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 «Основы теории пластичности и ползучести»

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 «Основы теории пластичности и ползучести».

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

Сведения о дисциплине
1. Компетенция и этапы формирования
2. Технологические карты 6 и 7 семестров
3. Оценочные материалы: блоки A, B, C, D
4. Процедуры и критерии
5. Методические указания обучающимся
Приложение 1. Формы фиксации результатов

Сведения о дисциплине

Параметр	По РПД
Наименование	Основы теории пластичности и ползучести
Направление; профиль	15.03.03 — РФ; 650500 — КР; Прикладная механика; «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»
Квалификация; форма; курс	Бакалавр; очная; 6 семестр —3 курс, 7 семестр —4 курс
Раздел ООП	Б1.В.1. Полный индивидуальный шифр в РПД не указан;
Объём	8 ЗЕТ, 288 ч; лекции56, практические58, СРС141,9, дополнительная контактная работа0,4, контроль31,7. Аудиторные114, контактные114,4.
Виды работ	Курсовая работа не предусмотрена, лабораторных часов нет. Учебные диаграммы обрабатываются на ПР и в СРС.

Вид работы	6 семестр	7 семестр	Всего, ч
Лекции	22	34	56
Практические	24	34	58
КрТО / КрЭк	0,1	0,3	0,4
СРС	61,9	80	141,9
Часы на контроль	—	31,7	31,7
Всего	108	180	288
Аттестация	Зачёт	Экзамен	По семестрам

1. Компетенция и этапы формирования

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

Предметная группа; результат	Начальный этап: ТК и письменный РК	Базовый этап: аттестация
Р1. Напряжения/деформации; ПК-1,З.1,З.2	О1–О4,Т1–Т3,З1–З2,В1–В4,КР1	ЗЧ2–ЗЧ5,З1–З2; Э1–Э4
Р2. Эксперимент, модели, скольжение, анизотропия;З.1,З.2,З.3	О5–О16,Т4–Т12,В5–В12,З3,С6.1–3,КР1	ЗЧ1,ЗЧ6–ЗЧ16,З3; Э1–Э6,Э17
Р3–Р4. Циклы, приспособляемость, полухрупкие материалы;З.1–З.3	О17–О28,Т13–Т18,В13–В21,З4–З7,С7.1–3,КР2	Э5–Э16,З4–З7
Р5. Ползучесть/релаксация, экспериментальные данные;З.1–З.3	О33–О36,Т21–Т24,В24–В29,З8–З10,С7.5,КР2	Э19–Э28,З8–З10-Б
Р6. Вычисление, проверка и применимость;З.3 и оценка точности	О29–О32,Т19–Т20,В22–В23,В29,С7.3–5	Э17–Э18,Э26–Э28; проверка задачи и вывод в любом билете

Р1–Р6, A–D и B —внутренние обозначения ФОС, не официальные индикаторы. Начальный этап —освоение на текущих заданиях и РК; базовый —самостоятельная постановка, решение и объяснение на зачёте/экзамене. Анализ выданных диаграмм обеспечивает расчётно-экспериментальную составляющую без введения лабораторных работ.

2. Технологические карты 6 и 7 семестров

Утверждённого распределения рейтинга приложения не устанавливают. Предлагается отдельный рейтинг0–100 в каждом семестре: 60 за семестровую работу,40 за аттестацию. Состав60 различается по числу работ. Первичные рубрики исходного ФОС сохраняются с переводом весов; дополнительные пороги не вводятся. Сроки —предлагаемые недели, уточняемые расписанием.

6 семестр: раздел; сроки	Л / Пр / СРС, ч	Контроль; максимумы	Баллы min–max
1; недели1–4	8 / 8 / 14	ПР1–4 по2,5; О1–4	0–10
2; недели5–7	4 / 4 / 14	ПР5–6 по2,5; О5–8	0–5
3; недели8–12	6 / 6 / 18	ПР7–9 по2,5; О9–12	0–7,5
4; недели13–16	4 / 6 / 15,9	ПР10–12 по2,5; тест12→6; КР1 30→16; ИР6 20→8	0–37,5
До зачёта	22 / 24 / 61,9	ПР30 + тест6 + КР16 + ИР8	0–60
Зачёт	КрТО0,1	Два вопроса по10; задача20	0–40
Итого	108 ч	R6=ПР+Т+КР1+ИР6+D6	0–100

7 семестр: раздел; сроки	Л / Пр / СРС, ч	Контроль; максимумы	Баллы min–max
5; недели1–3	6 / 6 / 2	ПР13–15 по2	0–6
6; недели4–5	4 / 4 / 8	ПР16–17 по2	0–4
7; недели6–9	8 / 8 / 14	ПР18–21 по2	0–8
8; недели10–12	4 / 4 / 12	ПР22–23 по2	0–4
9; недели13–18	12 / 12 / 44	ПР24–29 по2; тест12→6; КР2 30→12; ИР7 20→8	0–38
До экзамена	34 / 34 / 80	ПР34 + тест6 + КР12 + ИР8	0–60
Экзамен	КрЭк0,3; контроль31,7	Два вопроса по10; задача20	0–40
Итого	180 ч	R7=ПР+Т+КР2+ИР7+D7	0–100

Практикумы3.3 и4.4 по4 ч разделены на два занятия по2 ч; это12 занятий в6 семестре и17 в7-м. Лекции22/34 и все часы СРС сохранены. В разделе4 СРС=10+5,9, в разделе9=24+20 (последние слагаемые —подготовка к аттестации). ИР выполняются в этих часах, не являются курсовой работой.

КР1 иКР2 —письменно, суммарно по90 календарных минут; для включения в существующие часы предлагаются две части по45 минут на ПР11–12 иПР28–29 соответственно. Условия выдаются частями с заранее объявленным составом; оставшееся время — основные практические действия, расширение —в СРС. Тест6 семестра —на ПР10,7 семестра —на ПР29, по20 минут. К любому РК допускаются все независимо от посещаемости и выполнения других работ (п.3.3 Положения). Нулевые минимумы карты —границы начисления, не условия допуска.

Зачёт: письменная подготовка до45 минут в5,9 ч СРС и индивидуальное уточнение до4,5 минуты в пределах0,1 академического часа. Экзамен: подготовка до60 минут в часах контроля и ответ до13,5 минуты в пределах0,3 академического часа. Это проект регламента для согласования; 31,7 часа контроля не включаются повторно в80 ч СРС. Письменный лист также используется для оценки при кратком собеседовании.

3. Оценочные материалы

Блок А. Проверка знаний

А1. Вопросы текущего контроля О1–О36

Опрос:2 вопроса,5–10 минут в пределах практикума; разрешены собственные записи. Ответ объясняет физический смысл, соотношения, применимость и пример; отдельно баллы не начисляются, результат учитывается в рубрике соответствующей ПР. По теориям скольжения оценивается содержание названных математических моделей по источникам, а не только перечисление механизмов в кристаллах.

