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 «Гидромеханика»

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 «Гидромеханика».

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 Компетенции и этапы формирования
2 Технологическая карта
3 Оценочные материалы блоков A B C D
4 Процедуры и критерии
5 Методические указания

Сведения о дисциплине

Показатель	По РПД
Дисциплина	Гидромеханика
Направление и профиль	15.03.03 — РФ;650500 — КР «Прикладная механика»; «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»
Место в ООП	Б1.В.1.ДВ.02;
Обучение	Бакалавр, очная форма;4 курс,8 семестр;12 недель
Трудоёмкость	3 ЗЕТ;108 ч: лекции16,ПР32,СРС59,9,КрТО0,1; аудиторные48,контактные48,1. Интерактивные2 ч входят в ПР.
Аттестация	Зачёт с оценкой в8 семестре по титульной таблице. Курсовых работ и лабораторных занятий нет.
Основание	РПД от3 сентября2026 г.; учебный план от26.06.2026,протокол№11
Исполнители	к.ф.-м.н. Герман Константин Анатольевич; к.т.н. Джаманкулов Азамат Кенешбекович — составители РПД

ФОС охватывает свойства сред, гидростатику, балансы, идеальное и вязкое течение, фильтрацию, реологию, многофазный перенос, трещины и верификацию численной модели.

1 Компетенции 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.

Код РПД	Результат	Начальный этап A B C	Базовый этап D
3.1.1	основные физические свойства жидкостей и газов; основы кинематики: общие законы и уравнения статики и динамики жидкостей и газов; одномерные потоки жидкостей и газов; элементы подобия гидродинамических процессов; теорию гидродинамических сопротивлений; потоки вязких жидкостей; роль гидродинамики в геологоразведке; законы фильтрации нефти, газа и воды; установившиеся и неустановившиеся движения жидкости и газа в пористой среде; основы теории многофазных систем; особенности фильтрации неньютоновской жидкости; движение жидкости и газов в трещиноватых и трещиновато-пористых средах.	В1–32;Т1–20;З1–12;ПР1–16;РК1/2	Вопросы всех билетов; В1 и отчётные пояснения
3.2.1	производить расчеты: равновесия жидкостей и газов, их движения и истечения в различных средах, массообмена при различных комбинациях видов фаз, проектировать системы подачи и эвакуации жидких и газообразных сред.	З1–11;ПР1–13/16;Д1;РК1/2	Задача билета и схема; ПР12/16 подтверждают перенос и систему
3.3.1	методиками проведения типовых гидродинамических расчетов течений жидкости и газа для различных классов задач, навыками выполнять оценочные расчеты, а также применять численные методы при реализации решений с помощью компьютеров.	ПР7/9–16;Д1;З12;вычислительный отчёт В1	Билет: независимый расчёт и применимость; В1: численная проверка

Группа действий в ПК-1	Точные материалы
Свойства и статика	В1–4;Т1–2;З1;ПР1–2;РК1А;билет1
Кинематика и импульс	В5–8;Т3–4;З2;ПР3–4;РК1Б;билет2
Идеальная жидкость и газ	В9–12;Т5–6;З3–4;ПР5–6;РК1А/Б;билеты3–4
Вязкость сопротивление подобие	В13–16;Т7–10;З5–6;Д1;ПР7–8;РК1А/Б;билеты5–6
Фильтрация и нестационарность	В17–20;Т11–13;З7–8;ПР9–10/16;РК2А/Б;билеты3/7
Реология и многофазный перенос	В21–24;Т14–16;З9–10;ПР11–12;РК2А/Б;билеты1/5/8
Трещины и обмен	В25–28;Т17–18;З11;ПР13;РК2А;билеты2/8
Численная модель и доказательство	В29–32;Т19–20;З12;ПР14–16;В1;РК2Б;билеты4/6/7

В1–В32 здесь — открытые вопросы, «отчёт В1» — название вычислительной работы РПД; контекст различает их. Т — тест, З — расчётная задача, Д1 — набор данных, РК — исходная контрольная работа РПД в письменной форме. Обозначения — навигация материалов, не новые индикаторы. Знания оцениваются в объяснениях, умения в схемах/вычислениях, владение — в самостоятельной проверке и воспроизводимом расчёте.

Газовая гидростатика и детали массообмена в иных сочетаниях фаз проверяются на уровне допущений и общих балансов; не заявляется отдельный CFD-расчёт всех фазовых моделей.

2 Технологическая карта

Средство	Первичная шкала	Пересчёт	Рейтинг min–max
ПР1–16	Каждая0–10; сумма P0–160	P×1/4	0–40
Тест T1–20	S0–20	S×1/2	0–10
РК1 и РК2	Каждая0–30; сумма K0–60	K×1/3	0–20
Вычислительный отчёт B1	C0–10	C×1	0–10
Зачёт с оценкой	D:два ответа по10 +задача10=30	D×2/3	0–20
Итого	СРС формирует оцениваемые результаты	R=P/4+S/2+K/3+C+2D/3	0–100

Модуль и срок	Л/ПР/СРС ч	Текущие результаты	Письменный РК	Баллы
М1;темы1–4;недели1–6	8/16/30	ПР1–8 —20;СР1–4;Д1 вПР7	РК1 вПР8,45 минут —10	0–30
М2;темы5–8;недели7–12	8/16/29,9	ПР9–16 —20;тест10;отчёт В1 — 10;СР5–8	РК2 вПР16,45 минут —10	0–50
Семестр	16/32/59,9	Сумма80;КрТО0,1 ч —D20	Всего108 ч	0–100

Сроки — календарная конкретизация12 недель для согласования; часы не добавляются. К РК всегда допускаются все независимо от посещаемости и других работ. Минимум начисления0 не является порогом допуска. Опрос по1–2 вопроса соответствующей темы занимает3–5 минут и не требует готового текста. Перечень всех32 вопросов используется для подготовки; на коротком письменном ответе можно выдать один из тех же вопросов,3 минуты, без отдельного начисления.

