Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Министерство науки, высшего образования и инноваций
Кыргызской Республики

Межгосударственная образовательная организация высшего образования Кыргызско-Российский Славянский университет

имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина

Высшая школа Природопользования, мехатроники и транспорта

Фонд
оценочных средств

по дисциплине «Конструкционная прочность»

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки 15.03.03 — РФ, 650500 — КР
ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Квалификация

бакалавр

2026 г.

Фонд оценочных средств предназначен для контроля знаний обучающихся по направлению подготовки 15.03.03 — РФ, 650500 — КР «Прикладная механика», профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг», по программе бакалавриата КРСУ в соответствии с ФГОС 3++ по дисциплине «Конструкционная прочность».

Фонд оценочных средств рассмотрен и утвержден на заседании

Высшей школы Природопользования, мехатроники и транспорта

протокол № 1 от «2 » сентября 2026 г.

Руководитель подразделения

_____ Алсеитов Мирлан Тилегенович
подпись *расшифровка подписи*

Исполнители:

к.ф.-м.н. _____ Герман Константин Анатольевич
должность *подпись* *расшифровка подписи*

к.т.н. _____ Джаманкулов Азамат Кенешбекович
должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Заместитель директора по образовательной деятельности
Политехнического института

_____ Комарцов Никита Михайлович
личная подпись расшифровка подписи

Содержание

1 Перечень компетенций и этапы их формирования

2 Технологическая карта дисциплины

3 Типовые контрольные задания и оценочные материалы

4 Процедуры и критерии оценивания

5 Методические указания для обучающихся

Сведения о дисциплине

Показатель	Сведения
Направление и профиль	15.03.03 — РФ, 650500 — КР, «Прикладная механика». Профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг».
Программа	Бакалавриат, очная форма. Цикл Б1.В.1.ДВ.04 по РПД.
Семестр и аттестация	4-й курс, 7-й семестр, 18 недель, экзамен. 144 ч, 4 ЗЕТ. Курсовая работа и проект не предусмотрены.
Исполнители	к.ф.-м.н. Герман Константин Анатольевич и к.т.н. Джаманкулов Азамат Кенешбекович.
Основание	РПД от 03.09.2026, учебный план от 26.06.2026, протокол № 11. РПД одобрена 02.09.2026, протокол № 1. Срок действия 2026–2032 уч. гг.

1 Перечень компетенций и этапы их формирования

ПК-1. Способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследования, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

Результат РПД	Проверяемый результат	Средства и этапы
3.1.1 Знать	Особенности концентрации напряжений, соотношение теоретической и реальной прочности, исходные данные анализа разрушения.	ТК: В1–В6, ПР1–ПР2, СРС1–СРС2. РК: Т1–Т10. Экзамен: билеты 1–3, 7–8.
3.2.1 Уметь	Выявлять зоны концентрации и природу критического дефекта, рассчитывать Kt, определять характер напряжённого состояния и параметры диаграмм усталости.	ТК: ПР2–ПР8, ЛР1–ЛР4, СРС3–СРС8, кейс. Экзамен: задачи 1–6.
3.3.1 Владеть	Теорией концентрации напряжений, основами кристаллографии и методами оценки конструкционной прочности.	ТК: В2, ПР1, ЛР1, ЛР4, СРС1, СРС7–СРС8, кейс. Экзамен: В1, В3, В4, В20, В22–В24 и задачи.

В первом тематическом разделе проверяются выбор модели и расчёт напряжений и трещиностойкости. Во втором добавляются анализ циклических нагрузок, исследование изломов и проверка численной модели. Лабораторный практикум проверяет воспроизводимость обработки и интерпретации. Письменный рубежный тест и экзамен охватывают материал дисциплины.

2 Технологическая карта дисциплины

Вид работы	Часы
Лекции, 8 × 2	16
Практические занятия, 8 × 2	16
Лабораторные занятия, 4 × 4	16
Контактная работа в период сессии	0,3
Контактная работа всего	48,3
Самостоятельная работа	64
Часы на контроль	31,7
Итого	144

Из 48 аудиторных часов 2 ч ПР4 относятся к интерактивным занятиям и практической подготовке. Все 16 ч лабораторного практикума также входят в практическую подготовку, всего 18 ч.