О1. По каким признакам различают упругое, пластическое и вязкое деформирование?

О2. Как температура и скорость деформации влияют на пластическое поведение металлов?

О3. Как определить главные напряжения, среднее напряжение и девиатор по тензору напряжений?

О4. Чем тензорная сдвиговая деформация отличается от инженерной? Как записываются малые деформации через перемещения?

О5. Как выделить пластическую деформацию из экспериментальной диаграммы растяжения?

О6. На каком участке допустим стандартный пересчёт условной диаграммы в истинную и почему он ограничен после образования шейки?

О7. Почему критерии Треска и Мизеса по-разному предсказывают начало текучести при чистом сдвиге?

О8. Почему критерий Мизеса не описывает зависимость текучести полухрупкого материала от всестороннего давления?

О9. Чем идеально упругопластическая модель отличается от упрочняющейся?

О10. Какие условия определяют упругое состояние, пластическое нагружение и разгрузку?

О11. Почему деформационная теория имеет ограничения при непропорциональном нагружении?

О12. Как связаны функция текучести, пластический потенциал и приращение пластической деформации?

О13. Как ориентировка площадки влияет на касательное напряжение и активизацию скольжения?

О14. Как в теории Батдорфа — Будянского макроскопическая деформация связана со скольжениями на ориентированных площадках?

О15. Почему поворот главных осей при нагружении требует учёта истории деформирования?

О16. По каким признакам сопоставляют теорию скольжения М. Я. Леонова, деформационную теорию и теорию течения?

О17. В чём состоит эффект Баушингера и какие модели описывают смещение поверхности текучести?

О18. Как строятся ветви циклической диаграммы по принципу Мазинга? Каковы ограничения такого построения?

О19. Чем отличаются изотропное, кинематическое и комбинированное упрочнение?

О20. Как различить упругую приспособляемость, знакопеременную пластичность и прогрессирующее накопление деформаций?

О21. Как боковое давление влияет на диаграмму сжатия и характер разрушения полухрупкого материала?

О22. Что такое дилатансия и чем она отличается от пластической несжимаемости металла?

О23. Чем критерии Мора — Кулона и Друкера — Прагера отличаются по форме поверхности текучести?

О24. Зачем разделяют условие текучести и пластический потенциал при описании чувствительного к давлению материала?

О25. Почему начало текучести не всегда означает исчерпание несущей способности конструкции?

О26. Как изменяется упругое ядро прямоугольного сечения при увеличении изгибающего момента?

О27. Как распространяется пластическая зона при кручении сплошного круглого вала?

О28. Какие предпосылки нужны для применения метода пластических шарниров?

О29. Какие операции выполняются на этапах упругого прогноза и пластической коррекции?

О30. Какие внутренние переменные нужно хранить при расчёте материала с упрочнением?

О31. Чем локальное интегрирование модели материала отличается от глобального решения равновесия?

О32. Почему сходимость итераций не подтверждает автоматически правильность модели и граничных условий?

О33. Чем различаются испытания на ползучесть и релаксацию?

О34. Какие особенности отклика описывают модели Максвелла и Кельвина — Фойгта?

О35. Почему технические теории ползучести могут совпадать при постоянном напряжении и различаться при его изменении?

О36. Как проверить точность численного интегрирования ползучести при изменении временного шага?

А2. Семестровые тесты

6 семестр —Т1–Т12,7 семестр —Т13–Т24; по20 минут. Один правильный ответ,1 первичный балл за верный;0 за неверный, пропуск или несколько отметок. Максимум12 переводится в6 рейтинговых баллов по S/2. Разрешены лист задания и непрограммируемый калькулятор; конспект и готовые ответы запрещены.

Т1. Какой признак определяет пластическую деформацию?

А Отсутствие диссипации

Б Обязательная линейность диаграммы

В Остаточная деформация после разгрузки

Г Полная обратимость

Т2. Чему равно среднее нормальное напряжение?

А Сумме касательных напряжений

Б Второму инварианту девиатора

В Наибольшему главному напряжению

Г Одной трети следа тензора напряжений

Т3. Как связаны инженерная деформация сдвига и тензорная компонента?

А Они равны

Б Связь зависит от модуля упругости

В Тензорная вдвое больше инженерной

Г Инженерная вдвое больше тензорной

Т4. Как выделяется пластическая деформация при одноосном нагружении с линейной упругой частью?

А Приравниванием к полной деформации

Б Делением полной деформации на напряжение

В Вычитанием упругой деформации из полной

Г Вычитанием E из напряжения

Т5. Каково эквивалентное напряжение Мизеса при чистом сдвиге с касательным напряжением τ?

А $\sqrt{3} \cdot |\tau|$

Б $2 \cdot |\tau|$

В τ

Г $3 \cdot |\tau|$

Т6. Каково максимальное касательное напряжение через наибольшее и наименьшее главные напряжения?

А Их среднее арифметическое

Б Их сумма

В Половина их разности

Г Их разность

Т7. Как направлено приращение пластической деформации при ассоциированном течении?

А Всегда вдоль первой координатной оси

Б Независимо от напряжений

В Вдоль касательной к поверхности текучести

Г По нормали к поверхности текучести в пространстве напряжений

Т8. Что задаёт условие согласованности при активном пластическом нагружении?

А Отсутствие упрочнения

Б Постоянство полной деформации

В Сохранение состояния на текущей поверхности текучести

Г Обнуление всех напряжений

Т9. Какой случай соответствует области применения деформационной теории пластичности?

А Произвольная циклическая история

Б Монотонное пропорциональное нагружение при принятых предпосылках

В Обязательное изменение знака напряжения

Г Любая разгрузка с поворотом осей

Т10. Что описывает линейное кинематическое упрочнение Прагера?

А Смещение поверхности текучести

Б Температурное расширение

В Только расширение поверхности текучести

Г Только изменение модуля упругости

Т11. Что суммируется при переходе от скольжений к макроскопической пластической деформации?

А Вклады ориентированных систем или площадок скольжения

Б Только гидростатические давления

В Только температуры зёрен

Г Только объёмные упругие деформации

Т12. Что характерно для пропорционального нагружения с постоянными отношениями всех компонент напряжений?

А Нулевая пластическая деформация

Б Обязательное изменение главных направлений

В Сохранение главных направлений при отсутствии вырождения

Г Обязательная разгрузка

Т13. В чём проявляется эффект Баушингера?

А В снижении сопротивления обратному пластическому деформированию после предварительной пластической деформации

Б В исчезновении упругости

В Только в тепловом расширении

Г В обязательном росте плотности

Т14. Что определяет площадь петли напряжение — деформация за замкнутый цикл?

