

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета прикладной биотехнологии и  
инженерии  
В.Г. Коротков  
"30" августа 2016 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ДИСЦИПЛИНЫ

*«Б.1.В.ДВ.5.1 Физическая природа разрушения материала»*

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки

*18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии*

(код и наименование направления подготовки)

*Машины и аппараты химических производств*

(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Тип образовательной программы

*Программа академического бакалавриата*

Квалификация

*бакалавр*

Форма обучения

*Заочная*

Год набора 2016

**Рабочая программа дисциплины «Б.1.В.ДВ.5.1 Физическая природа разрушения  
материала» /сост.**

**В.Ю. Полищук - Оренбург: ОГУ, 2016**

Рабочая программа предназначена студентам заочной формы обучения по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

© Полищук В.Ю., 2016  
© ОГУ, 2016

## Содержание

1 Цели и задачи освоения дисциплины .....	4
2 Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	4
3 Требования к результатам обучения по дисциплине .....	5
4 Структура и содержание дисциплины .....	6
4.1 Структура дисциплины .....	6
4.2 Содержание разделов дисциплины .....	7
4.3 Практические занятия (семинары) .....	8
4.4 Контрольная работа (7 семестр) .....	9
5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины .....	9
5.1 Основная литература .....	9
5.2 Дополнительная литература .....	9
5.3 Периодические издания .....	10
5.4 Интернет-ресурсы .....	10
5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы современных информационных технологий .....	10
6 Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	10
Лист согласования рабочей программы дисциплины .....	11

## 1 Цели и задачи освоения дисциплины

**Цель (цели)** освоения дисциплины:

Изучение фундаментальных понятий, концепций и методов механики разрушения.

**Задачи:**

- ознакомить студентов с основными явлениями процесса разрушения, принципами и подходами при математическом моделировании этого процесса;
- ввести и объяснить студентам основные гипотезы линейной и нелинейной механики разрушения;
- научить студентов основным методам и приемам решения задач механики разрушения;
- ознакомить студентов с основными методами экспериментального исследования процесса разрушения.

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к дисциплинам (модулям) по выбору вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)»

Пререквизиты дисциплины: *Б.1.Б.16 Основы теории упругости и пластичности, Б.1.В.ОД.8 Ремонт и монтаж химического и нефтехимического оборудования, Б.1.В.ОД.16 Основы теории надежности, Б.1.В.ОД.19 Системный анализ процессов химической технологии*

Требования к входным результатам обучения, необходимым для освоения дисциплины

Предварительные результаты обучения, которые должны быть сформированы у обучающегося до начала изучения дисциплины	Компетенции
<p><b><u>Знать:</u></b> основные критерии оценки работоспособности объектов профессиональной деятельности.</p> <p><b><u>Уметь:</u></b> анализировать информацию.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b> навыками анализа функционирования объектов профессиональной деятельности.</p>	ОПК-1 способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<p><b><u>Знать:</u></b> основные методы применения библиографической эвристики.</p> <p><b><u>Уметь:</u></b> анализировать полученную информацию на достоверность и актуальность.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b> методами оценки полезности найденной информации.</p>	ПК-13 готовностью изучать научно-техническую информацию, анализировать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований
<p><b><u>Знать:</u></b> глубокие естественнонаучные, математические и инженерные подходы и методы для создания новых материалов.</p> <p><b><u>Уметь:</u></b> использовать персональный компьютер для работы в различных сферах научной деятельности.</p>	ПК-14 способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в

Предварительные результаты обучения, которые должны быть сформированы у обучающегося до начала изучения дисциплины	Компетенции
<b>Владеть:</b> методами проведения физических измерений, методами корректной оценки погрешностей при проведении химического эксперимента.	научно-исследовательской работе
<b>Знать:</b> методы моделирования химико-технологических процессов и решения сопряженных задач. <b>Уметь:</b> решать уравнения и системы дифференциальных уравнений с использованием компьютерных математических пакетов. <b>Владеть:</b> методами оптимизации химико-технологических процессов.	ПК-16 способностью моделировать энерго- и ресурсосберегающие процессы в промышленности
<b>Знать:</b> математические модели объектов проектирования технологических процессов на различных уровнях. <b>Уметь:</b> использовать расширенные пакеты прикладных программ при проектировании стадий технологических процессов. <b>Владеть:</b> математическим аппаратом и математическим моделированием при подготовке многостадийного проектирования технологического объекта.	ПК-17 способностью участвовать в проектировании отдельных стадий технологических процессов с использованием современных информационных технологий

