

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Каракозов А.А.

(подпись)

03 20 23 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.05 Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии**

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки: 18.03.01 Химическая технология  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность (профиль): Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов  
(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа: бакалавриат  
(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения: очная, заочная  
(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения:	Очная	Заочная
Семестр(ы)	5	5
Общая трудоёмкость в з.е./часах	4 / 144	4 / 144
Контактная работа (час.), в том числе:	70	12
лекции (час.)	34	6
лабораторные работы (час.)	34	6
практические (семинарские) занятия (час.)	0	0
Самостоятельная работа (час.), в том числе:	74	132
курсовой проект (работа) (семестр/час.)		
Контроль (экзамен, час./зачёт)	зачет, 0	зачет, 0

Донецк, 2023 г.


Рабочая программа дисциплины «Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии» составлена в соответствии с учебными планами по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология (Направленность (профиль) – Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов) для 2023 года приёма по очной и заочной формам обучения.

Составитель:

Доцент каф. ХТТ, к.т.н., доц.  Веретельник С.П.  
(подпись)

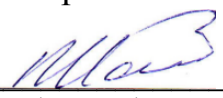
Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Химическая технология топлива».

Протокол от «17» марта 2023 года № 8

Заведующий кафедрой  Дедовец И.Г.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

Протокол от «24» марта 2023 года № 3

Председатель  Шаповалов В.В.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Химическая технология топлива».

Протокол от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Химическая технология топлива».

Протокол от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

## **1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью преподавания дисциплины является: подготовить будущих специалистов к пониманию основных законов механики твердых дискретных материалов, проявляющихся в химических аппаратах при их эксплуатации, привить интерес к вопросам поведения материалов в оборудовании

В результате освоения дисциплины студент должен **знать:**

- основные законы механики сыпучих материалов(статики, кинематики и динамики), применительно к поведению в химической аппаратуре,
- особые условия работы химической аппаратуры и их влияние на свойства объектов,
- наиболее типичные нагрузки, действующие на материалы - типовые расчетные схемы
- прочностные свойства материалов и их проявление при работе аппаратуры,
- нормативную документацию отрасли

**уметь:**

- составлять расчетные схемы поведения дискретных материалов, с учетом действующих сил
- подбирать материалы с учетом условий работы аппаратов и

**владеть:**

навыками анализа нагрузок, действующих на материалы в аппаратах,

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

ПК-1 - Способен организовывать коксование угольной шихты, тушение и рассев кокса

## **2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ**

Дисциплина относится к части по выбору участников образовательных отношений Блока 1 дисциплин (модулей) учебного плана.

Базируется на знаниях, умениях и навыках, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: Введение в специальность, Высшая математика, Физика, Прикладная механика химического оборудования, Дисперсные системы и поверхностные явления, Процессы и

аппараты химической технологии, Материаловедение и химические технологии.

Знания, умения и навыки, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при изучении последующих дисциплин (Основы технологии переработки природных энергоносителей, Проектирование производств химической технологии, Системы управления химико-технологическими процессами, Оборудование химических цехов,), прохождении учебной или производственных практик, прохождении государственной итоговой аттестации.

### 3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

Наименование темы (содержательных модулей)	Количество часов				
	Всего	В том числе			
		Лекции	Лабор	Практ. (Семин.)	СР
Тема 1. Структура и структурные связи твердых дисперсных сред	7 / 9	2 / 1	0 / 0	0 / 0	5 / 8
Тема 2. Теория напряжений и деформаций	13 / 8	4 / 0	0 / 0	4 / 0	5 / 8
Тема 3. Основные закономерности механики и реологии твердых дисперсных тел	9 / 8	4 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 8
Тема 4. Общие уравнения процесса деформирования твердых дисперсных сред давлением	11 / 10	2 / 1	0 / 0	4 / 0	5 / 9
Тема 5. Прокатка сыпучих материалов	7 / 9	2 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 9
Тема 6. Теория прессования сыпучих материалов	8 / 9	2 / 0	0 / 0	0 / 0	6 / 9
Тема 7. Послойное прессование	7 / 9	2 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 9