А Полную массу образца

Б Рассеянную за цикл энергию на единицу объёма

В Модуль упругости

Г Предел текучести

Т15. Что означает упругая приспособляемость?

А После переходного процесса последующие циклы протекают упруго

Б Отсутствие остаточных напряжений при любых условиях

В Любое накопление пластической деформации неограниченно

Г Разрушение в первом цикле

Т16. Что такое дилатансия?

А Неупругое увеличение объёма при деформировании

Б Уменьшение длины без поперечных деформаций

В Изменение температуры

Г Упругая разгрузка без изменения объёма

Т17. Какой критерий явно учитывает влияние среднего напряжения на текучесть?

А Друкера — Прагера

Б Мизеса

В Треска для металла

Г Закон Гука

Т18. С чего начинается пластическая зона в сплошном круглом валу при кручении?

А Только с торцов независимо от расчётной схемы

Б Одновременно по всему сечению

В С оси вала

Г С наружной поверхности

Т19. Что проверяется после упругого прогноза в алгоритме пластичности?

А Только число узлов

Б Только температура окружающей среды

В Только масса конструкции

Г Значение функции текучести для пробного напряжения

Т20. Какой способ наиболее убедителен для первичной проверки модели материала?

А Только отсутствие сообщений об ошибках

Б Использование самой мелкой сетки без сравнения

В Увеличение числа цветов на графике

Г Одноэлементный тест с известным аналитическим откликом

Т21. Какое условие задаётся в стандартном одноосном испытании на релаксацию?

А Постоянное напряжение при свободной деформации

Б Обязательное линейное возрастание силы

В Постоянная полная деформация

Г Нулевая начальная нагрузка

Т22. Что описывает закон Нортона в рассматриваемой постановке?

А Степенную зависимость скорости установившейся ползучести от напряжения

Б Мгновенное разрушение

В Только коэффициент Пуассона

Г Только упругое удлинение

Т23. Какая модель состоит из последовательно соединённых упругого и вязкого элементов?

А Максвелла

Б Идеально пластического шарнира

В Кельвина — Фойгта

Г Идеально жёсткого тела

Т24. Как проверяют точность интегрирования по времени?

А Только по количеству знаков после запятой

Б Только по времени работы программы

В По размеру файла

Г Сопоставлением решений при уменьшении шага и с эталоном

Блок В. Проверка умений

Полный банк З1–З10

Числовые данные учебные. Сохраняйте единицы напряжения, длины и времени; ε_p знаковая пластическая деформация, α накопленная эквивалентная пластическая переменная, ε_c ползучесть. Одна и та же буква в разных физических моделях должна быть определена. Положительное нормальное напряжение —растяжение, кроме В16–В17, где явно принято положительное сжатие.

31 Напряжённое состояние и начало текучести

Тензор напряжений в декартовой системе задан компонентами, МПа: σ11 = 160; σ22 = 100; σ33 = 40; σ12 = σ21 = 40; остальные компоненты равны нулю. Предел текучести при одноосном растяжении — 200 МПа.

Определить главные напряжения, среднее напряжение и девиатор.

Рассчитать эквивалентные напряжения по Мизесу и Треска; установить наличие или отсутствие текучести.

Найти множители пропорционального увеличения всех компонент до начала текучести по каждому критерию.

32 Деформации по полю перемещений

В прямоугольной системе координат заданы перемещения: u = ax + by; v = cx + dy; w = ez. Координаты и перемещения измеряются в мм. Коэффициенты: a = 0,001; b = 0,002; c = 0,004; d = −0,0005; e = 0,0002.

Построить тензор малых деформаций и определить инженерную деформацию сдвига в плоскости xy.

Вычислить объёмную деформацию и выделить девиатор деформаций.

Объяснить допустимость использования линейных геометрических соотношений.

33 Ассоциированное течение при одноосном растяжении

Рассматривается изотропный материал с условием Мизеса. В момент активного пластического нагружения σ11 = 250 МПа; остальные компоненты напряжений равны нулю. Приращение эквивалентной пластической деформации равно 0,001.

По ассоциированному закону течения определить три нормальных приращения пластической деформации.

Проверить пластическую несжимаемость.

Объяснить различие между пластической и полной поперечной деформацией.

dεp = (3/2)·(s/σeq)·dεpeq

В формуле s — девиатор напряжений; множитель перед девиатором применяется покомпонентно.

34 Одноосное нагружение с линейным упрочнением

Стержень длиной 500 мм имеет модуль E = 200 000 МПа и исходный предел текучести 250 МПа. Модуль изотропного упрочнения H = 1000 МПа задан относительно пластической деформации. Полную деформацию увеличивают до 0,01, затем снимают нагрузку до нулевой силы. Деформации малые; разгрузка упругая.

Определить максимальные напряжение и удлинение.

Разделить полную деформацию на упругую и пластическую части.

Рассчитать остаточное удлинение и построить диаграмму нагружения и разгрузки.

σy = 250 + 1000εp МПа; ε = σ/E + εp

35 Упругопластический изгиб прямоугольного сечения

Балка находится в чистом изгибе. Ширина сечения b = 20 мм, высота h = 40 мм. Материал идеально упругопластический с пределом текучести 250 МПа. Изгибающий момент M = 1800 Н·м. Сечение симметрично, гипотеза плоских сечений сохраняется.

Определить момент начала текучести и предельный пластический момент.

Определить полувысоту c упругого ядра и построить эпюру напряжений.

Найти остаточные напряжения на крайних волокнах после полной разгрузки; проверить отсутствие обратной текучести.

З6 Упругопластическое кручение круглого вала

Радиус сплошного круглого вала R = 10 мм. Материал идеально упругопластический с пределом текучести при сдвиге 150 МПа и модулем G = 80 000 МПа. Крутящий момент T = 280 Н·м. Рассматривается равномерное кручение вдали от концов.

Определить моменты начала текучести и предельного пластического состояния.

Определить радиус с упругого ядра и построить распределение касательных напряжений.

Вычислить относительный угол закручивания на единицу длины.

З7 Предельная нагрузка балки

Шарнирно опёртая балка пролётом L = 2 м нагружена сосредоточенной силой в середине пролёта. Пластический момент сопротивления Wp = 8000 мм³; предел текучести материала — 250 МПа. Материал идеально упругопластический; потеря устойчивости, срез и хрупкое разрушение исключены из рассматриваемой модели.

Найти пластический момент и предельную силу статическим способом.

Построить механизм с пластическим шарниром в середине пролёта и применить принцип виртуальных работ.

Сопоставить результаты двух способов и указать ограничения расчёта.

З8 Ползучесть при постоянном напряжении

При постоянной температуре материал подчиняется закону Нортона с показателем n = 3 и коэффициентом A = 10^{-12} $МПа^{-3}·ч^{-1}$. Напряжение 100 МПа поддерживается постоянным в течение 100 ч. Начальная деформация ползучести равна нулю; длина стержня — 1000 мм. Используется приближение малых деформаций.

