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»

СПЕЦИАЛИТЕТ

Специальность 21.05.04 — РФ, 630003 — КР «Горное дело»

Специализация «Открытые горные работы»

Квалификация — специалист

2026 г.

Фонд предназначен для оценивания результатов освоения дисциплины «Гидромеханика» обучающимися КРСУ по специальности 21.05.04 — РФ, 630003 — КР «Горное дело», специализация «Открытые горные работы».

Фонд оценочных средств рассмотрен и утвержден на заседании **Высшей школы Природопользования, мехатроники и транспорта**

протокол № 1 от «2 » сентября 2026 г.

Руководитель подразделения

_____ Алсеитов Мирлан Тилегенович

подпись *расшифровка подписи*

Исполнители:

к.ф.-м.н. _____ Герман Константин Анатольевич

должность *подпись* *расшифровка подписи*

к.т.н. _____ Джаманкулов Азамат Кенешбекович

должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Заместитель директора по образовательной деятельности
Политехнического института

_____ Комарцов Никита Михайлович

личная подпись расшифровка подписи

Содержание

1 Компетенции и этапы формирования 4
2 Технологическая карта 5
3 Типовые контрольные задания и оценочные материалы 6
4 Методические материалы и процедуры оценивания 22
5 Методические указания для обучающегося 23

Сведения о дисциплине

Параметр	Сведения по РПД
Дисциплина	Гидромеханика
Специальность	21.05.04 — РФ, 630003 — КР «Горное дело»
Специализация	Открытые горные работы
Уровень и форма	Специалитет, очная форма, 5-й семестр
Трудоёмкость	3 ЗЕТ, 108 ч. Лекции 16, практические 16, лабораторные 16, СРС 59,8, КрТО 0,2 ч.
Аттестация	Зачёт с оценкой в 5-м семестре
Источник	Рабочая программа дисциплины на 2026–2032 уч. гг.

1 Компетенции и этапы формирования

ОПК-5. Способен применять методы анализа, знания закономерностей поведения, управления свойствами горных пород и состоянием массива в процессах добычи и переработки полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов.

ОПК-10. Способен применять основные принципы технологий эксплуатационной разведки, добычи, переработки твердых полезных ископаемых, строительства и эксплуатации подземных объектов.

Матрица оценивания

Результат	Проверяемое действие	Средство
3.1.1	Объясняет свойства сред, уравнения и допущения гидромеханики.	А1, Т1–Т20, билет
3.2.1	Рассчитывает давление, силы, расход, потери, фазовый и межсредный перенос.	ПР1–ПР8, К1–К2, билет
3.3.1	Проверяет измерения и численное решение, обосновывает допущения и вывод.	ЛР1–ЛР8, В1, К2
ОПК-5	Сопоставляет пористость, проницаемость, реологию и раскрытие с фильтрационным откликом. Обосновывает выбор модели.	ПР5–ПР7, ЛР5–ЛР7, К2, В1
ОПК-10	Решает учебные задачи подачи, потерь напора и взаимодействия потока с элементами системы.	ПР1–ПР4, ПР8, ЛР1–ЛР4, ЛР8, К1, билет

На лекциях проверяются понятия и границы моделей. Практические и лабораторные работы фиксируют применение методов. На рубежном контроле и зачёте студент самостоятельно обосновывает выбор модели и проверяет результат.

2 Технологическая карта

Средство	Объём или порядок	Максимум в рейтинге
A1 Опрос	20 вопросов на каждую из восьми лекций. Диагностически 0–2 балла за ответ.	0
Тест T1–T20	20 исходных баллов, коэффициент 0,5.	10
ПР1–ПР8	8 × 2 часа, по 2 балла.	16
ЛР1–ЛР8	8 × 2 часа, по 2 балла.	16
К1 и К2	Два рубежных контроля, по 30 исходных баллов, коэффициент 0,2.	12
B1	Отдельная защита отчёта по теме 2.7 в рамках ПР8 и СРС.	6
Билет	30 исходных баллов. Пересчёт в 40 по формуле 4S/3.	40
Итого	Семестровый контроль 60, зачёт 40.	100

Разделы 1 и 2 включают по 8 часов лекций и практических занятий. СРС составляет 30 часов в разделе 1 и 29,8 часа в разделе 2. Лабораторный практикум составляет 16 часов. КрТО — 0,2 часа.