РК1/2 — исходные контрольные работы РПД с двумя вариантами каждая, не дополнительные третьи работы. РК1 проводится после темы4,РК2 после темы8. Тест25 минут и РК2 45 минут размещены вПР16; исходный расчёт системы подготавливается вСР8. Отчёт В1 защищается вПР15 до5 минут; вПР14–15 оцениваются этапы постановки/получения результатов, в отдельном критерии отчёта — целостная верификация, объяснение и воспроизводимость, без повторных баллов за одно число.

3 Оценочные материалы блоков A B C D

Блок А Проверка знаний

В1. Какие свойства определяют выбор модели жидкости или газа и при каких условиях их следует задавать?

В2. Как связаны абсолютное, избыточное давление и вакуумметрическое давление?

В3. Как получить распределение давления в покоящейся жидкости и найти силу давления на плоскую стенку?

В4. Как определяются выталкивающая сила и капиллярное давление; когда ими нельзя пренебрегать?

В5. Чем отличаются линия тока и траектория; при каком условии они совпадают?

В6. Как рассчитывается материальная производная скорости и что означают её слагаемые?

В7. Как записать массовый баланс для сжимаемого и несжимаемого потока?

В8. Как выбрать контрольный объём и учесть импульс струи и внешние силы?

В9. Какие допущения приводят к уравнениям Эйлера и интегралу Бернулли?

В10. В каком случае постоянная Бернулли одинакова для разных линий тока; что означает потенциальное течение?

В11. Как определяют расход при истечении и как учитывают отклонение от идеального течения?

В12. Что показывает число Маха; как меняются массовый расход и скорость в сопле при изменении плотности и площади?

В13. Какие члены входят в уравнения Навье — Стокса и как задаётся условие прилипания?

В14. Как получить расход Пуазейля и проверить допустимость ламинарной модели?

В15. Как выбирают критерии подобия; зачем при турбулентном расчёте вводят модель замыкания?

В16. Как рассчитываются потери по длине, местные потери, напор и мощность насоса; как проявляется опасность кавитации?

В17. Чем различаются пористость, проницаемость, коэффициент фильтрации и скорость движения в порах?

В18. Как записать закон Дарси с учётом тяжести и какие условия ограничивают его применение?

В19. Чем отличаются линейная, радиальная и изотермическая газовая фильтрация?

В20. Как формируется уравнение пьезопроводности и оценивается характерное время; когда требуется поправка Форхгеймера?

В21. Как интерпретировать параметры степенной модели и модели Бингама?

В22. Почему ньютоновский закон Дарси нельзя без обоснования переносить на жидкость с пределом текучести?

В23. Что означают насыщенность, относительная проницаемость, капиллярное давление и фазовая подвижность?

В24. Как составить фазовый баланс и оценить массообмен между газом и жидкостью при заданной движущей силе?

В25. При каких условиях действует кубический закон и как раскрытие влияет на расход?

В26. Почему трещиноватая среда может обладать анизотропной проводимостью?

В27. Чем различаются модели двойной пористости и двойной проницаемости?

В28. Как записать обмен массой между матрицей и трещинами и проверить суммарный баланс?

В29. Как выбрать область и согласованные граничные условия численной задачи?

В30. Чем различаются невязка решателя, погрешность дискретизации и физическая ошибка модели?

В31. Как исследовать сходимость по сетке и времени и проверить баланс массы?

В32. Чем отличаются верификация и валидация; какие файлы и данные обеспечивают воспроизводимость расчёта?

Тест по восьми темам

В каждом задании один правильный ответ из четырёх. 25 минут; разрешён непрограммируемый калькулятор. Без справочников, готовых ответов и консультаций. Верно1, неверно/нет/несколько буквв0; максимум20, в рейтинг×0,5. Уровни обратной связи РПД17–20/14–16/12–13/0–11 означают уверенность/отдельные пробелы/повторение/существенные пробелы и не заменяют итоговую шкалу.

Т1. При ρ = const гидростатическое избыточное давление на глубине h равно А ρgh; Б ρg/h; В ρh/g; Г μgh.

Т2. Кинематическая вязкость определяется как А ρ/μ; Б μ/ρ; В μρ; Г p/ρ.

Т3. Материальное ускорение в эйлеровом описании равно А только $\partial v/\partial t$; Б только $(v\cdot\nabla)v$; В $\partial v/\partial t + (v\cdot\nabla)v$; Г ∇p.

Т4. При установившемся потоке без источников массы между сечениями сохраняется А скорость; Б площадь; В объёмный расход любого газа; Г массовый расход.

Т5. При удвоении напора над отверстием и неизменном коэффициенте расхода Q меняется в А 2 раза; Б √2 раза; В 4 раза; Г не меняется.

Т6. Число Маха — это отношение А скорости потока к скорости звука; Б инерции к вязкости; В вязкости к плотности; Г давления к температуре.

Т7. Число Рейнольдса для круглой трубы со средней скоростью v равно А μv/(ρd); Б ρd/(μv); В ρvd/μ; Г ρvμ/d.

Т8. Для полностью развитого ламинарного ньютоновского течения в круглой трубе при фиксированных Δp, μ, L расход пропорционален А d; Б d^2; В d^3; Г d^4.

Т9. В формуле Дарси — Вейсбаха для ламинарного течения в круглой трубе коэффициент трения Дарси равен А 16/Re; Б 64/Re; В Re/64; Г $1/Re^2$.

Т10. При заданных Q, H, ρ и КПД η мощность насоса на валу равна А ρgQH/η; Б ρgQHη; В QH/(ρg); Г ρgH/Q.

Т11. Размерность внутренней проницаемости k А м/с; Б Па·с; В $м^2$; Г $с^{-1}$.

Т12. Для полностью насыщенной среды при пористости φ и скорости фильтрации q средняя поровая скорость равна А qφ; Б q/φ; В φ/q; Г q.