Тема 8. Шнекование сыпучих материалов	7 / 9	2 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 9
Тема 9. Клиновое прессование сыпучих материалов	15 / 10	2 / 0	0 / 0	8 / 2	5 / 8
Тема 10. Волочение сыпучих материалов	7 / 9	2 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 9
Тема 11. Движение сыпучего материала в транспортирующих и технологических устройствах	11 / 9	2 / 0	0 / 0	4 / 0	5 / 9
Тема 12. Движение ожиженных твердых дисперсных систем	13 / 9	2 / 0	0 / 0	6 / 0	5 / 9
Тема 13. Механика твердых дисперсных сред при динамическом воздействии	7 / 9	2 / 0	0 / 0	0 / 0	5 / 9
Тема 14. Спекание пористых тел	15 / 9	2 / 0	0 / 0	8 / 0	5 / 9
Тема 15. Затрачиваемая энергия и теплопередача при компактировании сыпучих материалов давлением	7 / 9				5 / 9
Индивидуальное задание	0 / 9				0 / 9
Курсовая работа (проект)	0				0
Итого по видам занятий	144 / 144	34 / 2	0 / 0	34 / 2	76 / 140
Контроль	0				
<b>ИТОГО:</b>	<b>144</b>				

**Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины**

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на формирование компетенции
ПК-1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

### 3.2 Лекции

Тема 1. Структура и структурные связи твердых дисперсных сред  
Содержание темы 1:

Состав и строение твердых дисперсных сред. Компоненты структуры. Форма и размеры твердых частиц. Гранулометрический состав. Сыпучесть порошкообразных материалов. Взаимодействие между частицами. Силы взаимодействия между твердыми частицами. Твердые мостики между частицами. Соединения за счет связующего. Механические связи между частицами. Механизм компактирования давлением сыпучих материалов. Самоупрочнение прессованных материалов. Текстура сыпучих материалов. Анизотропия пористого тела. Анизотропия свойств монокристаллов. Анизотропия свойств пористых прессованных изделий. Различие в сопротивлении пористых тел сжатию и растяжению. Физические свойства сыпучих материалов. Плотность сыпучих материалов. Влажность сыпучих материалов. Тепловые свойства сыпучих материалов.

Литература к теме 1: [\[1\]](#)

Тема 2. Теория напряжений и деформаций Содержание  
темы 2:

Непрерывный континуум и понятие о сплошной среде. Напряженно-деформированное состояние в точке. Компоненты напряжений и деформаций. Изменение формы и объема. Разложение тензоров напряжений и деформаций. Инварианты тензоров напряжений, деформаций и скоростей деформаций. Основные дифференциальные уравнения механики сплошных сред. Уравнения неразрывности. Уравнения переноса импульса. Уравнения переноса энергии и вещества.

Литература к теме 2: [\[1\]](#)

### Тема 3. Основные закономерности механики и реологии твердых дисперсных тел

#### Содержание темы 3:

Общие закономерности деформирования дисперсных тел давлением. Реологические свойства сыпучих материалов и пористых тел. Уравнения объемного сжатия. Вязкоупругие явления при уплотнении порошкообразных материалов. Релаксация напряжений в твердых дисперсных телах. Предельное состояние твердых дисперсных сред. Условие предельного равновесия. Методика определения параметров предельного состояния дисперсных тел. Влияние плотности связных сред на параметры предельного состояния. Влияние температуры на параметры предельного состояния. Внутреннее трение материалов в насыпном состоянии. Уравнения предельного напряженного состояния. Контактные силы внешнего трения и адгезионные свойства сыпучих материалов. Коэффициент внешнего трения скольжения. Методика определения коэффициента внешнего трения скольжения. Влияние основных технологических факторов на величину контактного трения. Адгезионные свойства сыпучих материалов. Инвариантное представление зависимости плотности дисперсного материала от среднего нормального напряжения и удельной потенциальной энергии. Механическая работа в процессе компактирования сыпучих материалов давлением.

#### Литература к теме 3: [1]

### Тема 4. Общие уравнения процесса деформирования твердых дисперсных сред давлением Содержание темы 4:

Основные уравнения при деформировании сыпучих материалов давлением. Плоское напряженно-деформированное состояние. Осесимметричное напряженное состояние. Решение уравнений методом линий скольжения. Плоская задача предельного равновесия. Осесимметричная задача предельного равновесия. Виды полей скольжения и приближенное очертание линий скольжения. Решение задач равновесия с использованием упрощенных уравнений предельного состояния. Литература к теме 4: [1]

## Тема 5. Прокатка сыпучих материалов Содержание темы 5:

Качественная характеристика процессов при прокатке. Сыпучесть порошкообразных материалов при прокатке. Влияние газовой фазы на уплотнение порошкообразных материалов в валковых прессах. Минимальная и максимальная скорости прокатки. Производительность валковых прессов. Напряженное состояние материала при прокатке. Контактные давления при прокатке. Геометрические параметры зоны деформирования. Аналитическое определение напряжений при прокатке. Результирующее давление, вращающий момент и потребляемая энергия при прокатке порошкообразных материалов. Методика расчета плотности и толщины плитки. Выражения для расчета угловых параметров зоны деформирования валковых прессов.