ПР8 оценивает постановку задачи, ручную проверку и чтение расчётных данных. B1 оценивает воспроизводимую модель, исследование трёх сеток и защиту отчёта.

3 Типовые контрольные задания и оценочные материалы

A1 Вопросы к лекциям

Шифр образуют код лекции и номер вопроса, например 1.1.04. Опорные ответы даны в приложении 1.

Лекция 1.1 Свойства сред и гидростатика

01. Что позволяет гипотеза сплошной среды?

02. Когда континуальная модель газа может оказаться неприменимой?

03. Как определить плотность однородной среды?

04. Какие параметры указывают при выборе плотности газа?

05. Чем вязкая модель отличается от невязкой?

06. Что означает несжимаемость в расчёте?

07. Как связаны кинематическая и динамическая вязкости?

08. Какова единица динамической вязкости?

09. Что характеризует модуль объёмной упругости?

10. Как записать закон Ньютона при простом сдвиге?

11. Чему равно τ при $\mu = 0{,}08$ Па·с и $du/dy = 25$ $с^{-1}$?

12. Как меняется давление по высоте в покоящейся жидкости?

13. Почему в одной горизонтальной плоскости связанной однородной жидкости давления равны?

14. Как получить избыточное давление из абсолютного?

15. При $p_{абс} = 80$ кПа и $p_{атм} = 100$ кПа чему равно вакуумметрическое давление?

16. Почему центр давления на вертикальной пластине с избыточным давлением $\rho g h$ ниже центра площади?

17. Что определяет выталкивающую силу?

18. Чему равна выталкивающая сила в воде для объёма 0,003 $м^3$?

19. Почему в тонкой трубке возможен капиллярный подъём?

20. Что проверяют при использовании формулы $\Delta p = \rho g h$ для манометра?

Лекция 1.3 Кинематика течения и балансы

01. Что фиксирует эйлерово описание?

02. Что отслеживает лагранжево описание?

03. Чему касательна линия тока?

04. Когда линия тока совпадает с траекторией частицы?

05. Может ли частица ускоряться в стационарном потоке?

06. Как записать материальную производную скорости?

07. Чему равно ускорение для $u = ax$ при постоянном a?

08. Что описывает вихрь скорости?

09. Что характеризует симметричная часть градиента скорости?

10. Как определить объёмный расход через сечение?

11. Как определить массовый расход при неоднородной плотности?

12. Как записать локальный баланс массы?

13. Какая форма неразрывности для несжимаемого потока?

14. Выполнена ли она для $v = (2x, -2y, 0)$?

15. Как меняется средняя скорость несжимаемого потока, если площадь уменьшилась вдвое?

16. Сохраняется ли объёмный расход в установившемся сжимаемом течении?

17. Что учитывают в балансе импульса контрольного объёма?

18. Куда направлена сила струи на нормально расположенную преграду при потере осевой скорости?

19. Что входит в механический энергетический баланс системы подачи?

20. Что нужно задать для нестационарной расчётной задачи кроме условий на границах?

Лекция 1.5 Уравнения Эйлера и одномерное течение

01. Какую силу учитывает градиент давления в уравнении Эйлера?
02. Как записать ускорение из уравнения Эйлера?
03. Какое влияние исключает модель Эйлера?
04. Как записать полный напор идеального несжимаемого потока?
05. При каких условиях он сохраняется вдоль линии тока?
06. Когда постоянная Бернулли одинакова на разных линиях тока?
07. Что характеризует потенциальное течение?
08. Какова единица каждого слагаемого полного напора?
09. Почему в реальном трубопроводе добавляют потери напора?
10. Когда допустима формула Торричелли для идеального истечения?
11. Как меняется скорость по Торричелли при увеличении напора в четыре раза?
12. Как записать расход через отверстие с коэффициентом расхода?
13. Почему коэффициент расхода может быть меньше единицы?
14. Что должно входить в формулу состояния идеального газа?
15. Как найти скорость звука идеального газа?
16. Что показывает число Маха?
17. Найдите Ма при v = 70 м/с и a = 350 м/с.
18. Означает ли малое Ма постоянную плотность при сильном нагреве?
19. Как связаны площади, плотности и средние скорости в двух сечениях без утечек?
20. Какой эффект ограничивает массовый расход в критическом сечении идеального сопла?