Определить скорость и накопленную деформацию ползучести.

Найти удлинение от ползучести.

Объяснить, почему этих данных недостаточно для определения времени до разрушения.

$\dot{\varepsilon}c = A\sigma 3$

З9 Релаксация напряжений

Для материала из З8 принять E = 200 000 МПа. Начальное напряжение равно 100 МПа. После нагружения полная деформация фиксируется. Температура постоянна; другие неупругие механизмы не учитываются.

Вывести уравнение релаксации из условия постоянства полной деформации.

Получить аналитическую зависимость напряжения от времени.

Определить напряжение через 100 ч и проверить направление его изменения.

$\dot{\sigma} = -EA\sigma 3$

З10 Проверка численного алгоритма

Выбрать одну постановку: А — одноосное нагружение стержня З4 с разгрузкой; Б — релаксация по З9. Выполнить расчёт в согласованной среде либо представить воспроизводимый псевдокод с таблицей ручной проверки.

Для А использовать упругий прогноз и пластическую коррекцию; для Б — явную схему Эйлера и шаги 10, 5 и 2,5 ч.

Сопоставить результат с аналитическим решением; привести таблицу ошибок и график.

Для А проверить остаток функции текучести и неотрицательность накопленной пластической деформации; для Б — монотонное снижение положительного напряжения.

Сделать вывод о достаточности шага и указать источник возможных ошибок.

Практические задания В1–В29

Каждый Bn соответствует ПРn,2 академических часа; код занятия РПД указан в заголовке. Недостающие данные и отдельные полные условия конкретизированы автором по РПД. Продукт: схема/история, данные, уравнения, расчёт, таблица/график, проверка и вывод; исходный файл или воспроизводимый псевдокод при вычислении. Базовые расчёты на ПР оцениваются отдельно от новых сравнительных исследований ИР, повторного начисления за одно действие нет.

В1. ПР1: Признаки упругости, пластичности и вязкости (1.2)

Авторская учебная таблица. При E=200000 МПа: образец A нагружен до σ=200 МПа, ε=0,001 и после разгрузки имеет ε=0; B до σ=300 МПа, ε=0,005 и после снятия силы имеет ε=0,0035; C при σ=100 МПа имеет полную ε=0,0005 сразу и 0,00052 через 20 ч. Классифицируйте отклики, найдите упругую и остаточную части, укажите, каких дополнительных испытаний не хватает для различения пластичности и вязкости.

В2. ПР2: Напряжённое состояние (1.4)

Выполните первую часть З1: главные напряжения, направления, среднее напряжение, девиатор и инварианты. Проверьте спектр подстановкой и след девиатора; координатные оси и единицы сохраните.

В3. ПР3: Круги Мора и вид состояния (1.6)

Используйте З1. Постройте три круга Мора, найдите максимальное касательное напряжение и трёхосность trσ/(3σM). Найдите напряжение на площадке с n=(1/√2;1/√2;0), выделите нормальную и касательную части. Проверьте $|t|^2=\sigma n^2+|\tau n|^2$.

В4. ПР4: Малые деформации (1.8)

Выполните З2; дополнительно найдите малый поворот ωz=(v,x−u,y)/2. Проверьте, что постоянный градиент перемещений даёт совместное поле, и сравните с малым жёстким поворотом u=−0,001y,v=0,001x,w=0.

В5. ПР5: Диаграмма растяжения и упрочнение (2.2)

Авторские данные образца: A0=100 мм², L0=50 мм, E=200000 МПа. Сила F, Н: 0;10000;20000;25000;25500;26000. Удлинение ΔL, мм: 0;0,025;0,050;0,0625;0,31375;0,565. На всём данном участке принять однородное деформирование до шейки. Постройте условную диаграмму, определите Rp0,2 по смещению 0,002, выделите εр и Н относительно εр. Подготовьте также истинные σ и ε и объясните ограничения пересчёта. Занятие 2.2 — работа в команде по РПД, расчёт и защита индивидуальны.

В6. ПР6: Критерии Треска и Мизеса (2.4)

Завершите З1: эквивалентные напряжения, текучесть и множители нагрузки. При исходном одноосном пределе 200 МПа отдельно найдите предел текучести при чистом сдвиге по обоим критериям; сравните гидростатический сдвиг напряжений +100 МПа по диагонали.

В7. ПР7: Поверхности текучести: построение (3.3а)

Тема 3.3, первая половина 4 ч. В плоском напряжённом состоянии σ3=τxy=0, σy0=200 МПа. Постройте контуры Треска и Мизеса в плоскости (σx,σy); отметьте одноосное, равнодвухосное растяжение и чистый сдвиг в главных координатах. Обоснуйте форму и проверку контрольных точек.

В8. ПР8: Траектории нагружения и выбор модели (3.3б)

Тема 3.3, вторая половина. История A: σx от 0 до 300 МПа при остальных нулевых; история B: сначала σx от 0 до 250 МПа, затем при σx=250 τxy от 0 до 100 МПа, остальные

компоненты нулевые. Сравните пропорциональность, главные оси и пригодность деформационной/инкрементальной теории; постройте траектории и объясните, какие данные материала нужны для расчёта деформаций. Дополнительно рассмотрите разгрузку и последующее сжатие.

В9. ПР9: Деформационная теория при простом нагружении (3.5)

Авторское уточнение. Монотонно пропорциональное нагружение до $(\sigma x,\sigma y,\sigma z)=(300;150;0)$ МПа, сдвиги нулевые. $E=200000$ МПа, $\nu=0,3$; единая диаграмма $\sigma eq=250+1000\varepsilon peq$ МПа после текучести. Найдите эквивалентную пластическую деформацию, компоненты $\varepsilon p=(3/2)(s/\sigma eq)\varepsilon peq$, упругие и полные деформации. Объясните, почему эту конечную связь нельзя автоматически применять к разгрузке.

В10. ПР10: Ассоциированное течение и упрочнение (4.2)

Выполните З3. Дополнительно: $E=200000$ МПа, $\nu=0,3$, $H=1000$ МПа, исходно $\sigma=(250;0;0)$ МПа, накопленная пластическая переменная 0; $d\varepsilon=(0,0002;-0,00006;-0,00006)$, сдвиги 0. По дифференциальному условию согласованности Мизеса найдите $d\lambda=d\varepsilon peq$ и $d\sigma$. Это заданное приращение всех трёх деформаций, не условие свободных боков. При $\varepsilon p11=0,001$ сравните радиус изотропной поверхности и смещение центра одноосной кинематической модели с модулем 1000 МПа.