Пример расчета основных параметров процесса прокатки порошкообразных материалов.

### Литература к теме 5: [1]

## Тема 6. Теория прессования сыпучих материалов

### Содержание темы 6:

Способы прессования. Прессование в замкнутой матрице. Послойное прессование. Формование изделий распрессовкой. Расчет напряжений и деформаций при прессовании в замкнутой матрице. Зависимость между давлением прессования и плотностью изделия. Распределение напряжений и плотности в брикетах при одностороннем прессовании. Расчет напряжений и плотности в брикетах при двухстороннем прессовании. Расчет силовых параметров процесса компактирования сыпучих материалов на роторных прессах. Внутренние остаточные напряжения. Гидростатическое (изостатическое) прессование. Схемы гидростатического прессования. Расчет напряжений и плотности в изделиях при гидростатическом прессовании. Проходное прессование. Принципиальная схема проходного прессования. Распределение плотности по объему изделия. Теория проходного прессования. Влияние воздуха в процессе прессования. Оценка газодинамического эффекта при уплотнении порошков в замкнутой матрице. Влияние воздуха в процессе гидростатического прессования.

Литература к теме 6: [1]



## Тема 7. Послойное прессование

### Содержание темы 7:

Качественные особенности деформирования твердого дисперсного материала при послойном (порционном) прессовании. Теория прессования инструментом с плоским торцом. Теория прессования инструментом с коническим торцом. Вдавливание конического штампа в пористое тело. Вдавливание штампа в пористое тело, заполняющее коническую оболочку. Вдавливание штампа в пористое тело, заполняющее цилиндрическую оболочку.

Литература к теме 7: [\[1\]](#)

## Тема 8. Шнекование сыпучих материалов

### Содержание темы 8:

Общие сведения и особенности процесса шнекового заполнения оболочек сыпучим материалом. Краткое описание процесса шнекования сыпучих материалов. Качественный анализ явлений при шнековании. Теория компактирования сыпучих материалов давлением в процессе шнекования. Расчет производительности шнек-аппарата. Устойчивость процесса шнекования. Энергетические характеристики процесса шнекования. Проходное (экструзионное) шнекование сыпучих материалов. Общий анализ процесса проходного шнекования. Теория транспортировки сыпучих материалов в канале шнека. Силовые и энергетические параметры проходного шнекования.

Литература к теме 8: [\[1\]](#)

## Тема 9. Клиновое прессование сыпучих материалов

### Содержание темы 9:

Качественная характеристика процессов при клиновом прессовании. Определение контактных напряжений вдоль поверхности клинового зазора. Распределение контактных напряжений в зоне уплотнения. Распределение контактных напряжений в зоне выдавливания. Результирующие усилия давления и трения на поверхности клина. Экспериментальное исследование процесса клинового прессования сыпучих материалов.

Литература к теме 9: [\[1\]](#)

## Тема 10. Волочение сыпучих материалов

### Содержание темы 10:

Особенности процесса волочения сыпучих материалов. Определение контактных напряжений при волочении Распределение напряжений в зоне уплотнения Распределение контактных напряжений в зоне выдавливания Определение усилия волочения. Приближенные методы решения. Литература к теме 10: [\[1\]](#)

## Тема 11. Движение сыпучего материала в транспортирующих и технологических устройствах

### Содержание темы 11:

Транспортирующие устройства для сыпучих материалов. Истечение сыпучего материала из емкостей и бункеров Свободное истечение сыпучего материала. Пульсационные явления в процессе истечения сыпучего материала. Истечение сыпучего материала под действием побудителей потока Истечение сыпучих материалов из бункеров со шнековыми питателями Истечение сыпучего материала при действии вибрации Истечение сыпучего материала при газодинамическом воздействии. Движение сыпучего материала в трубчатых питателях и машинах барабанного типа Общие представления и классификация устройств, Характерные особенности движения сыпучего материала во вращающихся барабанах и трубах Расчет основных технологических параметров. Литература к теме 11: [\[1\]](#)

## Тема 12. Движение ожиженных твердых дисперсных систем

### Содержание темы 12:

Общие вопросы механики ожиженных твердых дисперсных систем. Транспортные устройства с механическим псевдооживлением сыпучего материала Трубчатые питатели с механическим оживлением сыпучего материала Физико-механические и реологические характеристики ожиженных твердых дисперсных материалов Шнековые питатели с механическим оживлением сыпучего материала. Пневматические транспортные системы с твердой фазой Пневмотранспортные системы в разбавленной фазе Пневмотранспортные системы в плотной фазе.