Раздел РПД	Лекции	Практика	ЛР	СРС
1 Конструкционная прочность, концентрация и механика разрушения	1–4	ПР1–ПР4	—	32 ч
2 Усталость, фрактография и компьютерный расчёт	5–8	ПР5–ПР8	—	32 ч
3 Лабораторный практикум	—	—	ЛР1–ЛР4	—

Средство	Баллы	Срок и форма
Практические работы	24	После соответствующей темы. 8 × 3.
Лабораторные работы	16	После сдачи отчёта. Индивидуальная защита. 4 × 4.
Самостоятельные работы	8	По 1 баллу за каждую из 8 тем.
Защита кейса	2	После темы фрактографии, отдельно от ПР7.
Текущие работы	50	Практика, лабораторные, СРС и кейс.
Рубежный тест	10	Письменно после лекции 8. 10 × 1.
До экзамена	60	Текущие работы и рубежный тест.
Экзамен	40	Два вопроса по 10 баллов, задача на 20 баллов.
Итог	100	Сумма до экзамена и баллов экзамена.

Распределение 60/40 соответствует разделу 5.3 РПД. Оформление единого письменного теста по лекциям 1–8 как рубежного контроля предлагается для согласования. Баллы теста учитываются один раз.

3 Типовые контрольные задания и оценочные материалы

Блок А Проверка знаний

Лекции 1–2

В1. Почему прочность детали не определяется только пределом прочности материала?

В2. Как дефекты решётки и микроструктура объясняют различие теоретической и реальной прочности?

В3. Какие данные необходимы для количественного анализа разрушения детали?

В4. Как определяется Kt и почему необходимо указывать способ вычисления номинального напряжения?

В5. Как радиус галтели и геометрия отверстия влияют на локальное напряжённое состояние?

В6. Чем различаются Kt, Kf и коэффициент интенсивности напряжений KI?

Лекции 3–4

В7. Как различаются моды I, II и III и какие нагрузки вызывают каждую из них?

В8. Как рассчитывают KI и критический размер трещины при постоянном Y?

В9. При каких условиях связаны G и KI и как выбирают E′?

В10. Чем KQ отличается от KIc и какие проверки необходимы при интерпретации испытания?

В11. Когда линейная механика разрушения перестаёт быть достаточной?

В12. Что характеризуют J-интеграл, CTOD и кривая сопротивления росту трещины?

Лекции 5–6

В13. Как вычисляют амплитуду, среднее напряжение и коэффициент асимметрии цикла?

В14. Как строят кривую Велера и учитывают отсутствие выраженного предела выносливости?

В15. Как поверхность, остаточные напряжения и среднее напряжение влияют на усталость?

В16. Как рассчитывают повреждённость по Майнеру и почему результат зависит от ограничений модели?

В17. В какой части диаграммы da/dN–ΔK применим закон Пэриса?

В18. Какие данные нужны для расчёта остаточного ресурса детали с трещиной?

В19. Почему ΔK, Kmax, R и условия среды следует рассматривать совместно?

Лекции 7–8

В20. Какие макро- и микропризнаки позволяют предположить механизм разрушения?

В21. Почему усталостные бороздки и макроскопические полосы не следует отождествлять?

В22. Как проверить причинную гипотезу, основанную на наблюдении излома?

В23. Почему максимальное напряжение у идеальной трещины не является критерием сеточной сходимости?

В24. Чем верификация расчёта отличается от валидации и какие неопределённости следует отразить в заключении?

Письменный тест

Выберите один правильный ответ. Время — 15 минут. За верный одиночный выбор начисляется 1 балл. Неверный, множественный или пустой ответ даёт 0. Максимум — 10.

Т1. Коэффициент Kt равен:

А. σmax/σnom; Б. KI/KIc; В. σa/σm.