Постреквизиты дисциплины: *Б.2.В.П.1 Преддипломная практика*

### 3 Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения

Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Формируемые компетенции
<b>Знать:</b> источники информации по изучаемой тематике. <b>Уметь:</b> подбирать необходимую информацию, анализировать, делать выводы, формулировать предложения. <b>Владеть:</b> навыками самостоятельного решения поставленных задач.	ОК-7 способностью к самоорганизации и самообразованию
<b>Знать:</b> основные критерии оценки работоспособности объектов профессиональной деятельности. <b>Уметь:</b> анализировать информацию. <b>Владеть:</b> навыками анализа функционирования объектов профессиональной деятельности.	ОПК-1 способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<b>Знать:</b> основные методы применения библиографической	ПК-13 готовностью изучать научно-техническую

Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Формируемые компетенции
<p>эвристики.</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать полученную информацию на достоверность и актуальность.</p> <p><b>Владеть:</b> методами оценки полезности найденной информации.</p>	информацию, анализировать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований
<p><b>Знать:</b> глубокие естественнонаучные, математические и инженерные подходы и методы для создания новых материалов.</p> <p><b>Уметь:</b> использовать персональный компьютер для работы в различных сферах научной деятельности.</p> <p><b>Владеть:</b> методами проведения физических измерений, методами корректной оценки погрешностей при проведении химического эксперимента.</p>	ПК-14 способностью применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе
<p><b>Знать:</b> основные понятия теории планирования эксперимента.</p> <p><b>Уметь:</b> осуществлять корректный выбор типа эксперимента при его планировании.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками применения методов планирования эксперимента.</p>	ПК-15 способностью планировать экспериментальные исследования, получать, обрабатывать и анализировать полученные результаты

#### 4 Структура и содержание дисциплины

##### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 академических часа).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов	
	7 семестр	всего
<b>Общая трудоёмкость</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>Контактная работа:</b>	<b>15,5</b>	<b>15,5</b>
Лекции (Л)	6	6
Практические занятия (ПЗ)	8	8
Консультации	1	1
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	0,5	0,5
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>128,5</b>	<b>128,5</b>
- выполнение контрольной работы (КонтрР);	26	26
- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий);	69,5	69,5
- подготовка к практическим занятиям;	8	8
- подготовка к коллоквиумам;	8	8
- подготовка к рубежному контролю и т.п.)	27	27
<b>Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)</b>	<b>экзамен</b>	

## Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Основные понятия механики разрушения	23,25	1	0,25	-	22
2	Линейная механика разрушения	25,25	1	2,25	-	22
3	Механика упруго-пластического разрушения	24,25	1	2,25	-	21
4	Механика разрушения в условиях ползучести	24,25	1	1,25	-	22
5	Механика коррозионного разрушения	23	1	1	-	21
6	Механика усталостного разрушения	24	1	1	-	22
	Итого:	144	6	8		130
	Всего:	144	6	8		130

### 4.2 Содержание разделов дисциплины

#### ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

1.1. Предмет механики разрушения. Возникновение механики разрушения: причины и истоки. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Первая модель тела с трещиной (трещина Гриффитса). Катастрофические разрушения 40-50 годов.

#### ТЕМА 2. ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ

2.1. Напряженное состояние у вершины трещины. Принцип «микроскопа». Полубесконечная трещина. Метод комплексных потенциалов. Три типа трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений.

2.2. Методы расчетов коэффициентов интенсивности напряжений в упругих телах при различных условиях нагружения. Принцип суперпозиции решений. Коэффициент интенсивности напряжений в ДКБ-образце. Задача И.В. Обреимова.

2.3. Динамические задачи механики хрупкого разрушения. Локальное стационарное поле. Установившиеся колебания у вершины неподвижной трещины. Ударные нагрузки.

2.4. Силовой критерий локального разрушения. Вязкость разрушения (трещиностойкость) материала. Поток энергии в вершину трещины. Энергетический критерий локального разрушения. Эквивалентность силового и энергетического критериев. Устойчивость и неустойчивость роста трещин.

#### ТЕМА 3. МЕХАНИКА УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ

3.1. Структура конца полубесконечной упруго-идеальнопластической трещины. Концепция квазихрупкого разрушения. Поправка Ирвина на пластическую деформацию. Другие критерии локального разрушения.