### Литература к теме 12: [1]

Тема 13. Механика твердых дисперсных сред при динамическом воздействии

#### Содержание темы 13:

Общие сведения о динамических воздействиях на твердые дисперсные среды Виды динамических нагрузок Основные закономерности воздействия упругих колебаний на процесс компактирования твердых дисперсных материалов Факторы, влияющие на процесс вибрационного уплотнения Влияние упругих колебаний на физико-механические свойства порошкообразных материалов в процессе компактирования давлением. Теория волнового уплотнения твердых дисперсных сред Волновые явления при динамическом деформировании твердых дисперсных сред Скорость распространения волн в твердых пористых телах Вдавливание пуансона в упругое полупространство при вибрационном воздействии Энергия колебаний Распределение волн в упругом полупространстве при вдавливании вибрирующего штампа. Теория вибрационного прессования твердых дисперсных сред Динамические вибрационные системы Вибрационные системы с принудительным приводом. Теория виброударного и ударного уплотнения твердых дисперсных сред Параметрический анализ виброударных механизмов Механика виброударного уплотнения твердых дисперсных сред Механика ударного уплотнения твердых дисперсных сред при действии вынуждающей силы.

### Литература к теме 13: [1]

#### Тема 14. Спекание пористых тел Содержание темы 14:

Основные процессы, происходящие при спекании в твердой фазе Поверхностная и объемная диффузия Ползучесть кристаллических тел Кинетика объемного деформирования Рекристаллизация при спекании Перенос вещества через газовую фазу. Спекание с участием газовой и жидкой фаз Атмосфера и активация процесса спекания Спекание с участием жидкой фазы Спекание под давлением. Механические свойства спеченных изделий из порошкообразных материалов Пористые материалы Фрикционные материалы Электротехнические материалы Магнитные

металлокерамические материалы Конструкционные материалы  
Высокотемпературные материалы Твердые сплавы.

Литература к теме 14: [\[1\]](#)

Тема 15. Затрачиваемая энергия и теплопередача при компактировании сыпучих материалов давлением Содержание темы 15:

Обобщенные энергетические характеристики при формировании изделий из сыпучих материалов механическими способами. Теплопередача при компактировании сыпучих материалов давлением Основные понятия и уравнения Стационарное тепловое поле при действии тепловых источников Нестационарное тепловое поле при действии поверхностных тепловых источников.

Литература к теме 15: [\[1\]](#)

### 3.3 Практические (семинарские) занятия

В учебном плане не запланировано.

### 3.4 Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час.	Литера тура
1	Определение плотностных и структурных характеристик дискретных материалов	4 / 2	<a href="#">[3]</a>
2	Сдвиговые испытания при давлениях до 0,1 МПа	4 / 2	<a href="#">[3]</a>
3	Сдвиговые испытания при давлениях до 100 МПа	8 / 0	<a href="#">[3]</a>
4	Определение связности	4 / 0	<a href="#">[3]</a>
5	Определение параметров кривой предельного равновесия по пределам прочности на сжатие и растяжение	6 / 0	<a href="#">[3]</a>
6	Компрессионные и комплексные испытания шихты и брикетов	8 / 2	<a href="#">[3]</a>
<b>ИТОГО:</b>		34/6	

### 3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час.
1	Изучение лекционного материала	44 / 90
2	Подготовка к практическим занятиям	0 / 0
3	Подготовка к лабораторным работам	30 / 40
4	Выполнение курсового проекта	0 / 0
5	Выполнение курсовой работы	0 / 0
<b>ИТОГО:</b>		<b>74 / 132</b>

### 3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

В учебном плане индивидуальных заданий, курсовых проектов и работ не запланировано

## 4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

*Составляющая компетенции – полнота знаний*

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;

- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

#### *Составляющая компетенции – умения*

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;
- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу.
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой опыт.