Т2. Единица измерения KI:

А. МПа; Б. МПа·√м; В. МПа/м.

Т3. Мода I соответствует:

А. антиплоскому сдвигу; Б. плоскому сдвигу; В. нормальному раскрытию.

Т4. Для центральной трещины общей длиной 2a в широкой пластине параметр a — это:

А. половина длины; Б. полная длина; В. толщина пластины.

Т5. Для плоской деформации изотропного материала в связи $G = K_I^2/E'$:

А. $E' = E$; Б. $E' = E/(1-\nu^2)$; В. $E' = E(1-\nu^2)$.

Т6. Закон Пэриса описывает:

А. всю диаграмму от порога до долома; Б. только статическую прочность; В. средний участок устойчивого усталостного роста.

Т7. Если σmax = 180 МПа, σmin = 20 МПа, амплитуда равна:

А. 100 МПа; Б. 80 МПа; В. 160 МПа.

Т8. Для D = Σni/Ni при постоянных Ni перестановка блоков в модели Майнера:

А. не меняет D; Б. всегда удваивает D; В. делает D равным нулю.

Т9. При сгущении сетки у идеальной трещины в линейной упругости максимальное напряжение:

А. обязано стремиться к нулю; Б. всегда остаётся постоянным; В. может возрастать без достижения конечного предела.

Т10. Наблюдение ямочного рельефа позволяет прежде всего предположить:

А. механизм слияния микропустот; Б. гарантированную усталость; В. отсутствие пластической деформации.

Блок B Проверка умений

Расчётные задачи

Числа приведены для учебного расчёта. Покажите схему, единицы, вычисления, проверку применимости и вывод. Для числовых результатов допустимо расхождение из-за округления до 2 % при корректном ходе решения.

Задача 1 Концентратор и параметры цикла

Полоса имеет ширину $b = 50$ мм и толщину $t = 5$ мм. Сила изменяется от 5 до 25 кН. Для заданной геометрии $K_t = 2{,}4$ относительно полного сечения bt, чувствительность к надрезу $q = 0{,}75$, предел текучести $\sigma_y = 300$ МПа. Определить номинальные σ_{max}, σ_{min}, σ_a, σ_m, R; упругий локальный максимум; $K_f = 1 + q(K_t - 1)$. Объяснить роль K_f.

Задача 2 Остаточная прочность

В широкой пластине центральная сквозная трещина имеет полную длину $2a = 10$ мм. Принять $Y = 1$; $\sigma = 150$ МПа; $K_{Ic} = 50$ МПа·√м; $\sigma_y = 600$ МПа; толщина $B = 25$ мм. Использовать $K_I = \sigma\sqrt{(\pi a)}$ и оценку $r_p = (K_I/\sigma_y)^2/(6\pi)$ для плоской деформации. Найти K_I, запас K_{Ic}/K_I, критическую полудлину a_c и r_p/a. Обсудить применимость.

Задача 3 Энергетический параметр

Для изотропного линейно-упругого тела заданы $K_I = 30$ МПа·√м, $E = 210$ ГПа, $\nu = 0{,}3$. Найти G при плоском напряжённом состоянии и плоской деформации. Использовать $G = K_I^2/E'$.

Задача 4 Блочное усталостное нагружение

Для одной и той же детали при двух режимах с одинаковой асимметрией цикла по её усталостной кривой установлены $N_1 = 200\,000$ и $N_2 = 1\,000\,000$ циклов. Повторяемый блок содержит $n_1 = 10\,000$ и $n_2 = 50\,000$ циклов. В рамках модели Майнера определить повреждение за блок и число полных блоков до $D = 1$. Предполагается, что начальное повреждение равно нулю.

Задача 5 Рост усталостной трещины

Для центральной трещины принять $Y = 1$, $\sigma_{min} = 0$, $\sigma_{max} = 100$ МПа, $a_0 = 0{,}002$ м, $a_f = 0{,}008$ м. На всём интервале действует $da/dN = C(\Delta K)^3$, $C = 2\cdot10^{-12}$ м/(цикл·(МПа·√м)³). Для проверки заданы $\Delta K_{th} = 5$ МПа·√м, $K_c = 50$ МПа·√м; пластическая зона считается малой. Найти N и оценить область применимости.