Т13. При увеличении проницаемости вдвое и неизменных остальных параметрах α = k/(φμc_t) характерное время L^2/α А удваивается; Б не меняется; В увеличивается в четыре раза; Г уменьшается вдвое.

Т14. В степенной модели n < 1 соответствует А снижению кажущейся вязкости с ростом скорости сдвига; Б ньютоновской жидкости; В обязательному пределу текучести; Г росту кажущейся вязкости.

Т15. Относительная фазовая проницаемость характеризует А пористость; Б плотность фазы; В снижение проводимости для фазы относительно внутренней проницаемости в принятой модели; Г скорость звука.

Т16. Если kr и μ фаз одинаковы и градиенты давления одинаковы при отсутствии тяжести и капиллярных эффектов, то фазовые расходы А зависят только от названия фаз; Б одинаковы; В всегда нулевые; Г противоположны по знаку.

Т17. В кубическом законе расход при неизменных W, L, μ, Δp пропорционален А b; Б b^2; В 1/b; Г b^3.

Т18. При обмене массой между матрицей и трещиной обменные члены в их балансах А противоположны по знаку и сокращаются в суммарном балансе; Б одинаковы по знаку; В отсутствуют всегда; Г создают массу.

Т19. Сравнение с точным решением Пуазейля прежде всего служит А подтверждению любого физического допущения; Б оценке шероховатости; В верификации численного решения; Г измерению вязкости.

Т20. Уменьшение невязок решателя при одной сетке А доказывает сеточную независимость; Б не заменяет проверку сеточной сходимости и баланса; В всегда подтверждает экспериментальную точность; Г устраняет ошибки свойств.

Блок В Расчётные и практические работы

Банк З1–З12

Все числовые условия учебные. Если не оговорено иное, g=9,81 м/с². Для каждой задачи нужны схема, модель и допущения, уравнения до чисел, подстановки, единицы и проверка. На оцениваемой расчётной работе задача0–10; для ПР действует её собственная шкала этапа. Полные условия выдаются вместе с вариантом РК/билетом.

З1

Гидростатическая сила Вертикальная прямоугольная стенка шириной 1,5 м и высотой 2 м находится в воде. Верхняя кромка на глубине 1 м. Давление на свободной поверхности и с другой стороны стенки атмосферное. Плотность воды 1000 кг/м³. Найдите результирующую силу и глубину центра давления.

З2

Торможение струи Свободная горизонтальная струя воды диаметром 0,020 м имеет расход 0,003 м³/с и нормально ударяет в неподвижную плоскую преграду. После удара осевая компонента скорости равна нулю. Плотность 1000 кг/м³; давление на открытых границах атмосферное, потери до удара не учитываются. Найдите скорость и силу струи на преграду.

З3

Истечение Из большого открытого резервуара вода вытекает через отверстие диаметром 0,020 м в атмосферу. Напор над центром отверстия 2 м, коэффициент расхода 0,62. Скорость свободной поверхности пренебрежимо мала. Найдите расход.

З4

Параметры газового потока В одном сечении канала воздух имеет абсолютное давление 100 кПа, температуру 300 К, скорость 100 м/с и площадь 0,001 м². Считать газ идеальным: R = 287 Дж/(кг·К), γ = 1,4. Найдите плотность, массовый расход и число Маха. Поясните ограничение оценки сжимаемости.

З5

Течение Пуазейля Жидкость с ρ = 900 кг/м³ и μ = 0,1 Па·с движется по горизонтальной круглой трубе диаметром 0,010 м, длиной 2 м. Перепад давления на участке полностью развитого течения 2000 Па. Найдите расход, среднюю скорость и Re; проверьте режим.

З6

Трубопровод и насос Между двумя большими открытыми резервуарами вода подаётся с расходом 0,002 м³/с. Верхний уровень на 5 м выше нижнего. Труба: d = 0,050 м, L = 20 м; коэффициент трения Дарси λ = 0,030, сумма местных коэффициентов 4. Плотность 1000 кг/м³, КПД насоса 0,70. Скорости на свободных поверхностях пренебрежимо малы; все местные потери включены в сумму. Найдите напор и мощность на валу.

З7

Однофазная фильтрация Через горизонтальный однородный пористый образец длиной 0,10 м и площадью 0,010 м² течёт вода с μ = 0,001 Па·с. Проницаемость $k = 2\cdot10^{-12}$ м², пористость φ = 0,25; перепад давления 50 000 Па. Считать закон Дарси применимым. Найдите расход, скорость фильтрации и среднюю скорость в порах.

38

Характерное время фильтрации Для слабосжимаемой однофазной среды $k = 10^{-12}$ м², $\mu = 0{,}001$ Па·с, $\varphi = 0{,}20$, суммарная сжимаемость $c_t = 10^{-9}$ Па⁻¹. Характерная длина 10 м. В модели $\partial p/\partial t = \alpha \partial^2 p/\partial x^2$ используйте $\alpha = k/(\varphi \mu c_t)$. Найдите α и оценку времени L^2/α. Объясните, является ли это точным временем установления.

39

Степенная реология Жидкость описывается $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$, где $K = 0{,}8$ Па·с^n и $n = 0{,}6$. Для положительных скоростей сдвига 10 и 100 с⁻¹ найдите касательное напряжение и кажущуюся вязкость $\mu_{каж} = \tau/\dot{\gamma}$. Определите тип поведения.

310

Двухфазная фильтрация В горизонтальном образце $A = 0{,}010$ м², $L = 0{,}10$ м, $k = 10^{-12}$ м² находятся вода и нефть. Перепад давления обеих фаз 10 000 Па; капиллярным давлением и тяжестью пренебречь. При данной насыщенности $k_{rw} = 0{,}30$, $k_{ro} = 0{,}20$; $\mu_w = 0{,}001$ Па·с, $\mu_o = 0{,}005$ Па·с. Найдите расходы фаз, суммарный расход и долю воды в потоке.