#### *Составляющая компетенции – владение навыками*

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;
- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;

- **средний уровень:** владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- **продвинутый уровень:** владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- **высокий уровень:** владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

#### *Обобщенная оценка сформированности компетенций*

- **нулевой уровень:** на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- **минимальный уровень:** на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- **пороговый уровень:** на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- **средний уровень:** на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- **продвинутый уровень:** на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;
- **высокий уровень:** на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

## **4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета**

### **Вопросы к экзамену:**

1. Силы взаимодействия между твердыми частицами.
2. Твердые мостики между частицами.
3. Соединения за счет связующего.
4. Механические связи между частицами.
5. Механизм компактирования давлением сыпучих материалов.
6. Самоупрочнение прессованных материалов.
7. Текстура сыпучих материалов.
8. Анизотропия пористого тела.
9. Анизотропия свойств монокристаллов.

10. Анизотропия свойств пористых прессованных изделий.
11. Различие в сопротивлении пористых тел сжатию и растяжению.
12. Физические свойства сыпучих материалов.
13. Плотность сыпучих материалов.
14. Влажность сыпучих материалов.
15. Тепловые свойства сыпучих материалов.
16. Непрерывный континуум и понятие о сплошной среде.
17. Напряженно-деформированное состояние в точке.
18. Компоненты напряжений и деформаций.
19. Изменение формы и объема.
20. Разложение тензоров напряжений и деформаций.
21. Инварианты тензоров напряжений, деформаций и скоростей деформаций.
22. Основные дифференциальные уравнения механики сплошных сред.
23. Уравнения неразрывности.
24. Уравнения переноса импульса.
25. Уравнения переноса энергии и вещества.
26. Общие закономерности деформирования дисперсных тел давлением.
27. Реологические свойства сыпучих материалов и пористых тел.
28. Уравнения объемного сжатия.
29. Вязкоупругие явления при уплотнении порошкообразных материалов.
30. Релаксация напряжений в твердых дисперсных телах.
31. Предельное состояние твердых дисперсных сред.
32. Условие предельного равновесия.
33. Методика определения параметров предельного состояния дисперсных тел.
34. Влияние плотности связных сред на параметры предельного состояния.
35. Влияние температуры на параметры предельного состояния.
36. Внутреннее трение материалов в насыпном состоянии.
37. Уравнения предельного напряженного состояния.
38. Контактные силы внешнего трения и адгезионные свойства сыпучих материалов.
39. Коэффициент внешнего трения скольжения.
40. Методика определения коэффициента внешнего трения скольжения.



41. Влияние основных технологических факторов на величину контактного трения.
42. Адгезионные свойства сыпучих материалов.
43. Инвариантное представление зависимости плотности дисперсного материала от среднего нормального напряжения и удельной потенциальной энергии.
44. Механическая работа в процессе компактирования сыпучих материалов давлением.
45. Основные уравнения при деформировании сыпучих материалов давлением.
46. Плоское напряженно-деформированное состояние.
47. Осесимметричное напряженное состояние.
48. Решение уравнений методом линий скольжения.
49. Плоская задача предельного равновесия.
50. Осесимметричная задача предельного равновесия.
51. Виды полей скольжения и приближенное очертание линий скольжения.
52. Решение задач равновесия с использованием упрощенных уравнений предельного состояния.
53. Качественная характеристика процессов при прокатке.
54. Сыпучесть порошкообразных материалов при прокатке.
55. Влияние газовой фазы на уплотнение порошкообразных материалов в валковых прессах.
56. Минимальная и максимальная скорости прокатки.
57. Производительность валковых прессов.
58. Напряженное состояние материала при прокатке.
59. Контактные давления при прокатке.
60. Геометрические параметры зоны деформирования.
61. Аналитическое определение напряжений при прокатке.
62. Результирующее давление, вращающий момент и потребляемая энергия при прокатке порошкообразных материалов.
63. Методика расчета плотности и толщины плитки.
64. Выражения для расчета угловых параметров зоны деформирования валковых прессов.
65. Пример расчета основных параметров процесса прокатки порошкообразных материалов.