3.2. Силы сцепления. Модель трещины Христиановича-Баренблата. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла. Модификация в модели Дагдейла.

3.3. Влияние упрочнения (сингулярное решение Черепанова и Хатчинсона-Райса-Розенгрена). Распределение напряжений у вершины трещины в упругопластическом материале со степенным упрочнением. Инвариантный J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса.

3.4. Экспериментальные методы определения вязкости разрушения (трещиностойкости) материала. Двухпараметрические критерии разрушения. Предел трещиностойкости материала. Критерий «течь перед разрушением» (leak before break).

#### ТЕМА 4. МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

4.1. Особенности процесса ползучести, накопления поврежденности и развития трещин в условиях ползучести. Параметр поврежденности (сплошности). Модель Качанова-Работнова. Определяющие соотношения связанной и несвязанной постановок краевых задач в теории ползучести с поврежденностью.

4.2. Асимптотика напряжений у вершины стационарной трещины в нелинейно вязком и упруго-нелинейно вязком теле. Инвариантный  $S^*$ -интеграл теории установившейся ползучести и  $S(t)$ -интеграл теории неустановившейся ползучести.

4.3. Асимптотическое исследование полей напряжений у вершины растущей трещины в условиях установившейся и неуставившейся ползучести. Модель роста трещины в несвязанной постановке теории ползучести с поврежденностью.

4.4. Влияние поврежденности материала на напряженно-деформированное состояние в окрестности вершины трещины при связанной постановке теории ползучести с поврежденностью. Автомодельная постановка задачи о трещине в среде с поврежденностью. Модель роста трещины в связанной постановке теории ползучести с поврежденностью.

#### ТЕМА 5. МЕХАНИКА КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ

5.1. Особенности коррозионного растрескивания и коррозионного роста трещин в металлах. Модели коррозионного растрескивания (диффузионная модель, феноменологическая модель).

5.2. Математическая модель коррозионного роста трещин. Экспериментальные исследования коррозионного роста трещин. Пороговый коэффициент интенсивности напряжений.

#### ТЕМА 6. МЕХАНИКА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

6.1. Особенности усталостного деформирования и разрушения. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Рост трещин при циклическом нагружении. Эмпирическая формула Париса. Теоретические зависимости роста усталостных трещин. Усталостная долговечность.

6.2. Пластические зоны у вершины трещины при перегрузке и частичной разгрузке. Ускорение и торможение роста усталостных трещин. Влияние ползучести на рост усталостных трещин.

### 4.3 Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	1	Работа А. Гриффитса «Явление разрушения и течения твердого тела»	0,25
2	2	Распределение напряжений и перемещений у вершины полубесконечной трещины для трещин нормального отрыва, продольного и поперечного сдвига	0,5
3	2	Коэффициенты интенсивности напряжений для изолированной прямолинейной трещины в бесконечной упругой плоскости.	0,25
4	2	Трещина обобщенного нормального отрыва. Траектория развития трещины.	0,5
5	2	Образцы для испытаний по определению трещиностойкости в механике разрушения материалов.	0,25
6	2	Трещины вблизи концентраторов напряжений (плоская задача). Трещины в круговой пластине или цилиндре.	0,5
7	2	Критерий осреднения напряжений у вершины трещины (критерий Новожилова) в статических и динамических задачах механики разрушения.	0,25
8	3	Метод годографа в задачах антиплоского сдвига. Структура конца полубесконечной трещины для упруго-идеальнопластического материала.	0,5
9	3	Разгрузка и повторное нагружение трещины в модели Дагдейла.	0,25
10	3	Метод годографа в задачах антиплоского сдвига. Структура конца полубесконечной трещины для упруго-пластического материала с упрочнением (линейное и степенное упрочнение).	0,5
11	3	Напряженное состояние у вершины наклонной трещины в случае упругопластического материала со степенным упрочнением.	0,25
12	3	Взаимосвязь J-интеграла и величины раскрытия в вершине трещины.	0,5
13	3	Докритический рост трещины. R-кривая.	0,25
14	4	Длительная прочность элементов конструкций, работающих в условиях ползучести.	0,5
15	4	Метод годографа в задачах антиплоского сдвига. Структура	0,25