Задача 6 Верификация компьютерного расчёта

Аналитическое значение $K_I = 20{,}0$ МПа·√м. При характерных размерах сетки у вершины $h = 1$; 0,5; 0,25 мм получены $K_I = 18{,}0$; 19,4; 19,8 МПа·√м. Требуется относительное расхождение с аналитическим решением не более 2% и изменение между двумя последними сетками относительно последнего результата не более 3%. Проверить условия и сформулировать вывод.

Практические работы

ПР1 Анализ факторов конструкционной прочности детали

Пункт 1.2 РПД. 2 академических часа. Ступенчатый вал имеет диаметры 30 и 40 мм, радиус перехода 1 мм. На меньшем сечении действует переменный изгибающий момент с модулем до 80 Н·м. Начертите схему, оцените номинальное напряжение, разделите сведения о материале, технологии, геометрии и эксплуатации. Назовите минимум три недостающих параметра и способ их проверки.

ПР2 Расчёт локальных напряжений у концентратора

Пункт 1.4 РПД. 2 академических часа. Выполните задачу 1. При том же номинальном сечении сравните исходную геометрию с условным вариантом Kt = 1,9. Обоснуйте, что меняется в оценке локального упругого напряжения и какие данные нужны для сравнения усталостной долговечности.

ПР3 Оценка критического размера трещины

Пункт 1.6 РПД. 2 академических часа. Выполните задачу 2. Дополнительно оцените напряжение, при котором KI достигает KIc при исходном размере трещины. Проверьте, согласуется ли это значение с предпосылкой преимущественно упругого поведения.

ПР4 Обработка данных испытания на трещиностойкость

Пункт 1.8 РПД. 2 академических часа. Используйте учебные данные ЛР2. Получите KQ и проверьте заданный размерный ориентир. Сравните его с B, a и W−a. Укажите, каких сведений не хватает для признания результата характеристикой KIc.

ПР5 Расчёт усталостной долговечности

Пункт 2.2 РПД. 2 академических часа. Выполните задачу 4. Для параметров цикла используйте задачу 1, при этом числа N_1 и N_2 берите только из задачи 4. Проверьте влияние удвоения n_1 при неизменных остальных параметрах и поясните, как трактовать неполный последний блок.

ПР6 Расчёт ресурса по росту трещины

Пункт 2.4 РПД. 2 академических часа. Выполните задачу 5. Повторите оценку при a_0 = 0,003 м и неизменном a_f. Сопоставьте оба результата и укажите, почему срок до заданной полудлины отличается от ресурса до разрушения.

ПР7 Установление вероятного механизма разрушения

Пункт 2.6 РПД. 2 академических часа. Отдельная учебная ситуация: болт с резьбой разрушился после нескольких недель работы при вибрации. На описании излома указан поверхностный очаг у корня резьбы и зона грубого рельефа. Данных о затяжке и нагрузке нет. Сформулируйте рабочую гипотезу и альтернативу, перечислите подтверждающие и недостающие данные и составьте план проверки. Этот отчёт оценивается отдельно от защиты кейса о валу.

ПР8 Проверка качества компьютерного расчёта

Пункт 2.8 РПД. 2 академических часа. Выполните задачу 6. Представьте таблицу размера сетки, KI, относительной ошибки и изменения между последовательными сетками. Укажите, как меняется вывод при ужесточении порога ошибки с 2 % до 0,5 %.

Блок C Проверка навыков и опыта деятельности

Лабораторный практикум

Каждая лабораторная работа занимает 4 академических часа. Учебные числа в ЛР2 и ЛР3 маркируются как учебные. Фактический протокол или комплект снимков выдаёт преподаватель при наличии. В отчёте указывайте происхождение данных и условия их получения.