В11. ПР11: Ориентированные площадки (4.4а)

Тема 4.4, первая половина. $\sigma=diag(200;0;0)$ МПа; $n=(\cos\theta;\sin\theta;0)$, $m=(-\sin\theta;\cos\theta;0)$, $\theta\in[0;90°]$. Найдите разрешённое касательное напряжение $m\cdot\sigma n$, активные ориентации по учебному условию $|\tau|\geq 80$ МПа и направления максимального сдвига. Схема служит геометрической проверкой; она не заменяет полную математическую теорию скольжения.

В12. ПР12: Поворот главных направлений (4.4б)

Тема 4.4, вторая половина. Тензор diag(200;100;0) МПа поверните вокруг z на 0°,45°,90°: $\sigma=Qdiag(200,100,0)Q^T$. Найдите компоненты, σeq и разрешённое τ на фиксированной площадке $n=(1;0;0),m=(0;1;0)$. Сопоставьте с пропорциональным увеличением исходного тензора. Объясните роль истории ориентированных сопротивлений по источникам С6.2; единственный конечный тензор не считается достаточным для произвольной истории.

В13. ПР13: Мазинг и площадь петли (5.2)

$E=200000$ МПа, идеально упругопластическая основная диаграмма с $\sigma y=250$ МПа. Амплитуда стабилизированной симметричной полной деформации $\varepsilon a=0,005$. Постройте ветви по правилу Мазинга $\Delta\sigma=2f(\Delta\varepsilon/2)$, где f — заданная основная диаграмма; вычислите диапазон пластической деформации и энергию за цикл. Объясните, подтверждает ли такая модель эффект Баушингера.

В14. ПР14: Циклическое упрочнение (5.4)

Сравните одноосные модели: $E=200000$ МПа, $\sigma y0=250$ МПа; изотропная $\sigma y=250+H\alpha$, $H=1000$ МПа; кинематическая $|\sigma-X|\leq 250$, $dX=C\,d\varepsilon p$, $C=1000$ МПа. История полной ε: $0\to0,005\to0\to-0,005\to0\to0,005$; каждый участок разбейте на 20 равных шагов. Представьте σ, знаковую εp, накопленную α и X, петли и начало обратной текучести. α и знаковую εp не смешивать.

В15. ПР15: Остаточные усилия и приспособляемость (5.6)

Два параллельных стержня длиной 1000 мм соединены жёсткими траверсами, удлинения одинаковы; площадь каждого 100 мм². $E1=200000,E2=100000$ МПа; идеально пластические пределы 200 и 300 МПа. Общая осевая сила растёт от 0 до 40000 Н и снимается до 0. Найдите начало текучести, максимальные и остаточные напряжения/удлинение. Проверь-

те, возможны ли последующие упругие циклы $P \in [0;40000]$ при самоуравновешенных остаточных напряжениях.

В16. ПР16: Полухрупкий материал под давлением (6.2)

Учебные данные трёхосного сжатия: боковое давление $p3=0;10;20$ МПа, максимальные осевые сжимающие напряжения $S1=60;100;140$ МПа. Сжатие в этой задаче положительно. Постройте зависимость прочности от давления и определите c,φ из $S1=p3(1+\sin\varphi)/(1-\sin\varphi)+2c\cos\varphi/(1-\sin\varphi)$. Объясните, почему этих трёх максимумов недостаточно для восстановления полной диаграммы, дилатансии и устойчивого постпикового поведения.

В17. ПР17: Мор — Кулон и Друкер — Прагер (6.4)

По данным В16 калибруйте гладкую поверхность $q-kp-d=0$ на меридиане трёхосного сжатия, $p=(S1+S2+S3)/3$, $q=\sqrt{(((S1-S2)^2+(S2-S3)^2+(S3-S1)^2)/2)}$, сжатие положительно. Сравните состояния (100;10;10) и (100;55;10) МПа по Мору — Кулону и полученному Друкеру — Прагеру. Для потенциала $g=q-\beta p$ сравните $\beta=k$ и $\beta=0{,}2$ по объёмной пластической составляющей. Занятие 6.4 — мозговой штурм/командное обсуждение по РПД, результат индивидуален.

В18. ПР18: Растяжение стержня и разгрузка (7.2)

Выполните З4. Дополнительно найдите касательный модуль по полной деформации и объясните его отличие от H. Разгрузка заканчивается при $\sigma=0$, а не обязательно при полной $\varepsilon=0$.

В19. ПР19: Пластические зоны при изгибе (7.4)

Выполните З5. Для графика выберите положительное y на стороне первоначального растяжения, чтобы $\sigma=+\sigma_y$ вне ядра при $y>0$. Проверьте равнодействующую, момент и остаточную эпюру; момент в формулах переведите в Н·мм.

В20. ПР20: Пластические зоны при кручении (7.6)

Выполните З6. Проверьте $T=2\pi\int\tau(r)r^2dr$ и предел $c=R$. В СРС дополнительно исследуйте $T=260;280;300$ Н·м при тех же данных.

В21. ПР21: Пластический механизм балки (7.8)

Выполните З7. Левая опора — неподвижный шарнир, правая — подвижный с вертикальной реакцией. Собственный вес не учитывать. Дайте статическое и кинематическое обоснования предельной силы, поясните исключённые формы разрушения.

В22. ПР22: Упругий прогноз и пластическая коррекция (8.2)

Выполните З10-А для З4: нарастите ε до 0,01 за 20 равных шагов, затем снимайте нагрузку по упругой ветви до $\sigma=0$. Сохраните напряжение, знаковую ε_p и накопленную α. Приведите общий псевдокод J2-возврата с G и H; отдельно объясните, почему для свободного одноосного образца знаменатель E+H, а для заданного трёхмерного приращения —3G+H.

В23. ПР23: Верификация расчётной модели (8.4)

Стержень З4, площадь 100 мм², один конец закреплён, на другом задано удлинение 5 мм, боковые грани свободны. Сравните 2,4,8 равных стержневых элементов с одной материальной моделью или собственную эквивалентную дискретную реализацию. Проверьте однородность деформации, реакцию и разгрузку до нулевой силы. Объясните, почему отсутствие сеточной ошибки в этом тесте не доказывает точность для концентратора.

B24. ПР24: Кривая ползучести (9.2)

Учебная таблица при σ=100 МПа и постоянной температуре: t=(0;10;20;40;60;80;100) ч; εc=(0;0,00004;0,000065;0,00010;0,00012;0,00014;0,00016). Оцените скорости на интервалах, выделите участок установившейся ползучести и его скорость, отличите накопленную первичную деформацию от линейного продолжения вторичного участка. Данных о третичной стадии нет — не прогнозируйте разрушение.