Лекция 1.7 Вязкое течение и гидравлические потери

01. Какие вклады уравнения Навье — Стокса определяют ускорение?
02. Что означает прилипание к неподвижной стенке?
03. Что означает полностью развитое течение в прямой трубе?
04. Какова форма профиля Пуазейля?
05. Как связаны максимальная и средняя скорости Пуазейля в круглой трубе?
06. Как зависит расход Пуазейля от диаметра при фиксированном перепаде?
07. Как меняется этот расход при удвоении вязкости?
08. Что сравнивает число Рейнольдса?
09. Как записать Re по среднему потоку в круглой трубе?
10. Какой коэффициент Дарси берут для развитого ламинарного течения?
11. Как записать потери напора по длине?
12. Как записать местные потери для участка с одинаковой опорной скоростью?
13. Как подобрать опорную скорость для местного сопротивления?
14. Что учитывают при выборе λ для турбулентного течения?
15. Зачем требуется замыкание усреднённых турбулентных уравнений?
16. Почему геометрического подобия недостаточно для переноса результатов?
17. Как вычислить требуемый напор между двумя открытыми резервуарами?
18. Как связаны гидравлическая и валовая мощности насоса?
19. Что вызывает кавитацию?
20. Какие данные нужны для оценки вязкости по Пуазейлю?

Лекция 2.1 Однофазная фильтрация и пьезопроводность

01. Как определить пористость?

02. Чем скорость фильтрации отличается от средней поровой скорости?

03. Как связаны q и средняя поровая скорость u в насыщенной однородной среде?

04. Какова размерность внутренней проницаемости?

05. Какова единица коэффициента фильтрации в напорной записи закона Дарси?

06. Как связаны k и коэффициент фильтрации для заданной жидкости?

07. Как записать закон Дарси при оси z вверх?

08. Что происходит с расходом при удвоении проницаемости и неизменных прочих данных?

09. При каких условиях давление линейно меняется вдоль образца?

10. Почему при радиальном течении появляется логарифм?

11. Как влияет мощность однородного пласта на приток к скважине при неизменных прочих параметрах?

12. Какой расход сохраняется при стационарной изотермической фильтрации газа без источников?

13. Почему в простейшем изотермическом газовом решении появляется разность квадратов давлений?

14. Что описывает уравнение пьезопроводности?

15. Какова единица коэффициента пьезопроводности?

16. Чему равен характерный масштаб времени на длине L?

17. Как меняется этот масштаб при удвоении L?

18. Как изменится $\alpha = k/(\varphi\mu c_t)$ при удвоении μ?

19. Когда рассматривают поправку Форхгеймера?

20. Как экспериментально оценить k в области Дарси?

Лекция 2.3 Реология и многофазная фильтрация

01. Что такое кривая течения?

02. Как определить кажущуюся вязкость?

03. Как записать степенную модель при положительной скорости сдвига?

04. Как интерпретируют $n < 1$?

05. Чему соответствует $n = 1$ в степенной модели?

06. Как оценить n по двум положительным точкам кривой?

07. Что задаёт модель Бингама?

08. Как изменится τ при удвоении $\dot{\gamma}$ для $n = 0{,}5$?

09. Что означает насыщенность фазы?

10. Какой баланс выполняется для насыщенностей полностью заполненной пористой среды?

11. Что учитывает относительная фазовая проницаемость?

12. Как определяют фазовую подвижность без включения k?

13. Почему доля воды в потоке может отличаться от водонасыщенности?

14. Как записать капиллярное давление для несмачивающей и смачивающей фаз?

15. Когда отношение $\lambda w/(\lambda w + \lambda o)$ даёт долю воды?

16. Что указывают в фазовом балансе?

17. Как учитывают внутренний массообмен в суммарном балансе?

18. Куда направлен перенос при законе $\dot{m} = KLA(c^* - c)$ и $c^* > c$?

19. Почему линейный закон Дарси с постоянной вязкостью может быть непригоден для среды с пределом текучести?

20. Какие данные проверяют перед применением подогнанной реологической кривой?