66. Способы прессования.
67. Прессование в замкнутой матрице.
68. Послойное прессование.
69. Формование изделий распрессовкой.
70. Расчет напряжений и деформаций при прессовании в замкнутой матрице.
71. Зависимость между давлением прессования и плотностью изделия.
72. Распределение напряжений и плотности в брикетах при одностороннем прессовании.
73. Расчет напряжений и плотности в брикетах при двухстороннем прессовании.
74. Расчет силовых параметров процесса компактирования сыпучих материалов на роторных прессах.
75. Внутренние остаточные напряжения.
76. Гидростатическое (изостатическое) прессование.
77. Схемы гидростатического прессования.
78. Расчет напряжений и плотности в изделиях при гидростатическом прессовании.
79. Проходное прессование.
80. Принципиальная схема проходного прессования.
81. Распределение плотности по объему изделия.
82. Теория проходного прессования.
83. Влияние воздуха в процессе прессования.
84. Оценка газодинамического эффекта при уплотнении порошков в замкнутой матрице.
85. Влияние воздуха в процессе гидростатического прессования.
86. Качественные особенности деформирования твердого дисперсного материала при послойном (порционном) прессовании.
87. Теория прессования инструментом с плоским торцом.
88. Теория прессования инструментом с коническим торцом.
89. Вдавливание конического штампа в пористое тело.
90. Вдавливание штампа в пористое тело, заполняющее коническую оболочку.
91. Вдавливание штампа в пористое тело, заполняющее цилиндрическую оболочку.

92. Качественные особенности деформирования твердого дисперсного материала при послойном (порционном) прессовании.
93. Теория прессования инструментом с плоским торцом.
94. Теория прессования инструментом с коническим торцом.
95. Вдавливание конического штампа в пористое тело.
96. Вдавливание штампа в пористое тело, заполняющее коническую оболочку.
97. Вдавливание штампа в пористое тело, заполняющее цилиндрическую оболочку.
98. Особенности процесса волочения сыпучих материалов.
99. Определение контактных напряжений при волочении Приближенные методы решения.
100. Транспортирующие устройства для сыпучих материалов.
101. Истечение сыпучего материала из емкостей и бункеров Свободное истечение сыпучего материала.
102. Пульсационные явления в процессе истечения сыпучего материала.
103. Истечение сыпучего материала под действием побудителей потока
104. Движение сыпучего материала в трубчатых питателях и машинах барабанного типа
105. Общие вопросы механики оживленных твердых дисперсных систем.
106. Транспортные устройства с механическим псевдооживлением сыпучего материала
107. Пневматические транспортные системы с твердой фазой
108. Общие сведения о динамических воздействиях на твердые дисперсные среды
109. Теория волнового уплотнения твердых дисперсных сред
110. Теория виброударного и ударного уплотнения твердых дисперсных сред
111. Основные процессы, происходящие при спекании в твердой фазе
112. Спекание с участием газовой и жидкой фаз Атмосфера и активация процесса спекания
113. Механические свойства спеченных изделий из порошкообразных материалов

**Пример экзаменационного билета:**

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Программа подготовки: бакалавриат

Направление: 18.03.01 «Химическая технология»

Специальность: Химическая технология природных энергоносителей и  
углеродных материалов

Семестр: 6

Учебная дисциплина: Механика твердых дисперсных сред в процессах химической  
технологии

**БИЛЕТ № 11**

1. Основные процессы, происходящие при спекании в твердой фазе 2.  
Адгезионные свойства сыпучих материалов.
3. Общие закономерности деформирования дисперсных тел давлением.

Утверждено на заседании кафедры Химической технологии топлива,  
протокол №\_от ..... 20 \_\_\_\_г.

Зав. кафедрой Дедовец И.Г.

Экзаменатор Веретельник С.П.

### 4.3 Критерии оценивания

Оценивание уровня освоения студентом учебного материала дисциплины «Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии» производится в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации (семестрового контроля).

**Текущий контроль** знаний студента осуществляется по результатам практических занятий, выполнения индивидуального задания, студента заочной формы обучения – по результатам выполнения контрольной работы. Выполнение заданий на практических занятиях, выполнение индивидуального задания (контрольной работы), предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1. Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
----------------	-----------------------------	------------

Отчёт о выполнении лабораторной работы.	6	Работа выполнена и оформлена правильно, обосновано, приведен анализ полученного результата. Студент правильно отвечает на поставленные вопросы
	4	Работа выполнена и оформлена в целом правильно, анализ не полный, возникли трудности в объяснении полученных результатов

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
<b>Итого по лабораторным занятиям и (максимально возможное)</b>	<b>48</b>	Из расчёта 6 лабораторных работ. Оценивается каждая работа.
<b>ИТОГО</b>	<b>48</b>	Максимально возможное

**Промежуточная аттестация** по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена в соответствии с «Положением об организации учебного процесса в Донецком национальном техническом университете», утвержденном приказом ДОННТУ от 02.05.2018г. № 337-14. Форма проведения экзамена – письменная. Экзаменационный билет включает в себя 2 теоретических вопроса и задачу. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 2.