311

Течение в трещине Гладкая плоская трещина имеет ширину $W = 1$ м, раскрытие $b = 0{,}0005$ м и длину $L = 2$ м. Жидкость с $\mu = 0{,}001$ Па·с течёт при перепаде 1000 Па. Установившееся ламинарное течение между параллельными пластинами, входными эффектами пренебречь. Используйте $Q = Wb^3\Delta p/(12\mu L)$. Найдите расход и изменение расхода при удвоении раскрытия.

312

Проверка сеточного решения Учебные результаты расчёта расхода: при шагах сетки 0,100; 0,050; 0,025 м получено соответственно 9,20; 9,80; 9,95 в единицах 10^{-6} м³/с. Аналитический расход $10{,}00 \cdot 10^{-6}$ м³/с. На мелкой сетке входной расход $10{,}00 \cdot 10^{-6}$, выходной $9{,}98 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Найдите ошибки, наблюдаемый порядок и относительный небаланс. Объясните различие проверок.

Практические работы

Номера и названия ПР сохранены по РПД. Каждая работа2 академических часа. Строки1.2/1.4/1.6/1.8 раздела4 соответствуют парамПР1–2/3–4/5–6/7–8;2.2 —ПР9–10;2.4 —ПР11–12;2.6 —ПР13;2.8 —ПР14–16. Дополнительные числовые данные ниже конкретизируют темы РПД. По каждой работе предъявляются схема, исходные данные, обоснованная модель, решение, проверка и краткая индивидуальная защита до3 минут внутри занятия. Курсовых и лабораторных работ нет.

ПР1 Свойства жидкости и газа, гидростатическое давление и показания манометра

РПД1.2;2 ч. Составьте таблицу ρ,μ,ν для учебной жидкости ρ900 кг/м³, μ0,1 Па·с и идеального воздуха p100 кПа абс.,T300 К,R287 Дж/(кг·К). Свойства заданы, поиск реального вещества не требуется. Для воды ρ1000 при h2 м, patm101325 Па найдите избыточное и абсолютное давление. U-манометр с ртутью ρ13600 подключён к точке A воды и открыт в атмосферу в другом колене; граница вода–ртуть на0,20 м ниже A, открытая поверхность ртути на0,10 м выше этой границы. Найдите pA−patm, постройте ход давления. Дополнительно: поверхностное натяжение0,072 Н/м, контактный угол0°, цилиндрическая пора радиусом0,10 мм; оцените капиллярный скачок как2σcosθ/r и назовите его знак по принятой ориентации.

ПР2 Сила давления на плоскую стенку и выталкивающая сила

РПД1.2;2 ч. Выполните З1 полностью. Затем однородное тело объёмом0,010 м³ и плотностью600 кг/м³ свободно плавает в воде1000 кг/м³ без внешних сил, капиллярностью пре-

небречь. Найдите погружённую долю, объём вытесненной воды и выталкивающую силу; равновесие объясните балансом сил.

ПР3 Поле скорости, ускорение и проверка уравнения неразрывности

РПД1.4;2 ч. Поле скорости v=(ax,−ay,0), a=1 $с^{-1}$, координаты в метрах, течение установившееся. Найдите div v, локальное и конвективное ускорения в произвольной точке и в(1;2;0) м; найдите вихрь скорости, линии тока и траекторию частицы с началом(1;2;0) при t=0. Проверьте, можно ли считать поле несжимаемым. Не принимайте постоянство поля во времени за нулевое ускорение частицы.

ПР4 Массовый баланс и сила воздействия струи на неподвижную преграду

РПД1.4;2 ч. Выполните З2; выберите контрольный объём, направления потока и всех внешних сил. В дополнительном сечении канала сжимаемый поток имеет ρ1=1,2 кг/$м^3$,A1=0,010 $м^2$,v1=10 м/с, а во втором ρ2=0,8,A2=0,020. Найдите v2 и объёмные расходы обоих сечений. Источников и накопления массы нет.

ПР5 Расчёт истечения и распределения напоров по уравнению Бернулли

РПД1.6;2 ч. Выполните З3. В идеальной постановке покажите линии полного и пьезометрического напоров между свободной поверхностью z=H и отверстием z=0, давление отсчитывайте от атмосферного. Затем объясните, почему по одному коэффициенту расхода0,62 нельзя раздельно восстановить коэффициенты сжатия и скорости реальной струи. Для безвихревого поля ПР3 определите потенциал и функцию тока с условием их нуля в начале координат и принятой связью vx=*∂*ψ/*∂*y,vy=−*∂*ψ/*∂*x.

ПР6 Массовый расход, число Маха и выбор модели одномерного газового потока

РПД1.6;2 ч. Выполните З4. Для того же массового потока в другом сечении задайте p2=80 кПа абс.,T2=300 К,A2=0,0015 $м^2$. Найдите ρ2,v2,Ma2 по неразрывности и уравнению состояния. Это два заданных состояния, не адиабатическое сопло; энергобаланс и тепловой режим между ними не заданы. Объясните допустимость использования одной постоянной плотности и качественную связь площади/скорости для изоэнтропического сопла.

ПР7 Течение Пуазейля и обработка учебного набора данных о расходе и перепаде давления

РПД1.8;2 ч. Выполните З5 и обработайте Д1 по полным данным ниже. Постройте расход и профиль Пуазейля; определите vmax и касательное напряжение на стенке по З5. Для Д1 сохраните исходные данные, код/таблицу МНК, остатки, вязкость, Re и объяснение неопределённости. Данные не являются проведённым экспериментом.

ПР8 Потери давления в трубопроводе и требуемые напор и мощность насоса

РПД1.8;2 ч. Выполните З6. В дополнительном локальном сечении абсолютное давление30 кПа, давление насыщенного пара условно2,3 кПа, плотность1000 кг/$м^3$, температура и состояние считаются заданными. Найдите запас статического давления в единицах напора над паровым давлением; объясните, почему этого числа недостаточно для проверки NPSH конкретного насоса. Конструкция и требуемый NPSH не заданы. В конце занятия — письменный РК1,45 минут; расчёты готовятся в СРС.