Лекция 2.5 Течение в трещинах и обмен с матрицей

01. Какая геометрия соответствует простейшему кубическому закону?
02. Как записать расход по кубическому закону?
03. Как меняется Q при удвоении раскрытия?
04. Как меняется Q при удвоении длины?
05. Что означает раскрытие b?
06. Какова средняя скорость в такой трещине?
07. Как меняется средняя скорость при удвоении b?
08. Как влияет удвоение вязкости на расход?
09. Почему шероховатость может влиять на расход даже при известном среднем раскрытии?
10. Что понимают под гидравлическим раскрытием?
11. Почему сеть трещин может быть анизотропной?
12. Когда кубический закон теряет точность?
13. Как сопоставить модель и измерение при нескольких перепадах?
14. В чём идея модели двойной пористости?
15. Что добавляет модель двойной проницаемости?
16. Как задают знаки внутреннего обмена при положительном потоке из матрицы?
17. Что определяет знак обмена в линейной модели одного флюида?
18. При переносе 0,004 кг/с из матрицы в трещину каков суммарный вклад в накопление?
19. Почему коэффициент обмена требует обоснования?
20. Что показывает чувствительность Q к малой ошибке b?

Лекция 2.7 Численная постановка и проверка

01. Когда круглая труба допускает осесимметричную модель?
02. Что задают на оси симметрии для осесимметричного течения?
03. Что задают на неподвижной стенке в вязкой модели?
04. Почему граничные условия должны быть согласованы?
05. Как описать полностью развитое течение без влияния входа?
06. Какие два интегральных результата удобно контролировать?
07. На чём основан метод конечных объёмов?
08. Какова основная идея метода конечных элементов?
09. Что показывает малая невязка решателя?
10. Чем контролируют погрешность дискретизации?
11. Почему желательно использовать три сетки?
12. Как проверить стационарный массовый баланс при одном входе и выходе?
13. Чему равен относительный небаланс при 0,200 и 0,198 кг/с?
14. Как вычислить относительную ошибку расхода?
15. Какой эталон применим для развитого ламинарного течения в круглой трубе?
16. Что проверяет верификация?
17. Что проверяет валидация?
18. Как исследовать чувствительность нестационарного решения к шагу времени?
19. Почему красивое поле скорости не подтверждает качество решения?
20. Какие сведения нужны для воспроизводимости?

Тестовые задания

В каждом задании выберите один ответ. Максимум 20 исходных баллов. Рекомендуемое время 25 минут.

Т1. При $\rho = \text{const}$ гидростатическое избыточное давление на глубине h равно
А $\rho g h$; Б $\rho g / h$; В $\rho h / g$; Г $\mu g h$.

Т2. Кинематическая вязкость определяется как
А ρ / μ; Б μ / ρ; В $\mu \rho$; Г p / ρ.

Т3. Материальное ускорение в эйлеровом описании равно
А только $\partial \mathbf{v} / \partial t$; Б только $(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v}$; В $\partial \mathbf{v} / \partial t + (\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v}$; 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 $\sqrt{2}$ 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 $\mu v / (\rho d)$; Б $\rho d / (\mu v)$; В $\rho v d / \mu$; Г $\rho v \mu / d$.

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 $16/\mathrm{Re}$; Б $64/\mathrm{Re}$; В $\mathrm{Re}/64$; Г $1/\mathrm{Re}^2$.

Т10. При заданных Q, H, ρ и КПД η мощность насоса на валу равна
А $\rho g Q H / \eta$; Б $\rho g Q H \eta$; В $Q H / (\rho g)$; Г $\rho g H / Q$.

Тестовые задания по фильтрации и моделированию

Т11. Размерность внутренней проницаемости k
А м/с; Б Па·с; В м²; 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.

Расчётные задачи

В расчётах используйте $g = 9{,}81$ м/с², если не указано иное. Покажите схему, уравнения, единицы и проверку.

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), $\gamma = 1{,}4$. Найдите плотность, массовый расход и число Маха. Поясните ограничение оценки сжимаемости.

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.

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.

Расчётные задачи по фильтрации и моделированию

37 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 = 2·10⁻¹² 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, μ = 0,001 Па·с, φ = 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 α = k/(φμc_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 μкаж = τ/γ̇. 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; μw = 0,001 Па·с, μo = 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 μ = 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 10,00·10⁻⁶ м³/с. На мелкой сетке входной расход 10,00·10⁻⁶, выходной 9,98·10⁻⁶ м³/с. Найдите ошибки, наблюдаемый порядок и относительный небаланс. Объясните различие проверок.

Практические работы

ПР1 Гидростатическое давление и сила на стенку

Тема 1.2 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З1. Дополнительно рассчитайте избыточное давление, если водяной манометр показывает разность уровней 0,20 м, а второй отвод открыт в атмосферу. Для тела с вытесненным объёмом 0,003 м³ найдите силу Архимеда.