B25. ПР25: Реологические модели (9.4)

E=200000 МПа, η=$2\cdot10^{7}$ МПа·ч; ступень напряжения 100 МПа при t=0. Рассчитайте ползучесть Максвелла и Кельвина — Фойгта в t=0+,100 ч. Для фиксированной ε0=0,0005 найдите релаксацию Максвелла и стандартного линейного тела с E∞=E1=100000 МПа, η1=10^{7} МПа·ч. Объясните особенность мгновенного скачка ε в модели Кельвина — Фойгта. По суперпозиции для Максвелла найдите ε(100), если к 100 МПа в 50 ч добавили ещё 50 МПа.

B26. ПР26: Параметры Нортона (9.6)

При одной температуре скорости установившейся ползучести: при 100 МПа —10^{-6} $ч^{-1}$, при 150 МПа —$3{,}375\cdot10^{-6}$ $ч^{-1}$. Определите A,n и размерность A в $\dot{\varepsilon}_c=A\sigma^{n}$. Выполните З8, объясните ограничения диапазона и температурной экстраполяции.

B27. ПР27: Технические теории при переменной нагрузке (9.8)

Для постоянного σ кривая $\varepsilon_c=B\sigma^{3}t^{2}$, B=$10^{-14}$ $МПа^{-3}\cdot ч^{-2}$. Сравните временное упрочнение $\dot{\varepsilon}_c=2B\sigma^{3}t$ (время от начала опыта) и деформационное упрочнение $\dot{\varepsilon}_c=2\sqrt{(B\sigma^{3}\varepsilon_c)}$ при истории σ=100 МПа на 0–50 ч, затем 150 МПа на 50–100 ч. Первую стадию задайте аналитической положительной ветвью, затем продолжите из накопленной εc(50), не обнуляя время или деформацию. Объясните, почему равенство кривых при постоянном σ не гарантирует равенства на ступени.

B28. ПР28: Ползучесть стержня и перераспределение (9.10)

Выполните З8–З9. Дополнительно в СРС: два параллельных стержня с общим удлинением, длина 1000 мм, площадь каждого 100 $мм^{2}$, E=200000 МПа. Общая постоянная сила 20000 Н; исходно σ1=σ2=100 МПа. Первый ползёт по Нортону A=10^{-12} $МПа^{-3}\cdot ч^{-1}$,n=3, второй упругий. Найдите σ1,σ2 и удлинение через 100 ч из равновесия и совместности. Температура постоянна, геометрические изменения площадей не учитываются.

B29. ПР29: Численное интегрирование ползучести (9.12)

Выполните З10-Б по З9 с h=10;5;2,5 ч. Дополнительно сравните неявный Эйлер: $\sigma_{new}+hEA\sigma_{new}^{3}=\sigma_{old}$, выбирая единственный положительный корень. Таблица ошибок, монотонность и единицы обязательны; назовите различие устойчивости и точности.

Блок С. Владение методами и исследовательские задания

C6. Индивидуальная работа6 семестра

Выберите одну из трёх равноправных тем; все данные указаны далее. ИР — сравнительный анализ и обоснование применимости, базовые вычисления В не оцениваются повторно. Отчёт3–6 страниц, таблица сравнения и источники, защита до5 минут внутри ПР12. Первично0–20, в рейтинге0–8 (0,4S).

С6.1. По историям В8 составьте сравнительную таблицу деформационной теории и ассоциированной теории течения: состояние/приращение, история, разгрузка, поворот осей, внутренние переменные. Используйте E=200000,ν=0,3,σy0=250,H=1000 МПа как учебную материальную модель, но не требуйте совпадения теорий вне предпосылок. Для контроля монотонного пропорционального случая используйте В9, для непропорциональной истории обоснуйте, какие дополнительные экспериментальные данные нужны.

С6.2. Сопоставьте математическую теорию Батдорфа — Будянского [3] и конкретный вариант Леонова — Швайко [4]: ориентированные переменные, взаимодействие скольжений, история, поворот осей и ограничения. Используйте в[3] разделы постановки и основных предпосылок, в[4] с.1007–1009, разделы1–3. Привяжите геометрическую диагностику к В11–В12, отделяя её от интегрирования теории. Точные библиографические ссылки и адреса даны в разделе5; самостоятельный поиск недостающих формул не заменяет описание использованного варианта. Отдельно укажите, что статья1964 года —конкретная модель, а не все работы М.Я.Леонова.

С6.3. По таблице В5 подготовьте условную/истинную диаграммы и таблицу пластического упрочнения. Сравните Н по εр с касательным наклоном по полной ε; выделите Rp0,2 и границу применимости пересчёта. Оцените влияние изменения Е на±5% на выделенную εр в последней точке. Это исследование сверх базового построения В5; в ИР оцениваются сравнение, чувствительность и ограничения.

С7. Индивидуальная работа7 семестра

Выберите одну тему. Отчёт4–8 страниц, расчётный файл/листинг, таблицы, независимая проверка и вывод; защита до5 минут на ПР28–29 в свободной от РК части. Первично0–20, в рейтинге0–8. Для ИР оценивается новое сравнительное исследование, не уже начисленные базовые шаги ПР.

С7.1. Модели В14: выполните5 полных циклов ε от−0,005 до+0,005 с20 шагами на ветвь после исходного нагружения. Сравните изотропную и кинематическую модели, крайние напряжения каждого цикла, площадь петель и α; если цикл не замкнут, укажите работу по пути и изменение внутреннего состояния вместо утверждения о чистой диссипации. Повторите для амплитуды0,004. Отделите изменение поверхности от погрешности шага.

С7.2. Данные В16 и модели В17: сравните прогнозы для давления0;10;20 МПа и для состояния с промежуточным S2=55 МПа. Проанализируйте разницу ассоциированного и неассоциированного потенциалов; какие данные о поперечных деформациях нужны для их выбора? Не выдавайте три пика прочности за полную валидацию.

С7.3. Выберите балку З5 при М=1400;1600;1800 Н·м либо вал З6 при Т=260;280;300 Н·м. Сравните аналитическую пластическую зону с МКЭ или собственной квадратурой сечения на100;200;400 равных полос/радиальных интервалов. Для балки Е=200000 МПа, для вала G из З6. Варьируйте кривизну/закручивание, чтобы интеграл момента совпал с заданным; представьте ошибки ядра и момента. При отсутствии МКЭ собственный алгоритм полностью допустим.

С7.4. Проверьте З10-А/В22 при10;20;40 шагах нагружения доε=0,01, разгрузка доσ=0. Сравните накопленную α, остаточное удлинение, f и ветвь разгрузки. Объясните, почему для данного линейного одноосного закона шаговые результаты могут совпасть до округления. Дополнительно измените Н на±10%.

С7.5. Идентифицируйте Нортона по В26, затем проверьте З9 численно при h=10;5;2,5 ч явным и неявным Эйлером. Повторите при начальном напряжении90 МПа. Сопоставьте ошибки, положительность и монотонность; не прогнозируйте срок разрушения по модели без повреждения.