ПР9 Линейная и радиальная установившаяся фильтрация по закону Дарси

РПД2.2;2 ч. Выполните З7. Для горизонтального радиального притока к скважине задайте k2·10^{-12} $м^2$,h5 м,re10 м,rw0,1 м,pe−pw50000 Па,μ0,001 Па·с; выведите Q из закона Дарси и найдите расход. Для изотермической газовой фильтрации по тому же линейному образцу L0,10 м,A0,010 $м^2$,k2·10^{-12} $м^2$ примите p1=200 кПа,p2=100 кПа абс.,T300 К,R287 Дж/(кг·К),μ1,8·10^{-5} Па·с. Гравитации/скольжения/инерционной поправки нет, закон Дарси

допустим по условию. Найдите постоянный массовый расход и объёмные расходы на обоих концах.

ПР10 Нестационарная фильтрация и оценка характерного времени пьезопроводности

РПД2.2;2 ч. Выполните З8. Сравните α,t* при k/2,k,2k и прочих неизменных данных. Для конкретизации нестационарной постановки на0<x<10 м задайте начальное p=100 кПа, при t>0 p(0,t)=150 кПа,p(10,t)=100 кПа. Выпишите задачу пьезопроводности, объясните несовместимость начального/граничного значений в угловой точке и физическое значение идеализированного скачка. Получение точного времени установления не требуется.

ПР11 Определение параметров реологической модели и кажущейся вязкости

РПД2.4;2 ч. Выполните З9. Затем по учебным парам (γ̇;τ)=(10;7),(50;15),(100;25) в единицах $с^{-1}$/Па определите параметры закона Бингама τ=τ0+μpγ̇ для положительного сдвига. Найдите кажущуюся вязкость при10 и100 $с^{-1}$; объясните отсутствие течения в недеформируемой зоне при |τ|≤τ0. Для канала между плоскими стенками при |dp/dx|=1000 Па/м и полузазоре0,001 м проверьте, превышает ли максимальное касательное напряжение предел текучести. При недостаточных данных не заменяйте закон Бингама ньютоновским Дарси.

ПР12 Фазовые расходы и межфазный массообмен в упрощённых двухфазных моделях

РПД2.4;2 ч. Выполните З10 и дополнительное задание на массообмен: ṁ=K_L A(c*−c), K_L2·10^{-5} м/с,A0,5 $м^2$,c*2 кг/$м^3$,c0,5 кг/$м^3$. Найдите перенос и укажите противоположные знаки в балансах отдающей и принимающей фаз. Концентрации, коэффициент и площадь постоянны, реакция отсутствует. Для записи насыщенностей примите Sw=0,4,So=0,6; объясните отличие насыщенности от доли воды в потоке.

ПР13 Кубический закон течения в трещине и баланс обмена между трещиной и матрицей

РПД2.6;2 ч. Выполните З11. Объясните предположения кубического закона и чувствительность к раскрытию. Дополнительно две замкнутые подсистемы: накопления Cm=2·10^{-8} и Cf=1·10^{-8} $м^3$/Па, pm(0)=200000 Па,pf(0)=100000 Па; обменный объёмный поток Г=β(pm−pf), β=10^{-10} $м^3$/(Па·с). Плотность постоянна и одинакова, внешнего притока нет. Запишите Cm dpm/dt=−Г,Cf dpf/dt=Г; проверьте суммарное сохранение, найдите общий предельный уровень давления и масштаб выравнивания. Это учебный сосредоточенный аналог обмена, не замена пространственной модели. Интерактивный мозговой штурм2 ч: сравните меры влияния на расход и обсудите допущения; личное решение обязательно.

ПР14 Подготовка численной модели ламинарного течения в трубе

РПД2.8;2 ч. Начните вычислительный отчёт В1 по полным условиям ниже: постановка, аналитический эталон, осесимметричная либо3D-геометрия, физические свойства и согласованные границы. Подготовьте исходный случай и сетки, зафиксируйте режим без входного влияния. Устная защита постановки — до3 минут в рамках занятия, часть работы выполняется в СРС.

ПР15 Верификация расчёта по аналитическому решению и исследование сеточной сходимости

РПД2.8;2 ч. Завершите В1 на трёх систематических сетках, сохраните профили, расходы, невязки и балансы. Выполните отдельно З12 по синтетическим табличным данным; не выдавайте эти данные за свой CFD-запуск. Сдайте код/случай и воспроизводимый отчёт; индивидуальная защита до5 минут в этом занятии. Если временной решатель, сравните два шага времени после установления.

ПР16 Согласование расхода и перепада давления в системе подачи с пористым элементом

РПД2.8;2 ч. Система подачи: вода μ0,001 Па·с,ρ1000 кг/м³; горизонтальная гладкая труба d0,010 м,L2 м последовательно с пористым элементом k2·10⁻¹² м²,A0,010 м²,Lp0,10 м. Местными потерями и высотами пренебречь, перепад между концами системы20000 Па. Оба элемента линейны, режим трубы нужно проверить. Определите общий расход, потери в каждом элементе, скорость и Re трубы; сравните с расчётом при заданном Q10⁻⁶ м³/с и найдите необходимый общий перепад. Подготовьте собственный расчёт в СРС, на занятии защитите согласование баланса. Внутри90 минут: РК2 —45 минут, тест —25 минут, разбор системы и фиксация —20 минут. Предлагаемые2 ч практической подготовки включены сюда, новых часов нет.

Д1 Учебные данные для ПР7

Горизонтальная труба d0,010 м,L2 м,ρ900 кг/м³; входные эффекты исключены. Данные синтетические, не эксперимент. Условная относительная неопределённость канала Q2%,канала Δp1%; d,L считать точными.