ПР2 Неразрывность и импульс струи

Тема 1.4 РПД · 2 часа · 2 балла. Для установившегося поля v = (ax, −ay, 0), a = 1 $с^{-1}$, проверьте неразрывность, вычислите ускорение. Выполните З2 с указанием направления реакции.

ПР3 Истечение и параметры газового потока

Тема 1.6 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З3 и З4. Для З3 укажите пьезометрический и скоростной напоры на свободной поверхности и у выхода при идеальном приближении. Сравните идеальный и реальный расходы.

ПР4 Вязкость и расчёт насоса

Тема 1.8 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З6. Для трубы d = 0,010 м, L = 2 м и ρ = 900 кг/м³ используйте учебные пары Δp (Па) и Q (мл/с): (500; 0,62), (1000; 1,24), (1500; 1,85). Найдите наклон Q = aΔp по МНК через нуль, оцените μ и максимальное Re.

ПР5 Линейная и радиальная фильтрация

Тема 2.2 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З7 и З8. Для радиального притока при $k = 10^{-12}$ м², h = 2 м, μ = 0,001 Па·с, Δp = 20 кПа, $r_e/r_w = 10$ вычислите $Q = 2\pi kh\Delta p/[\mu \ln(r_e/r_w)]$ и поясните роль геометрии.

ПР6 Реологическая модель и фазовые расходы

Тема 2.4 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З9 и З10. Для переноса в жидкость найдите $\dot{m} = KLA(c^* - c)$, если $KL = 2\cdot10^{-5}$ м/с, A = 0,5 м², $c^* = 2$ и $c = 0,5$ кг/м³. Запишите знаки в двух фазах.

ПР7 Трещинный поток и обмен

Тема 2.6 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З11. Запишите балансы матрицы и трещин при потоке обмена 0,004 кг/с из матрицы в трещины, без внешних потоков. Проверьте суммарный баланс.

ПР8 Верификация модели и последовательное соединение сопротивлений

Тема 2.8 РПД · 2 часа · 2 балла. Выполните З12 и подготовьте исходную постановку В1. Труба и пористый элемент соединены последовательно. При линейных сопротивлениях $2\cdot10^7$ и $3\cdot10^7$ Па·с/м³ и суммарном перепаде 1000 Па найдите расход и перепад на каждом элементе.

Лабораторные работы

Каждая работа длится 2 часа и оценивается в 2 балла. В отчёте укажите схему, приборы, диапазоны, фактические показания, единицы и оценку расхождения. Измерения выполняются на доступной учебной установке по её регламенту.

ЛР1 Манометр и гидростатическое давление

Тема 3.1 РПД. Запишите жидкость, температуру и разность уровней при трёх показаниях. Пересчитайте в избыточное давление, сравните с датчиком и оцените смещение нуля.

ЛР2 Воздействие струи на преграду

Тема 3.2 РПД. Измерьте расход, диаметр сопла и силу при нескольких режимах. Постройте F от Q^2 и сопоставьте с теоретическим наклоном ρ/A. Укажите влияние разбрызгивания и несовпадения осей.

ЛР3 Потери давления и напор насоса

Тема 3.3 РПД. Запишите расход, перепад давления и уровни точек отбора. Вычислите потери, оцените требуемый напор и мощность по заданному КПД. Укажите, что именно охвачено измерительным участком.

ЛР4 Истечение и распределение напоров

Тема 3.4 РПД. Запишите напор над отверстием и объём, собранный за измеренное время. Вычислите Q и Сд. Если есть отборы давления, нанесите пьезометрические отметки и прокомментируйте падение напора.

ЛР5 Линейная и радиальная фильтрация

Тема 3.5 РПД. Получите Q при нескольких перепадах на пористом образце и оцените k по наклону. Сопоставьте линейную модель с данными радиальной схемы стенда, если она предусмотрена, либо с предоставленным учебным набором с известными h и радиусами. Укажите геометрию для каждой серии.

ЛР6 Параметры реологической модели

Тема 3.6 РПД. Снимите или получите пары $\dot{\gamma}$ и τ по учебному протоколу. Постройте кривую и оцените n и K по линейной аппроксимации $\ln \tau$ от $\ln \dot{\gamma}$ для положительных данных. Вычислите кажущуюся вязкость.

ЛР7 Закон течения в трещине

Тема 3.7 РПД. Для двух зазоров или двух серий измерьте Q и Δp. При сопоставимых условиях сравните $Q/\Delta p$ с кубической моделью. Оцените влияние погрешности раскрытия.