ЛР1 Численное исследование концентрации напряжений в пластине с отверстием

Плоская тонкая пластина 200 × 200 мм толщиной 1 мм, центральное круглое отверстие радиусом 5 мм. E = 210 ГПа, ν = 0,30. Одноосное растяжение вдоль x, σ_∞ = 50 МПа. Используйте четверть пластины с условиями симметрии на x = 0 и y = 0, нагрузкой на x = 100 мм, свободными остальными внешними границами и контуром отверстия. Оцените окружное напряжение в точке (0; 5) мм на трёх сетках с характерным размером около от-

верстия 1,0; 0,5 и 0,25 мм. Укажите тип элементов и способ извлечения. Сравните с решением для широкой пластины и объясните отличие конечной области.

ЛР2 Определение условной трещиностойкости по экспериментальной диаграмме нагружения образца с трещиной

Условная учебная диаграмма компактного образца. B = 12,5 мм, W = 50 мм, a = 25 мм, σу = 600 МПа. Для a/W = 0,50 дано f = 9,66. За условную нагрузку P_Q возьмите 10,0 кН, она предварительно извлечена из полной диаграммы. Максимальная нагрузка 10,6 кН. Постройте график табличных точек, рассчитайте K_Q = P_Q f/(B√W), вычислите Pmax/P_Q и сопоставьте B, a и W−a с учебным размерным ориентиром 2,5(K_Q/σу)². Поясните, какие сведения об образце и процедуре нужны для подтверждения KIc.

Перемещение, мм	**0**	**0,10**	**0,20**	**0,30**	**0,40**	**0,50**
Сила, кН	0	3,2	6,4	9,4	10,0	10,6

ЛР3 Определение параметров усталостного роста трещины по экспериментальным данным

Для предоставленной серии используйте устойчивый участок роста при постоянном R = 0,1. Постройте логарифмический график и определите C и m методом наименьших квадратов для $da/dN = C(\Delta K)^m$. Укажите единицы C, анализ остатков и диапазон, на котором применим вывод.

ΔK, МПа·√м	**8**	**10**	**12**	**15**	**18**
da/dN, 10^{-9} м/цикл	1,024	2,000	3,456	6,750	11,664

ЛР4 Фрактографическое исследование изломов по макроснимкам и микрофотографиям

По выданным макро- и микрофотографиям разметьте вероятный очаг, направление роста и зону долома. Для каждого снимка запишите масштаб, наблюдаемые признаки и альтернативную трактовку. Сопоставьте сведения с нагрузкой, геометрией и данными о материале. Итог — размеченные изображения, таблица наблюдений и план проверок. Если снимки не выданы, письменный кейс можно использовать для тренировки интерпретации. Выполнение работы со снимками фиксируется после их предоставления.

Кейс Разрушение ступенчатого вала

Учебные данные: вал разрушился в зоне галтели после длительной работы при переменном изгибе. На макроснимке очаг расположен у поверхности; от него распространяется относительно гладкая зона с дугообразными границами. Оставшаяся часть сечения имеет более грубый рельеф. На микрофотографиях гладкой зоны видны участки с бороздчатым рельефом, в зоне долома — ямки. Известны номинальная марка стали и чертёж; спектр нагрузки, состояние поверхности до разрушения и фактическая термообработка не установлены.

Задание: предложить основной и альтернативные механизмы; разграничить наблюдения и интерпретации; назвать необходимые исследования; объяснить, почему нельзя численно установить ресурс по одному изображению излома; предложить проверяемые меры повышения прочности.

Блок D Промежуточная аттестация

Комплект включает восемь билетов. Каждый содержит два теоретических вопроса и расчётную задачу. Вопросы, не включённые в билеты, используются для текущего контроля и уточнения ответа.

Экзаменационный билет 1

B1. Почему прочность детали не определяется только пределом прочности материала?

B8. Как рассчитывают KI и критический размер трещины при постоянном Y?