С8. Письменный рубежный контроль

КР1: З1,З2,З3; по10 первичных баллов, всего30; две части по45 минут. Часть1 —З1 и тензор/сдвиг З2, часть2 —объёмная/девиаторная часть З2 и З3. КР2: вариантА —З4,З5,З8; вариантБ —З6,З7,З9. Часть1 —первые две задачи, часть2 —третья и завершение проверок первых двух. Все условия выдаются полностью, распределение частей сообщается заранее. Разрешены калькулятор и выданный лист формул без ключей. Работа письменная, доступна всем по п.3.3 Положения. КР1 в рейтинге16S/30, КР2 —12S/30.

Блок D. Зачёт и экзамен

В каждом билете два теоретических вопроса и одна задача: до10+10+20=40 баллов. Письменный лист с формулами, вычислениями и проверкой обязателен; ответ также учитывает письменную часть. Разрешены непрограммируемый калькулятор и выданный лист формул без решений; запуск программного комплекса не требуется. Временной регламент — раздел2. Дополнительных минимумов за каждый вопрос/задачу нет.

D6. Вопросы к зачёту

ЗЧ1. Физические механизмы пластического деформирования монокристаллов и поликристаллов.

ЗЧ2. Тензор напряжений, главные напряжения и инварианты.

ЗЧ3. Сферическая и девиаторная составляющие напряжённого состояния.

ЗЧ4. Круги Мора и характеристики вида напряжённого состояния.

ЗЧ5. Малые деформации, условия совместности и разложение деформаций на составляющие.

ЗЧ6. Экспериментальные диаграммы деформирования и определение характеристик упрочнения.

ЗЧ7. Критерий Треска — Сен-Венана.

ЗЧ8. Критерий Губера — Мизеса и сопоставление с критерием Треска.

ЗЧ9. Поверхность текучести, внутренние переменные, нагружение и разгрузка.

ЗЧ10. Постулат Друкера и принцип максимума пластической диссипации.

ЗЧ11. Деформационная теория пластичности и её область применимости.

ЗЧ12. Простое нагружение и теорема А. А. Ильюшина.

ЗЧ13. Ассоциированный закон пластического течения и условие согласованности.

ЗЧ14. Изотропное упрочнение и линейное кинематическое упрочнение Прагера.

ЗЧ15. Теория скольжения Батдорфа — Будянского.

ЗЧ16. Подход М. Я. Леонова и влияние поворота главных направлений при нагружении.

Задачи к зачёту: З1–З3. Для проверки условия согласованности в билете с З3 дополнительно выдаётся приращение из В10 с полными E,ν,H и $d\varepsilon$; оно входит в те же20 баллов. Это конкретизация второго типового задания п.5.5 РПД, не отдельный контроль.

Билет	Вопросы	Задача
1	ЗЧ1 и ЗЧ9	З1
2	ЗЧ2 и ЗЧ10	З2
3	ЗЧ3 и ЗЧ11	З3
4	ЗЧ4 и ЗЧ12	З1
5	ЗЧ5 и ЗЧ13	З2
6	ЗЧ6 и ЗЧ14	З3
7	ЗЧ7 и ЗЧ15	З1
8	ЗЧ8 и ЗЧ16	З2

D7. Вопросы к экзамену

Э1. Постановка краевой задачи упругопластического деформирования при малых деформациях.

Э2. Выбор критерия текучести и закона течения для заданного материала.

Э3. Деформационная теория и теория течения: предпосылки, различия и ограничения.

Э4. Пластическая работа и диссипация энергии.

Э5. Эффект Баушингера и принцип Мазинга.

Э6. Модели изотропного, кинематического и комбинированного упрочнения.

Э7. Остаточные напряжения после неоднородного пластического деформирования.

Э8. Приспособляемость и прогрессирующее накопление пластических деформаций.

Э9. Деформирование полухрупких материалов при различном боковом давлении.

Э10. Дилатансия и гипотеза всестороннего разрыхления.

Э11. Критерии Мора — Кулона и Друкера — Прагера; ассоциированное и неассоциированное течение.

Э12. Упругопластическое растяжение и разгрузка стержня.

Э13. Перераспределение и остаточные усилия в статически неопределимой стержневой системе.

Э14. Упругопластический изгиб прямоугольного сечения.

Э15. Упругопластическое кручение сплошного круглого вала.

Э16. Предельный анализ и метод пластического механизма.

Э17. Упругий прогноз и пластическая коррекция в модели Мизеса.

Э18. Проверка конечно-элементной модели упругопластического деформирования.

Э19. Стадии ползучести и влияние температуры и напряжения.

Э20. Линейная вязкоупругость: модели Максвелла, Кельвина — Фойгта и стандартного линейного тела.

Э21. Принцип суперпозиции Больцмана и ограничения линейного описания.

Э22. Законы Нортона и Нортона — Бейли; определение параметров по эксперименту.

Э23. Технические теории ползучести при постоянном и переменном напряжении.

Э24. Релаксация напряжений при фиксированной полной деформации.

Э25. Перераспределение усилий вследствие ползучести.

Э26. Явное и неявное интегрирование закона ползучести.

Э27. Проверка численного решения по аналитическим и экспериментальным данным.

Э28. Ограничения прогноза длительного деформирования при экстраполяции исходных данных.

Экзаменационные задачи: З4–З9. В билете с З9 дополнительно выполните явный Эйлер на0–100 ч с шагом10 ч и сравните с шагом5 ч (представить последовательность/таблицу, допускается калькулятор). Это обеспечивает численную часть типового задания8 п.5.5 РПД; входные данные и аналитическая проверка из З9, формула шага из З10-Б выдаются вместе с условием. Численная часть выполняется таблицей с калькулятором; запуск кода не требуется. Максимум задачи остаётся20.

Билет	Вопросы	Задача
1	Э1 и Э19	З4
2	Э2 и Э20	З5

Билет	Вопросы	Задача
3	Э3 и Э21	36
4	Э4 и Э22	37
5	Э5 и Э23	38
6	Э6 и Э24	39
7	Э7 и Э25	35
8	Э8 и Э26	36
9	Э9 и Э27	34
10	Э10 и Э28	37
11	Э11 и Э17	38
12	Э12 и Э18	39
13	Э13 и Э22	35
14	Э14 и Э23	36
15	Э15 и Э24	37
16	Э16 и Э26	38

4. Процедуры и критерии оценивания

Практическая работа и каждая задача КР, первично0–10: постановка/единицы0–2, модель и уравнения0–3, вычисления/алгоритм0–3, проверка и физический вывод0–2. Полный максимум —полное корректное выполнение, промежуточный целый балл —доля верных действий с пояснением,0 —отсутствует или принципиально неверно. ПР6 семестра в рейтинг2,5S/10,7 семестра —2S/10. Опрос и СР входят в ту же рубрику, отдельно не суммируются.

