзаменационного билета:

### Экзаменационный билет № 1

1. Феноменологические модели текучих сред. Течение неньютоновских жидкостей на примере течения жидкости типа Шведова-Бингама в цилиндрическом канале.
2. Установившееся движение твердых частиц. Влияние формы частиц на их движение.
3. В аппарат кипящего слоя диаметром  $D=0.6$  м подается воздух вентилятором, причем скорость воздуха в рабочих условиях должна вдвое превышать скорость начала псевдоожижения. Определить высоту кипящего слоя и его гидравлическое сопротивление и расход воздуха, если известны: масса материала  $M=200$  кг; плотность воздуха  $\rho_1=1.25$  кг/м<sup>3</sup> и его вязкость  $\mu=18 \cdot 10^{-6}$  Пас; размер частиц  $\delta=0.1$  мм и их плотность  $\rho_2=2300$  кг/м<sup>3</sup>.



Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1



## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : в 2-х кн. : учебник для химико-технологических специальностей вузов / Ю. И. Дытнерский. - 3-е изд., стер.. - М.: Альянс, 2015. Ч. 1 : Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. - 2015. - 400 с.
2. Романков П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): Учебное пособие для вузов по направлению "Химическая технология и биотехнология" и спец. "Химическая технология" / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. - 3-е изд., испр. - СПб.: Химиздат, 2010. - 543 с.
3. Островский Г. М. Прикладная механика неоднородных сред / Г. М. Островский. - СПб.: Наука, 2000. - 359 с
4. Поникаров И.И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: учебник для вузов по спец. "Машины и аппараты химических производств" направления "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" и спец. "Оборудование и агрегаты нефтегазового производства" / И. И. Поникаров, М. Г. Гайнуллин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Альфа-М, 2006. - 605 с.

### б) электронные учебные издания<sup>7</sup>:

5. Островский Г.М. Разработка установки измельчения твердых материалов: учебное пособие / Г. М. Островский, А. Ю. Иваненко, В. А. Некрасов ; СПбГТИ(ТУ). Каф. оптимизации хим. и биотехнол. аппаратуры. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2013. - 97 с. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 19.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
6. Доманский И. В. Основы гидромеханики : учебное пособие / И. В. Доманский, В. А. Некрасов ; СПбГТИ(ТУ). Каф. оптимизации хим. и биотехнол. аппаратуры. - Электрон. текстовые дан. - СПб.: 2015. - 122 с. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 19.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>
2. Сайт Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) : Информационно-поисковая система - [http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content\\_ru/ru/inform\\_resources/inform\\_retrieval\\_system/](http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/)
3. Строительный портал ВесьБетон - все о строительстве и производстве строительных материалов. - <http://www.allbeton.ru/>

электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;  
«Лань (Профессия)» <https://e.lanbook.com/books/>.

---

<sup>7</sup> В т.ч. и методические пособия

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Гидромеханика неоднородных сред» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 044-2012. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 016-2014. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходиться, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- учебные видеоматериалы;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Microsoft Office (Microsoft Excel) или LibreOffice;  
Пакет прикладных программ MathCad 14.

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

1. Справочно-информационная система поиска нормативных документов <http://gostrf.com/>
2. Строительные нормы и правила - СНИП.РФ. - <http://снип.рф/snip/>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для ведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники, на 15 посадочных мест.

Для проведения лабораторных занятий используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Гидромеханика неоднородных сред»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

| Индекс компетенции | Содержание <sup>8</sup>  | Этап формирования <sup>9</sup> |
|--------------------|--|--------------------------------|
| <b>ОПК-1</b>       | Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности. | промежуточный                  |

<sup>8</sup> **Жирным шрифтом** выделяется та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

<sup>9</sup> Этап формирования компетенции выбирается по п. 2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие)

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.

| Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Показатели сформированности (дескрипторы)   | Критерий оценивания  | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)   |   |  |
|---|---|--|--|---|--|
|   |   |  | «удовлетворительно» (пороговый)  | «хорошо» (средний)  | «отлично» (высокий)  |
| <b>ОПК-1.13.</b><br><b>Способен выполнять технологический расчет машин и аппаратов гидромеханических процессов.</b> | (ЗН-1)<br>Знает: теоретические основы моделирования физических явлений, составляющих предмет дисциплины, и определяющих суть технологического процесса химической технологии. | Ответы на вопросы №№ 1-42<br>Выполнение курсового проекта  | Имеет общее представление о теоретических основах гидромеханики неоднородных сред.   | Имеет знания о теоретических основах гидромеханики неоднородных сред, достаточные для решения конкретных задач. | Имеет представление о теоретических основах гидромеханики неоднородных сред, способен самостоятельно предложить алгоритмы решения задач гидромеханики. |
|   | (У-1)<br>Умеет: проводить экспериментальные исследования физико-механических свойств неоднородных сред.   | Выполнение лабораторных работ                              | Имеет общее представление о лабораторных методах измерения свойств неоднородных сред, не способен самостоятельно выбрать необходимую аппаратуру для измерений. | Умеет проводить исследования физико-механических свойств неоднородных сред по стандартным методикам.            | Умеет самостоятельно выбирать методы и проводить исследования физико-механических свойств неоднородных сред.   |
|   | (Н-1)<br>Владеет: навыками решения задач гидромеханики с использованием итерационных и приближенных методов вычислений.   | Решение контрольных задач,<br>Выполнение курсового проекта | Способен решать задачи гидромеханики только по готовым алгоритмам и методикам.   | Способен выполнять расчеты и проектировать технологическое оборудование для гидромеханических процессов.        | Способен самостоятельно находить оптимальные проектные решения при проектировании технологического оборудования.                                       |

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

если по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачета, то результат оценивания – «зачтено», «не зачтено»;

если по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и (или) курсового проекта (работы), то шкала оценивания – балльная («удовлетворительно », «хорошо», «отлично»).

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.

#### а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенциям:

1. Морфологические и дисперсионные свойства неоднородных сред. Пространственные соотношения долей компонентов и его следствия. Форма и размеры дисперсных частиц.
2. Распределение частиц по размерам. Математическое представление распределения.
3. Структура капиллярно-пористых сред. Пористые среды корпускулярной структуры. Капиллярно-пористые среды.
4. Визуальные методы экспериментального анализа дисперсных свойств неоднородных сред.
5. Ситовой анализ. Формы представления опытных данных
6. Седиментационные методы.
7. Течение неньютоновских жидкостей.
8. Установившееся движение твердых частиц. Влияние формы частиц на их движение.
9. Неустановившееся движение твердых частиц.
10. Движение капель и пузырей газа.
11. Влияние градиента давления в потоке на движение частиц.
12. Сепарация частиц в гравитационном поле
13. Сепарация частиц в центробежном поле
14. Конструкции промышленных сепараторов
15. Взаимопроникающие континуальные среды. Одномерная двухфазная модель.
16. Взаимопроникающие континуальные среды. Определение удельной силы межфазного сопротивления.
17. Моделирование неоднородного псевдооживленного слоя.
18. Расчет аппаратов псевдооживленного слоя.
19. Пневматический транспорт зернистых материалов. Способы организации пневмотранспортных процессов и их аппаратное оформление
20. Пневматический транспорт зернистых материалов. Расчет вертикальных участков пневмотранспорта.
21. Аэрожелобы. Особенности конструкции, область применения. Расчет основных технологических параметров.
22. Фильтрация в недеформируемой пористой среде.
23. Удельная сила межфазного сопротивления при течении жидкости в пористом теле.
24. Фильтрация газов.
25. Расчет промышленных фильтров
26. Структуры и режимы течения газожидкостных потоков. Модели газожидкостных потоков. Газосодержание вертикальных газожидкостных потоков.
27. Образование дисперсной фазы. Полезная и реальная работы диспергирования.
28. Диспергирование капель и пузырей в турбулентном потоке сплошной среды.
29. Виды дробления и измельчения материалов. Классификация пород, виды дробления, степень измельчения, работа на дробление.
30. Классификация дробилок. Достоинства и недостатки, области применения.
31. Щековые дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.
32. Валковые дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.
33. Конусные дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.
34. Молотковые дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.
35. Роторные дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.
36. Виброщековые дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.

37. Конусные инерционные дробилки. Принцип действия и особенности конструкции.
38. Шаровые барабанные мельницы сухого помола. Режимы работы. Конструкция.
39. Шаровые барабанные мельницы мокрого помола. Режимы работы. Конструкция.
40. Особенности конструкции грохотов – качающихся, вибрационных, гирационных.
41. Складирование и дозировка сыпучих материалов. Питатели и дозаторы, особенности конструкции, область применения.
42. Расчет бункеров и силосных складов. Расчет напряжений в стенках бункера.

#### 4. Курсовой проект.

Курсовой проект состоит из:

- 1) Общая часть - разработка технологической схемы установки измельчения твердых материалов и выбор основного и вспомогательного оборудования
- 2) Индивидуальное задание - технического проекта одного из машин или аппаратов, входящего в разработанную технологическую схему установки измельчения.