Задача 1 Концентратор и параметры цикла. Полоса имеет ширину b = 50 мм и толщину t = 5 мм. Сила изменяется от 5 до 25 кН. Для заданной геометрии Kt = 2,4 относительно полного сечения bt, чувствительность к надрезу q = 0,75, предел текучести σy = 300 МПа. Определить номинальные σmax, σmin, σa, σm, R; упругий локальный максимум; Kf = 1 + q(Kt−1). Объяснить роль Kf.

Экзаменационный билет 2

B4. Как определяется Kt и почему необходимо указывать способ вычисления номинального напряжения?

B10. Чем KQ отличается от KIc и какие проверки необходимы при интерпретации испытания?

Задача 2 Остаточная прочность. В широкой пластине центральная сквозная трещина имеет полную длину 2a = 10 мм. Принять Y = 1; σ = 150 МПа; KIc = 50 МПа·√м; σy = 600 МПа; толщина B = 25 мм. Использовать KI = σ√(πa) и оценку rp = (KI/σy)²/(6π) для плоской деформации. Найти KI, запас KIc/KI, критическую полудлину ac и rp/a. Обсудить применимость.

Экзаменационный билет 3

B7. Как различаются моды I, II и III и какие нагрузки вызывают каждую из них?

B12. Что характеризуют J-интеграл, CTOD и кривая сопротивления росту трещины?

Задача 3 Энергетический параметр. Для изотропного линейно-упругого тела заданы KI = 30 МПа·√м, E = 210 ГПа, ν = 0,3. Найти G при плоском напряжённом состоянии и плоской деформации. Использовать G = KI²/E′.

Экзаменационный билет 4

B13. Как вычисляют амплитуду, среднее напряжение и коэффициент асимметрии цикла?

B16. Как рассчитывают повреждённость по Майнеру и почему результат зависит от ограничений модели?

Задача 4 Блочное усталостное нагружение. Для одной и той же детали при двух режимах с одинаковой асимметрией цикла по её усталостной кривой установлены N1 = 200 000 и N2 = 1 000 000 циклов. Повторяемый блок содержит n1 = 10 000 и n2 = 50 000 циклов. В рамках модели Майнера определить повреждение за блок и число полных блоков до D = 1. Предполагается, что начальное повреждение равно нулю.

Экзаменационный билет 5

B14. Как строят кривую Велера и учитывают отсутствие выраженного предела выносливости?

B17. В какой части диаграммы da/dN–ΔK применим закон Пэриса?

Задача 5 Рост усталостной трещины. Для центральной трещины принять Y = 1, σmin = 0, σmax = 100 МПа, a0 = 0,002 м, af = 0,008 м. На всём интервале действует da/dN = C(ΔK)³, C = 2·10⁻¹² м/(цикл·(МПа·√м)³). Для проверки заданы ΔKth = 5 МПа·√м, Kc = 50 МПа·√м; пластическая зона считается малой. Найти N и оценить область применимости.

Экзаменационный билет 6

В18. Какие данные нужны для расчёта остаточного ресурса детали с трещиной?

В23. Почему максимальное напряжение у идеальной трещины не является критерием сеточной сходимости?

Задача 6 Верификация компьютерного расчёта. Аналитическое значение KI = 20,0 МПа·√м. При характерных размерах сетки у вершины h = 1; 0,5; 0,25 мм получены KI = 18,0; 19,4; 19,8 МПа·√м. Требуется относительное расхождение с аналитическим решением не более 2% и изменение между двумя последними сетками относительно последнего результата не более 3%. Проверить условия и сформулировать вывод.

Экзаменационный билет 7

В20. Какие макро- и микропризнаки позволяют предположить механизм разрушения?

В24. Чем верификация расчёта отличается от валидации и какие неопределённости следует отразить в заключении?

Задача 2 Остаточная прочность. В широкой пластине центральная сквозная трещина имеет полную длину 2a = 10 мм. Принять Y = 1; σ = 150 МПа; KIc = 50 МПа·√м; σy = 600 МПа; толщина B = 25 мм. Использовать KI = σ√(πa) и оценку rp = (KI/σy)²/(6π) для плоской деформации. Найти KI, запас KIc/KI, критическую полудлину ac и rp/a. Обсудить применимость.