ИР6 / ИР7, первичная рубрика	Максимум
Обоснование новой сравнительной постановки и данных	4
Корректность сравниваемых моделей и метода	4
Воспроизводимость именно дополнительного исследования	4
Независимая проверка/чувствительность и ограничения	4
Самостоятельное объяснение и ответы на защите	4

Для критерия ИР:4 —полно и верно;3 —мелкие неточности;2 —частично, основной смысл сохранён;1 —фрагментарно;0 —нет результата/принципиальная ошибка. Сумма до20 переводится в8 как0,4S. Базовые вычисления, уже оценённые в ПР, не приносят повторных баллов; проверяются новые серии, сравнения и выводы, прямо заданные в С6/С7.

Аттестация	Максимум
Каждый теоретический ответ: определения и физический смысл	3
Соотношения и логика	3
Предпосылки и ограничения	2
Пример и проверка/уточнение	2
Расчётная задача: схема, данные и допущения	4
Модель и уравнения	6
Вычисления и результат	6
Проверка и интерпретация	4

По критериям аттестации —целые0…максимум: полный балл при полном выполнении, промежуточные —по доле правильных действий,0 при отсутствии/принципиальной ошибке. Половина максимума соответствует содержательному частичному выполнению без завершённого результата; для нечётного максимума ближайшее целое определяется полнотой. Арифметическая ошибка не обнуляет верную модель. Ошибку не штрафуют повторно: учитывают её самостоятельные последствия.

R6 иR7 рассчитывают отдельно, баллы семестров не складывают и не усредняют. Промежуточные переводы весов не округлять; итог округляется один раз до целого,0,5 вверх. По Положению:85–100 отлично,70–84 хорошо,60–69 удовлетворительно,менее60 неудовлетворительно. Для зачёта60–100 —зачтено,0–59 —не зачтено; для экзамена — четырёхуровневая шкала. Дополнительные минимумы компонентов из примерного ФОС не переносятся без утверждённого основания.

Высокий уровень: самостоятельная модель, расчёт, количественная проверка и ограничения; достаточный: правильное решение с мелкими пробелами; пороговый: типовая задача с ограниченным обоснованием; ниже порогового: неверная модель/расчёт и отсутствие объяснения. Оценка предметной части ПК-1 опирается также на наблюдаемые действия, не только сумму.

ПР: краткий отчёт2–5 страниц, файл/листинг при вычислении, защита до4 минут внутри занятия. Для ИР условия указаны в С. Применимы Python/NumPy/SciPy/Matplotlib, GNU Octave, доступные ANSYS/Abaqus по РПД; при отсутствии комплекса принимается собственный алгоритм с эталоном. Среда и версии фиксируются, марка ПО на оценку не влияет. СР —подготовка/оформление/исследование, дополнительных лабораторных или курсовых работ нет. При техническом сбое работа продолжается на исправном месте или переносится без штрафа за сам сбой.

Повторные защиты и аттестация —по локальному порядку; последняя подтверждённая оценка заменяет прежнюю, попытки не суммируются. Посещаемость не ограничивает допуск к РК. Специальные условия доступности обеспечиваются по установленным условиям обучения при сохранении содержания контроля.

5. Методические указания обучающимся

До расчёта укажите физическую модель, малость деформаций, историю нагрузки и знаки. Различайте σy и σeq, полную и пластическую ε, знаковую εp и накопленную α, модуль H по пластической деформации и наклон полной диаграммы. В ползучести единицы времени должны совпадать с размерностью A. Температура и диапазон эксперимента —часть данных, а не необязательное пояснение.

СРС по РПД	Содержание и проверяемый продукт
1.9;14 ч	В1–В4: типы деформирования, тензоры/инварианты/деформации, схемы состояния.
2.5;14 ч	В5–В6: диаграммы и пластическая деформация, Треска/Мизес; учебная таблица и графики.
3.6;18 ч	В7–В10: деформационная/инкрементальная теории, поверхности и приращения, таблица моделей.
4.5;10 ч +4.6;5,9 ч	В11–В12 и С6: теории скольжения и источники;5,9 ч —подготовка к зачёту.
5.7;2 ч	В13–В15: циклы/остаточные напряжения/приспособляемость; расширение ИР7 внутри выбранного тематического блока.
6.5;8 ч	В16–В17: давление, диаграммы, критерии и потенциал; сравнительная таблица.
7.9;14 ч	В18–В21: стержень/балка/вал/механизм, пластические зоны и остаточные деформации.
8.5;12 ч	В22–В23: скрипт/псевдокод, внутренние переменные, сходимость шага/сетки.
9.13;24 ч +9.14;20 ч	В24–В29: обработка кривых, идентификация, релаксация и интегрирование;20 ч —подготовка к экзамену.

ИР6 размещается в СРС разделов2–4 по выбранной теме; ИР7 —в СРС выбранного раздела5–9, не сверх указанного объёма. Основной расчёт выполняйте последовательно: данные/единицы —схема —модель —уравнения —расчёт —проверка —вывод. Для численного решения нужны исходный файл, версии, порядок запуска и таблица сравнения с эталоном. Изменяйте шаг при фиксированных данных, а параметры материала —отдельно; гладкий график и завершившиеся итерации точность не доказывают.

Для устного ответа: физическое явление, основные соотношения, условия применимости и проверочный пример. По скольжению называйте конкретную математическую модель и источник, историю ориентированных переменных; общая схема кристалла не заменяет её содержания. Для сравнения с опытом укажите неопределённость измерений и область данных; прогноз деформации не равен прогнозу разрушения.

Источники и статус решений

[1] РПД «Основы теории пластичности и ползучести», КРСУ,2026, разделы3–5,8; дополнительный ФОС; Положение о ФОС и макет. [2] Литература РПД: Колмогоров В.Л. Пластичность и разрушение. М.: Металлургия,1977; Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твёрдого тела. М.: Наука,1988. Учебные числа В и конкретизации ИР разработаны для настоящего комплекта, не выдаются за данные реальных испытаний.

[3] Batdorf S.B., Budiansky B. A Mathematical Theory of Plasticity Based on the Concept of Slip. NACA TN1871,1949. Постановка, история ориентированных сдвигов и суммирование: с.1–7. https://ntrs.nasa.gov/citations/19930082547

[4] Леонов М.Я., Швайко Н.Ю. Сложная плоская деформация // Докл. АН СССР.1964.Т.159.№5.С.1007–1010, разделы1–3. https://www.mathnet.ru/rus/dan30652

[5] Ilyushin A.A. The Theory of Plasticity in the Case of Simple Loading Accompanied by Strain-Hardening. NACA TM1207,1949; перевод статьи ПММ1947,Т.11,№2,С.293–296. https://ntrs.nasa.gov/citations/19930094862 . Источники[3]–[5] использованы для уточнения теоретических ориентиров; авторские вычислительные примеры не называются их полными реализациями.