Расчетно-пояснительная записка (объемом 15-20 страниц машинописного текста) содержит обоснованный оценочным расчетом выбор технологического оборудования элементов технологической схемы, полный технологический расчет одного из аппаратов (машины) и прочностной расчет одного из элементов проектируемого аппарата (машины).

Графический материал (в объеме 2-х листов формата А1) содержит технологическую схему и чертежи общего вида разрабатываемого аппарата (машины).

Курсовой проект сводится к выбору основного оборудования – машин для измельчения твердого материала с заданными свойствами и вспомогательного оборудования – то есть обеспечение выбранного основного оборудования транспортными и дозирующими средствами, сосудами для складирования и промежуточного накопления материала, классификаторами, грохотами и сепараторами, пылеулавливающей и водоочистой аппаратурой.

Выбор машин и аппаратов установки измельчения обуславливается технологическим расчетом и завершается составлением технологической схемы. При составлении технологической схемы относительное расположение оборудования производится студентом произвольно (однако с учетом их габаритных размеров и того, что все самое тяжелое оборудование (дробилки, мельницы) должны находиться на одном уровне). Это связано с тем, что привязка оборудования к конкретной площадке требует составления монтажного чертежа, что не входит в рамки данной работы.

После выбора основного оборудования студент должен рассчитать и выбрать вспомогательное оборудование для схемы измельчения твердых материалов, к которым относятся питатели и дозаторы, конвейеры, элеваторы и циклоны.

В графическую часть, выполняемую в рамках технического проекта, входит принципиальная схема установки измельчения.

**Индивидуальное задание.** После построения принципиальной схемы установки измельчения каждый студент получает индивидуальное задание – разработка технического проекта одного из аппаратов или машины из технологической схемы. Индивидуальное задание включает в себя технологический расчет заданного аппарата, прочностной расчет основных узлов и деталей и разработку чертежа общего вида аппарата (формата А1).

**Примеры заданий для курсового проекта  
«Разработка технологической схемы дробильно-сортировочного завода»**

| №  | Материал                 | $Q_m$ , т/ч | $\delta_{н. max}$ , м | $\delta_{к max}$ ,<br>мкм | $R(\delta_n)$ | Помол  |
|----|--------------------------|-------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--------|
| 1  | Гипсовый камень          | 80          | 0,8                   | 70                        | 1             | сухой  |
| 2  | Гипсовый камень          | 40          | 0,8                   | 70                        | 2             | сухой  |
| 3  | Гипсовый камень          | 120         | 0,5                   | 80                        | 1             | сухой  |
| 4  | Гранит выс. плотности    | 50          | 0,8                   | 100                       | 2             | мокрый |
| 5  | Гранит ср. плотности     | 50          | 0,8                   | 100                       | 3             | сухой  |
| 6  | Гранит низ. плотности    | 50          | 0,8                   | 80                        | 1             | мокрый |
| 7  | Гранит выс. плотности    | 25          | 1                     | 100                       | 2             | мокрый |
| 8  | Гранит ср. плотности     | 50          | 1                     | 80                        | 3             | сухой  |
| 9  | Гранит низ. плотности    | 80          | 1                     | 150                       | 1             | сухой  |
| 10 | Мрамор ср. прочности     | 200         | 0,5                   | 50                        | 3             | мокрый |
| 11 | Гипсовый камень          | 50          | 0,8                   | 100                       | 1             | мокрый |
| 12 | Гипсовый камень          | 200         | 0,6                   | 150                       | 3             | мокрый |
| 13 | Известняк выс. плотности | 100         | 0,5                   | 50                        | 1             | сухой  |
| 14 | Известняк выс. плотности | 50          | 1                     | 90                        | 1             | мокрый |
| 15 | Мел                      | 100         | 1,1                   | 50                        | 3             | сухой  |
| 16 | Мел                      | 120         | 1                     | 40                        | 2             | сухой  |
| 17 | Мел                      | 150         | 0,9                   | 60                        | 1             | мокрый |
| 18 | Мел                      | 200         | 0,8                   | 70                        | 3             | мокрый |
| 19 | Известняк выс. плотности | 100         | 0,5                   | 50                        | 1             | сухой  |
| 20 | Известняк выс. плотности | 50          | 1                     | 90                        | 1             | мокрый |

$Q_m$  – производительность установки;

$\delta_{н. max}$  – максимальный размер кусков в исходном продукте;

$\delta_{к max}$  – максимальный размер частиц в конечном продукте;

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше и задачу.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 45 мин.

**5. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.