Экзаменационный билет 8

В3. Какие данные необходимы для количественного анализа разрушения детали?

В22. Как проверить причинную гипотезу, основанную на наблюдении излома?

Задача 5 Рост усталостной трещины. Для центральной трещины принять Y = 1, σmin = 0, σmax = 100 МПа, a0 = 0,002 м, af = 0,008 м. На всём интервале действует da/dN = C(ΔK)³, C = 2·10⁻¹² м/(цикл·(МПа·√м)³). Для проверки заданы ΔKth = 5 МПа·√м, Kc = 50 МПа·√м; пластическая зона считается малой. Найти N и оценить область применимости.

4 Процедуры и критерии оценивания

На практических и лабораторных занятиях допустимы конспект, справочные материалы и согласованное ПО. На рубежном письменном тесте разрешён непрограммируемый калькулятор. К рубежному контролю допускаются все независимо от посещаемости и результатов иных работ.

Практическая работа, 3 балла: 1 — модель и схема; 1 — корректные вычисления и единицы; 1 — проверка и обоснованный вывод. Для работы 7: по 1 баллу за гипотезу, подтверждающие данные и план проверки. Для работы 8: по 1 баллу за эталон, оценку погрешности и вывод о качестве модели.

Лабораторная работа, 4 балла: по 1 баллу за воспроизводимое описание данных/модели, корректную обработку, проверку качества результата и индивидуальную защиту. Для фрактографии проверка качества означает сопоставление нескольких признаков и альтернативных гипотез.

Самостоятельная работа, 1 балл: 0,5 — полный результат по теме; 0,5 — проверяемые источники, расчёт или аргументация. Кейс, 2 балла: по 0,5 за разделение фактов и гипотез, основную гипотезу, альтернативы и план проверки. Баллы кейса начисляются за отдельную защиту, не повторяют оценку практической работы 7.

Экзамен — 40 баллов: каждый теоретический вопрос до 10 баллов, задача до 20 баллов. За вопрос: полнота — 4, физическая корректность — 3, ограничения и инженерный пример — 3. За задачу: схема и данные — 3, выбор модели — 5, вычисления и единицы — 6, проверка применимости и вывод — 6.

Ошибки, меняющие физический смысл (полная длина вместо полудлины, несогласованные единицы, применение закона вне его области), снижают баллы соответствующего критерия. Преподаватель фиксирует ошибку и её влияние; одна ошибка не штрафуется повторно в нескольких критериях за один и тот же дефект решения.

В однобалльных критериях ставят 1 за выполненный критерий и 0 за его отсутствие или принципиальную ошибку. В многобалльных критериях экзамена 0 означает отсутствие результата, максимум — полное корректное выполнение. Промежуточный целый балл отражает число и значимость верных элементов в пределах критерия.

При защите ПР и ЛР обучающийся показывает исходные данные и объясняет одну проверку. Защита кейса занимает 5–7 минут. Преподаватель оценивает вывод по отдельному комплекту данных о валу. Опрос помогает выявить пробелы и отдельно в рейтинг не включается.

РПД предлагает 40 минут на подготовку и до 15 минут на ответ. При контактном нормативе 0,3 академического часа на обучающегося для согласования предлагаются 40 минут подготовки в пределах часов контроля и до 12 минут устного ответа. Разрешены непрограммируемый калькулятор и выданный лист формул.

Итог — сумма баллов по разделу 2. Для дробных баллов границы шкалы применяются к исходной сумме. В РПД указан предлагаемый дополнительный минимум на экзамене — 20 из 40, включая 10 из 20 за задачу. Применение этого условия подлежит согласованию.