Δp Па	**Q мл/с**
500	0,62
1000	1,24
1500	1,85

Постройте Q(Δp), оцените наклон a прямойQ=aΔp МНК через начало: a=Σ(Δp·Q)/ΣΔp². Выведите и вычислите μ=πd⁴/(128La), найдите максимальный Re по измеренномуQ и оценённойμ. Приведите остаткиQi−aΔpi и максимальное относительное отклонение от прямой со знаменателем |aΔpi|. Сопоставьте с условными неопределённостями без приписывания им неуказанного доверительного уровня. Назовите данные и методику для независимой экспериментальной валидации.

Письменные рубежные контрольные

Работа	**Вариант А**	**Вариант Б**	**Процедура**
РК1;темы1–4	31,33,35	32,34,36	45 минут;3×10=30;×1/3→10
РК2;темы5–8	37,39,311	38,310,312	45 минут;3×10=30;×1/3→10

Вариант выдаёт преподаватель, полные условия и лист формул без готовых решений прилагаются. Разрешён калькулятор; интернет, готовые ответы и консультации не используются. Нужен письменный ход, запуск ПО не требуется. Варианты имеют разные сочетания тем; остальные результаты проверяются всеми ПР,тестом и билетом, как предусмотрено РПД. Общие30 баллов не умножаются повторно на число задач.

Блок С Вычислительный отчёт В1

Используйте условия З5. Выберите осесимметричную или трёхмерную модель круглой трубы. Жидкость ньютоновская, несжимаемая, изотермическая; стенка неподвижная с прилипанием. Давления на входе и выходе различаются на 2000 Па; задайте согласованные условия для скорости. Геометрия и условия должны воспроизводить полностью развитое течение, например периодический участок с заданным градиентом давления либо вход с развитым профилем и достаточная длина. Способ исключения входного влияния объясните.

• До запуска получите аналитические Q, среднюю и максимальную скорости и перепад давления.

• Постройте три систематически сгущаемые сетки с характерным отношением шагов около 2; укажите число ячеек или элементов и качество сетки.

• Получите расход, профиль скорости, входной и выходной массовые расходы; сохраните историю сходимости.

• Для каждой сетки найдите относительную ошибку расхода по аналитическому решению. Для мелкой сетки оцените максимальное отклонение профиля, нормированное на аналитическую vmax.

• Оцените относительный массовый небаланс |ṁвх − ṁвых|/|ṁвх| и изменение расхода между двумя последними сетками. Если используется нестационарный решатель, проверьте установление и чувствительность к шагу времени.

• Объясните, какие расхождения связаны с дискретизацией, входными условиями и свойствами. Сформулируйте границы применимости проверки; экспериментальные данные для валидации в задании не предоставлены.

Состав отчёта: постановка, схема, уравнения и условия, аналитика, таблица сеток, количественные ошибки, массовый баланс, график профиля и выводы. Приложить файлы расчёта и указать программу, версию и настройки. При использовании готового учебного случая указать источник и собственные изменения.

Проектные ориентиры для этой учебной задачи: ошибка расхода на мелкой сетке не более 2%, нормированная ошибка профиля не более 5%, изменение расхода между последними сетками не более 1%, массовый небаланс не более 0,5%. Это критерии задания, а не универсальные нормы CFD. Превышение требует анализа и исправления; одни малые невязки не заменяют эти проверки.

Если самостоятельный CFD-запуск недоступен, преподаватель может выдать расчётный случай и результаты трёх сеток. Такой вариант проверяет анализ и верификацию готовых результатов; умение самостоятельно поставить и выполнить компьютерный расчёт им не подтверждается. Равнозначность замены должна быть отдельно согласована.

Конкретизация постановки для воспроизводимого запуска: полностью развитое течение вдоль оси z трубы радиуса0,005 м и длины2 м,ρ900 кг/м³,μ0,1 Па·с. Предпочтителен периодический участок с постоянным движущим градиентом G=Δp/L вдоль+z; радиальная/окружная скорости нулевые, на оси регулярность/симметрия, на стенке прилипание. Сохраняются периодические поля и перепад давления как движущая составляющая; одновременно навязывать тот же расход и перепад нельзя. Если используется другая допустимая постановка РПД с развитым входом, объясните соответствие и исключение входной потери. Укажите, хранит ли решатель p вПа или p/ρ вм²/с², и выполните согласованный перевод.

Три сетки строятся систематическим делением каждого выбранного шага примерно пополам; при осесимметричной модели допустимы радиальные8/16/32 и продольные40/80/160 деления с сохранением области и схемы. Для выбранного решателя заранее проверьте представление оси, периодичности и единицы. Сеточные числа — дополнительный учебный вариант, не требование к конкретному ПО. Нестационарный запуск дополнительно сравнивается при шагах0,01 и0,005 с после достижения установления; время установления подтверждают историей, не назначают по одному числу.

Численные результаты этого отчёта обучающийся получает самостоятельно, не копирует таблицу312. При недоступном самостоятельном запуске действует только описанный вРПД отдельно согласуемый вариант анализа готового случая; в ведомости фиксируется ограниченная проверка. Полная способность самостоятельно поставить/выполнить расчёт при такой замене не объявляется подтверждённой. Основной вариант этого ФОС преду-

сматривает самостоятельный запуск. Дополнительных лабораторных/контактных часов нет.

Блок D Зачёт с оценкой

Применяется зачёт с оценкой в8 семестре по титульной таблице РПД. Билет: два теоретических вопроса и одна задача, каждый компонент0–10, всего30 первичных,×2/3 до20 рейтинговых. Все восемь сочетаний сохранены изРПД. Полная программа подготовки —В1–В32. Незаполненные утверждения/подписи не имитируются.

Билет 1

В1. Какие свойства определяют выбор модели жидкости или газа и при каких условиях их следует задавать?

В22. Почему ньютоновский закон Дарси нельзя без обоснования переносить на жидкость с пределом текучести?