Максимальное количество баллов за ответ на вопрос экзаменационного билета засчитывается студенту в случае, если ответ подтверждает владение студентом знаниями в полном объеме учебной программы, материал изложен в логической последовательности с выделением главного, содержит точные формулировки, сопровождается иллюстрирующими схемами и рисунками (при необходимости).

В случае, если ответ на вопрос не в полной мере отвечает приведенным требованиям, студенту засчитывается количество баллов, равное 5. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос студент получает 0 баллов.

Таблица 2 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля	Максимально возможное количество баллов
----------------	---

Ответ на вопросы экзаменационного билета	вопрос 1	17
	вопрос 2	17
	вопрос 3	18
<b>ИТОГО</b>		<b>52</b>

**Итоговая оценка** определяется путем суммирования количества баллов по результатам текущего контроля и количества баллов по результатам опроса на зачете. **Максимально возможное количество баллов – 100.** Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	Удовлетворительно
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно
0-34	F*	

\* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

#### 4.4 Пример текущего опроса на лабораторных работах

На примере лабораторной работы «Определение параметров кривой предельного равновесия по пределам прочности на сжатие и растяжение»:

1. Когда наступает разрушение материала согласно теории Мора?
2. Как графически строятся круги напряжения Мора?
3. Что показывает кривая предельного равновесия?
4. Как определяется предел прочности на сжатие?
5. Как определяется предел прочности на расширение?

#### 4.5 Курсовое проектирование

Учебным планом курсовое проектирование не запланировано

## 5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

## **I. Основная литература**

1. Техника и технологии переработки сыпучих материалов : учебное пособие / И.Н. Шубин [и др.]. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 86 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/64590.html> (дата обращения: 12.09.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

## **II. Дополнительная литература**

2. Ильина Т.Н. Процессы агломерации в технологиях переработки дисперсных материалов : монография / Ильина Т.Н.. — Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 231 с. — ISBN 978-5-4497-0255-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/88463.html> (дата обращения: 12.09.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/88463>

## **6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:**

3. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 "Химическая технология" всех форм обучения / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. хим. технологии топлива ; сост.: С. П. Веретельник, С. И. Аввакумов. - 1 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2022. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. URL: <http://ed.donntu.ru/books/22/m7827.pdf>

4. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине "Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 18.05.01 "Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий" всех форм обучения / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. хим. технологии топлива ; сост.: И. Г. Дедовец, С. П. Веретельник. - 316 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2022. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. URL: <http://ed.donntu.ru/books/22/m7830.pdf>

### **Электронно-информационные ресурсы**

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.org/library>

## **7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Учебная аудитория №7.405, учебный корпус 7 для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Мультимедийное оборудование: ноутбук, Операционная система Linux Ubuntu 18.04 (2018), LibreOffice 5.3.4 (2017), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, парты; плакаты с иллюстративным материалом.

2. Учебная лаборатория № 7.201, учебный корпус 7 для проведения лабораторных работ, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Мультимедийное оборудование: ноутбук (ОС - Windows 8.1 Professional x86/64 (академическая подписка DreamSpark Premium), LibreOffice 3.3.0.4 (лицензия GNU LGPLv3+ и MPL2.0), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, столы, стулья, мешалка ЛМ, центрифуга ЦЛСЗ, термостат СЖМЛ19/2,5, потенциометр ПРС-01, весы ВЛКТ-160, сушильный шкаф СЕШ-3М, вытяжной шкаф, столы пристенные, установка теплопередачи ТП-003, установка теплопередачи ТП-001, установка изучения процесса перемешивания (мешалка ЛМ-2), установка изучения теплопередачи при вынужденной конвекции, установка гидравлического сопротивления трубопровода, установка теплопередачи при абсорбции и десорбции (компрессор), установка определения коэффициента теплопроводности)

3. Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2, 3 (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС - Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 – общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux – лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox – лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object- Oriented Dynamic Learning Environment) – лицензия GNU GPL).