Баллы	Итоговая оценка
85–100	Отлично
От 70 до менее 85	Хорошо
От 60 до менее 70	Удовлетворительно
Менее 60	Неудовлетворительно

5 Методические указания для обучающихся

Блок СРС	Задание	Часы
СРС1	Сопоставление теоретической и реальной прочности; схема влияния дефектов и технологии на прочность выбранной детали.	8
СРС2	Подбор решения для отверстия или галтели; сопоставление номинальных напряжений и геометрических параметров в разных источниках.	8
СРС3	Параметрическое исследование зависимости KI и критического размера трещины от нагрузки и трещиностойкости.	8
СРС4	Разбор протокола испытания на трещиностойкость; перечень условий, препятствующих признанию KQ характеристикой KIc.	8
СРС5	Построение кривой усталости по выданной выборке; оценка разброса и расчёт повреждения при блочном нагружении.	8
СРС6	Программная реализация интегрирования закона Пэриса с проверкой единиц и сравнением с аналитическим частным случаем.	8
СРС7	Подготовка аналитической записки о разрушении детали с разделением фактов, гипотез и необходимых проверок.	8
СРС8	Подготовка отчёта о верификации модели с трещиной и чувствительности результата к сетке и исходным данным.	8

Перед лекцией повторите необходимые понятия сопротивления материалов, теории упругости, материаловедения и метода конечных элементов. После лекции составьте краткую схему: механизм разрушения, расчётный параметр, исходные данные, критерий и границы применимости. Не переносите условия одной модели на другую без проверки.

Ведите отдельный перечень обозначений. Для каждой трещины рисуйте схему и указывайте, означает ли a полную длину, полудлину или глубину. Различайте Kt, Kf, KI, KQ и KIc. Записывайте единицы рядом с каждым числом; в формулах с √a приводите длину к единицам, согласованным с K.

Сначала выберите номинальное сечение и схему нагрузки. Затем определите механизм: текучесть, хрупкое разрушение, усталостное зарождение или рост имеющейся трещины. Обоснуйте выбор модели и проверьте доступность исходных характеристик. После расчёта оцените порядок величины, чувствительность к параметрам и ограничения вывода.

Для циклической нагрузки вычислите σa, σm и R. Для закона Пэриса проверьте размерность C, диапазон ΔK, условия R и среды. Не экстраполируйте зависимость к порогу и излому автоматически. Для модели Майнера укажите происхождение Ni и условия, при которых получена усталостная кривая.

Сохраняйте исходные таблицы и не заменяйте их только сглаженными графиками. Укажите источник данных, размеры образца, способ измерения трещины и параметры нагружения. Различайте условную характеристику испытания и подтверждённую характеристику материала. Отразите разброс, погрешность измерений и причины возможных отклонений.

Структура отчёта: исходные данные; схема и метод; результаты обработки; проверка; вывод; источники; файлы расчёта. Для фрактографии дополнительно приводите масштаб снимков, описание наблюдений, проверяемые гипотезы и недостающие сведения. Не очищайте реальную поверхность излома без согласованной процедуры.

Укажите версию решателя, тип элементов, свойства, закрепления и способ приложения нагрузки. Проверьте равновесие и единицы. Сопоставьте модель с аналитическим эталоном, затем используйте не менее трёх последовательно сгущаемых сеток. Оценивайте сходимость K или J, а для гладкого концентратора — соответствующего локального напряжения.

Сохраняйте входной файл, исходные данные, скрипт обработки и таблицу сходимости. Отделяйте верификацию численного решения от валидации по эксперименту. Не выдавайте высокую точность численного решения за подтверждение реальных нагрузок и свойств.

Распределите 64 часа самостоятельной работы по восьми темам. Ответьте на контрольные вопросы и решите шесть задач без подсказок. При защите объясните физический смысл результата и ограничения модели. При исправлении расчёта укажите причину ошибки.

Источники

РПД от 03.09.2026, приложенный учебный план с ФОС по конструкционной прочности и Положение о ФОС КРСУ. Расчётные дополнения к ПР и учебные наборы ЛР2–ЛР3 подготовлены для данного ФОС.

Литература по РПД: Ю. Н. Работнов, «Механика деформируемого твердого тела» (1988). Б. А. Рычков, «Экспериментальная механика деформируемого твердого тела» (2019), «Классификация конструкционных материалов» (2000).