№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
		конца полубесконечной трещины в случае установившейся ползучести с дробно-линейным законом ползучести.	
16	4	Автомодельная задача о трещине антиплоского сдвига в среде с поврежденностью (связанная постановка задачи ползучести с поврежденностью).	0,5
17	5	Диффузионная модель роста трещины при водородном охрупчивании.	0,25
18	5	Электрохимический механизм роста трещин при коррозионном разрушении.	0,5
19	5	Поверхностное взаимодействие твердого тела со средой. Адсорбционный эффект.	0,25
20	6	Решения ряда задач усталостной долговечности для тел с трещинами.	0,5
21	6	Расчет допустимых размеров усталостной трещины (на примере корпуса ВВЭР).	0,25
22	6	Влияние усталости на рост трещин ползучести.	0,25
		Итого:	8

#### 4.4 Контрольная работа (7 семестр)

Темы контрольных работ.

1. А. Гриффитс и его вклад в развитие механики разрушения.
2. Дж. Ирвин и его вклад в развитие механики разрушения.
3. Д. Дагдейл и его вклад в развитие механики разрушения.
4. Дж. Райс и его вклад в развитие механики разрушения.
5. Х. Ридель и его вклад в развитие механики разрушения.
6. С.А. Христианович, Г.И. Баренблатт и их вклад в развитие механики разрушения.
7. М.Я. Леонов, В.В. Панасюк и их вклад в развитие механики разрушения.
8. Е.М. Морозов и его вклад в развитие механики разрушения.
9. Г.П. Черепанов и его вклад в развитие механики разрушения.
10. В.В. Новожилов, Н.Ф. Морозов и их вклад в развитие механики разрушения.
11. Р.В. Гольдштейн и его вклад в развитие механики разрушения.
12. Л.М. Качанов, Ю.Н. Работнов и их вклад в развитие механики разрушения.

### 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

#### 5.1 Основная литература

1. Физическая природа разрушения: учебное пособие [Электронный ресурс] / Кушнарченко В., Чирков Ю., Полищук В., Репях В. - ОГУ, 2014.  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=259121](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=259121)
2. Пестриков В.М. Механика разрушения твердых тел [Текст]: курс лекций / В.М.Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб: Профессия, 2002. – 320 с.: ил. – ISBN 5-93913-022-4.

#### 5.2 Дополнительная литература

1. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упруго-пластического разрушения М., Наука, 1985
2. Механика разрушения и прочность материалов. Том 1-4 Киев, Наукова думка 1988.
3. Броек Д. Основы механики разрушения: М., Высшая школа, 1980.
4. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений/ под ред. Ю. Мураками. – М., Мир 1990, Том 1-448 с, Том 2 – 1016 с.

### **5.3 Периодические издания**

Известия Российской академии наук. Механика твердого тела.  
Прикладная механика и техническая физика.  
Проблемы прочности и пластичности.

### **5.4 Интернет-ресурсы**

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm>

<http://avia.academic.ru/4130>

<http://ndt-d.com/>

### **5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы современных информационных технологий**

Пакет настольных приложений Microsoft Office.

Интегрированная система решения математических, инженерно-технических и научных задач PTC MathCAD 14.0.

### **6 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Ресурсы читального зала библиотеки и Интернет. Для проведения практических занятий предназначена лаборатория (ауд. 3114), кафедральный вычислительный зал в ауд. 3113.

ЛИСТ

согласования рабочей программы

Направление подготовки: 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

код и наименование

Профиль: Машины и аппараты химических производств

Дисциплина: Б.1.В.ДВ.5.1 Физическая природа разрушения материала

Форма обучения: очная

очная очно-заочная заочная

Год набора 2016

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

наименование кафедры

протокол № 12 от "20" 08 2016.

Ответственный исполнитель, заведующий кафедрой

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

наименование кафедры

В.Ю. Полищук

расшифровка подписи

Исполнители:

Зав. кафедрой

должность

В.Ю. Полищук

расшифровка подписи

должность

подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методической комиссии по направлению подготовки

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

код и наименование

личная подпись

расшифровка подписи

Заведующий отделом комплексования научной библиотеки

личная подпись

Н.Н. Грицай

расшифровка подписи

Уполномоченный по качеству факультета

личная подпись

Т.М. Крахмалева

расшифровка подписи

Рабочая программа зарегистрирована в ОИОГ ЦИТ

Начальник отдела информационных образовательных технологий ЦИТ

личная подпись

Е.В. Дырдина

расшифровка подписи