З1. Гидростатическая сила Вертикальная прямоугольная стенка шириной 1,5 м и высотой 2 м находится в воде. Верхняя кромка на глубине 1 м. Давление на свободной поверхности и с другой стороны стенки атмосферное. Плотность воды 1000 кг/м³. Найдите результирующую силу и глубину центра давления.

Билет 2

В6. Как рассчитывается материальная производная скорости и что означают её слагаемые?

В27. Чем различаются модели двойной пористости и двойной проницаемости?

З2. Торможение струи Свободная горизонтальная струя воды диаметром 0,020 м имеет расход 0,003 м³/с и нормально ударяет в неподвижную плоскую преграду. После удара осевая компонента скорости равна нулю. Плотность 1000 кг/м³; давление на открытых границах атмосферное, потери до удара не учитываются. Найдите скорость и силу струи на преграду.

Билет 3

В9. Какие допущения приводят к уравнениям Эйлера и интегралу Бернулли?

В18. Как записать закон Дарси с учётом тяжести и какие условия ограничивают его применение?

З3. Истечение Из большого открытого резервуара вода вытекает через отверстие диаметром 0,020 м в атмосферу. Напор над центром отверстия 2 м, коэффициент расхода 0,62. Скорость свободной поверхности пренебрежимо мала. Найдите расход.

Билет 4

В12. Что показывает число Маха; как меняются массовый расход и скорость в сопле при изменении плотности и площади?

В29. Как выбрать область и согласованные граничные условия численной задачи?

З4. Параметры газового потока В одном сечении канала воздух имеет абсолютное давление 100 кПа, температуру 300 К, скорость 100 м/с и площадь 0,001 м². Считать газ идеальным: R = 287 Дж/(кг·К), γ = 1,4. Найдите плотность, массовый расход и число Маха. Поясните ограничение оценки сжимаемости.

Билет 5

В14. Как получить расход Пуазейля и проверить допустимость ламинарной модели?

В23. Что означают насыщенность, относительная проницаемость, капиллярное давление и фазовая подвижность?

З5. Течение Пуазейля Жидкость с $\rho = 900$ кг/м³ и $\mu = 0{,}1$ Па·с движется по горизонтальной круглой трубе диаметром 0,010 м, длиной 2 м. Перепад давления на участке полностью развитого течения 2000 Па. Найдите расход, среднюю скорость и Re; проверьте режим.

Билет 6

В16. Как рассчитываются потери по длине, местные потери, напор и мощность насоса; как проявляется опасность кавитации?

В30. Чем различаются невязка решателя, погрешность дискретизации и физическая ошибка модели?

З6. Трубопровод и насос Между двумя большими открытыми резервуарами вода подаётся с расходом 0,002 м³/с. Верхний уровень на 5 м выше нижнего. Труба: $d = 0{,}050$ м, $L = 20$ м; коэффициент трения Дарси $\lambda = 0{,}030$, сумма местных коэффициентов 4. Плотность 1000 кг/м³, КПД насоса 0,70. Скорости на свободных поверхностях пренебрежимо малы; все местные потери включены в сумму. Найдите напор и мощность на валу.

Билет 7

В19. Чем отличаются линейная, радиальная и изотермическая газовая фильтрация?

В32. Чем отличаются верификация и валидация; какие файлы и данные обеспечивают воспроизводимость расчёта?

З10. Двухфазная фильтрация В горизонтальном образце $A = 0{,}010$ м², $L = 0{,}10$ м, $k = 10^{-12}$ м² находятся вода и нефть. Перепад давления обеих фаз 10 000 Па; капиллярным давлением и тяжестью пренебречь. При данной насыщенности $k_{rw} = 0{,}30$, $k_{ro} = 0{,}20$; $\mu w = 0{,}001$ Па·с, $\mu o = 0{,}005$ Па·с. Найдите расходы фаз, суммарный расход и долю воды в потоке.

Билет 8

В24. Как составить фазовый баланс и оценить массообмен между газом и жидкостью при заданной движущей силе?

В28. Как записать обмен массой между матрицей и трещинами и проверить суммарный баланс?

З11. Течение в трещине Гладкая плоская трещина имеет ширину $W = 1$ м, раскрытие $b = 0{,}0005$ м и длину $L = 2$ м. Жидкость с $\mu = 0{,}001$ Па·с течёт при перепаде 1000 Па. Установившееся ламинарное течение между параллельными пластинами, входными эффектами пренебречь. Используйте $Q = Wb^3\Delta p/(12\mu L)$. Найдите расход и изменение расхода при удвоении раскрытия.

4 Процедуры и критерии

ПР и СРС: калькулятор, конспект, официальная документация, Python/NumPy/SciPy/Matplotlib либо эквивалентная расчётная среда. Для В1 — доступная ветвь/версия OpenFOAM либо согласованная CFD-среда; ParaView для обработки. COMSOL допустим только при фактической лицензии/нужном модуле, наличие в вузе не утверждается. Версию и способ вычислений указывают в файлах. Для письменныхРК иD разрешены калькулятор и единый лист формул без готовых чисел. Внешние ответы,ИИ и консультации при контрольном выполнении не используются.

Средство	Наблюдаемые показатели и первичная шкала
Расчётная задача З вРК/D	Схема/допущения0–2; уравнения и размерности0–3; вычисления/единицы0–3; проверка/интерпретация0–2. Всего10.
ПР, каждая	Исходные данные/схема0–2; модель/метод0–2; выполнение0–3; проверка0–2; собственное объяснение0–1. Всего10. ПР7 включаетД1,ПР14/15 —свой этап численного случая,ПР16 —системный баланс.
Отчёт В1	Постановка и воспроизводимые файлы0–2; три сетки и аналитическая проверка0–3; баланс/профиль/ошибки0–3; выводы и индивидуальная защита0–2. Всего10.
Теория D, каждый вопрос	Физический смысл0–3; уравнения/допущения0–3; инженерный пример0–2; способ проверки/ограничения0–2. Всего10.
Опрос/короткий ответ	Верно и обоснованно; частично с уточнением; существенная ошибка/нет. Отмечается тема для доработки, отдельного балла нет.

Раздел5.3 РПД ссылается на отсутствующий раздел11 с критериями задач. Здесь критерии раскрыты явно и предложены для согласования, первичные максимумы сохранены. Для максимума1:1 —верно,0 —нет/неверно; для2:2 —полно,1 —частично при верном подходе,0 —нет/неверно; для3:3 —полно,2 —локальная ошибка,1 —отдельные верные действия,0 —нет/принципиально неверно. Эквивалентные корректные методы принимаются. Арифметическая ошибка оценивается по вычислениям, её верно перенесённое следствие повторно не штрафуется по каждому пункту.

Для В1 критерииРПД2% расхода,5% нормированного профиля,1% изменения последних сеток,0,5% массового небаланса являются учебными ориентирами проверки и адресной доработки. Это не универсальные нормыCFD и не отдельный автоматический запрет положительной итоговой оценки. Небольшая невязка, гладкая картинка или совпадение одного числа не заменяют проверку. Самостоятельность постановки и анализ готового случая различаются в протоколе.

Организация D предложена для согласования: 30 минут самостоятельной подготовки письменных ответов и решения в резервеСРС, предварительная проверка письменного результата, до4 минут индивидуального уточнения и0,5 минуты записи вКрТО0,1 академического часа. Предложенные вРПД10 минут обсуждения на одного обучающегося в4,5 минуты не помещаются; более длительная контактная процедура требует согласования расписания. На подготовку/проверку ответа вСР8 зарезервирован1 академический час из59,9; дополнительных часов нет.

R=P/4+S/2+(K1+K2)/3+C+2D/3, гдеK1,K2 по0–30. Промежуточные значения не округляют. Итог один раз округляется до целого,0,5 вверх; сохраняют и исходную сумму. Отдельные пороги по тесту/отчёту или заданиям не добавляются к общей шкале. Доработка заменяет оценку того же средства без роста максимума. Сроки и повторный контроль определяются действующим порядком вуза, вымышленные даты и штрафы не вводятся.

Итог R	Оценка по Положению
85–100	Отлично
70–84	Хорошо
60–69	Удовлетворительно
Менее60	Неудовлетворительно

5 Методические указания

СР	Часы	Действия и свидетельства	Срок
СР1	6	Свойства/гидростатика,схемыПР1–2/31	М1
СР2	7	Кинематика/балансы,ПР3–4/32	М1
СР3	8	Идеальная жидкость/газ,ПР5–6/33–4	М1
СР4	9	Вязкость/сопротивления,Д1,ПР7–8/35–6,РК1	М1
СР5	7	Линейная/радиальная/газовая фильтрация,нестационарность;ПР9–10	М2
СР6	7	Реология,фазовые балансы и массообмен;ПР11–12	М2
СР7	5	Кубический закон,обмен и сохранение;ПР13	М2
СР8	10,9	В1,сетки и системаПР14–16 —9,9 ч;подготовкаD —1 ч	М2
Итого	59,9	Суммы разделов30+29,9 сохранены	Семестр

ДетализацияСРС по восьми темам предложена в пределах двух сумм РПД. Тематические действия5.1 сохранены: свой-ства/статика,поле/импульс,истечение/газ,Пуазейль/потери,Дарси/пьезопроводность,реология/массообмен,трещина/обмен,три сетки/баланс. Результаты входят в соответствующиеПР,Д1 иВ1; отдельное повторное начисление заСРС не производится.

Сначала нарисуйте контрольный объём, направления и отсчёт давления. Запишите допущения и систему единиц. Для газа используйте абсолютныер,Т и укажите, где определён объёмный расход. Не смешивайтеμ иν,q и поровую скорость,коэффициенты Дарси и Фаннинга. На этапе формул проверьте размерности и пределы, затем подставляйте числа. В конце проверьте знак силы, баланс и порядок величины.

Для данных сохраняйте исходные значения и единицы отдельно от МНК. Неопределённость канала, остатки аппроксимации и ошибка математической модели —разные показатели. Отрицательная или физически бессмысленная оценка параметра требует проверки постановки. В многофазной задаче указывайте насыщенности,подвижности,знаки обмена и выбранную движущую силу; в трещине проверяйте, сохраняется ли режим после изменения раскрытия.

В численном отчёте сначала получите независимый аналитический эталон, затем определите границы,сетки,решатель и критерии проверки. Сохраняйте историю решения,потоки и профиль; сравнивайте одинаковые физические величины и одинаковые единицы. Для профиля нормируйте на аналитическуюvmax,а не на локальное нулевое значение у стенки. Разделяйте верификацию,баланс и валидацию. Перед защитой повторите запуск/обработку из переданной папки и объясните один источник расхождения.

Источники

1. РПД «Гидромеханика»,КРСУ,3 сентября2026 г.,разделы3–5,8: банки32 вопросов,20 тестов,31–312,Д1,В1,две контрольные и8 билетов. Дополнительные условияПР и процедуры разработаны по её темам.

2. Макет ФОС «Прикладная механика»; Положение о ФОС КРСУ,пп.3.3–3.7: структура,письменныйРК,допуск и итоговая шкала.

3. По библиографии РПД: Повх И.Л. Техническая гидромеханика. Л.:Машиностроение,1976. Кочин Н.Е.,Кибель И.А.,Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч.1. М.,1955. Реквизиты приведены поРПД; дополнительные задачи этим изданиям не приписываются.

4. CFD Direct. Notes on CFD General Principles,Chapter4 Boundary Conditions: https://doc.cfd.direct/notes/cfd-general-principles/boundary-conditions . NIST Chemistry WebBook,SRD69,Thermophysical Properties of Fluid Systems: https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/ . Проверено07.11.2026; команды и свойства сверяются по выбранной версии/состоянию. Заданные учебные свойства не заменяются справочными без явного изменения задания.