ЛР8 Расход и перепад в системе подачи

Тема 3.8 РПД. Запишите общий расход и перепады на двух последовательных элементах. Проверьте сумму перепадов и согласование расхода. Сравните сопротивления $\Delta p/Q$ в двух режимах.

Рубежные работы и вычислительный отчёт

К1 По темам 1–4

Вариант А — З1, З3, З5. Вариант Б — З2, З4, З6. На каждый вариант 45 минут, максимум 30 исходных баллов.

К2 По темам 5–8

Вариант А — З7, З9, З11. Вариант Б — З8, З10, З12. На каждый вариант 45 минут, максимум 30 исходных баллов.

В1 Верификация течения Пуазейля

Используйте условия З5. Выберите осесимметричную или трёхмерную постановку. Задайте прилипание и исключите входной эффект, например развитым входным профилем или периодическим участком с заданным градиентом. Согласуйте условия на входе и выходе.

До запуска определите аналитические Q, среднюю и максимальную скорости. Выполните расчёт на трёх систематически сгущаемых сетках. Приведите число ячеек или элементов, шаг, интегральные расходы, профиль скорости, баланс массы, относительные ошибки по эталону и изменение Q между двумя последними сетками. Для нестационарной постановки проверьте шаг времени и установление.

Приложите файлы модели, версию программы, свойства, граничные условия, параметры решателя, таблицу ошибок и график. Учебные ориентиры: на мелкой сетке ошибка Q до 2%, ошибка профиля, нормированная на аналитическую максимальную скорость, до 5%, изменение Q между последними сетками до 1%, относительный небаланс до 0,5%. При превышении обоснуйте причину и покажите попытку устранения. При работе с готовым набором результатов отдельно фиксируется, что проверялся анализ данных.

Билеты для зачёта с оценкой

5-й семестр. Два теоретических вопроса и одна расчётная задача. Подготовка 30 минут и ответ до 10 минут предложены для согласования. Условия задач приведены в банке З1–З12.

Билет 1

1. Какие параметры указывают при выборе плотности газа?
2. Почему линейный закон Дарси с постоянной вязкостью может быть непригоден для среды с пределом текучести?
3. Задача З1.

Билет 2

1. Как записать материальную производную скорости?
2. В чём идея модели двойной пористости?
3. Задача З2.

Билет 3

1. При каких условиях он сохраняется вдоль линии тока?
2. Как записать закон Дарси при оси z вверх?
3. Задача З3.

Билет 4

1. Означает ли малое Ma постоянную плотность при сильном нагреве?
2. Почему граничные условия должны быть согласованы?
3. Задача З4.

Билет 5

1. Как связаны максимальная и средняя скорости Пуазейля в круглой трубе?
2. Что учитывает относительная фазовая проницаемость?
3. Задача З5.

Билет 6

1. Как вычислить требуемый напор между двумя открытыми резервуарами?
2. Что показывает малая невязка решателя?
3. Задача З6.

Билет 7

1. Чему равен характерный масштаб времени на длине L?
2. Какие сведения нужны для воспроизводимости?
3. Задача З10.

Билет 8

1. Как учитывают внутренний массообмен в суммарном балансе?
2. Как задают знаки внутреннего обмена при положительном потоке из матрицы?
3. Задача З11.

4 Методические материалы и процедуры оценивания

Работа	Критерии и исходные баллы
A1	2 за полный ответ с обоснованием, 1 за верный основной тезис, 0 при существенной ошибке или пропуске.
Тест	1 балл за правильный вариант, 0 при ошибке или пропуске.
ПР	1 за схему и метод, 1 за расчёт с единицами, проверку и вывод.
ЛР	1 за фактические данные и корректную обработку, 1 за сопоставление с моделью и защиту вывода.
Задача К1, К2 или билета	10 баллов: схема и допущения — 2, модель и уравнения — 3, вычисления и единицы — 3, проверка и интерпретация — 2.
B1	6 баллов: постановка и условия — 1, эталон — 1, расчёты на трёх сетках — 1, количественная проверка расхода и профиля — 1, баланс массы и сходимость — 1, воспроизводимость и защита — 1.
Теория билета	За каждый ответ до 10: определения — 3, связи и физическое объяснение — 4, допущения или пример — 3.

При локальной ошибке снижается оценка по затронутому критерию. Корректные альтернативные методы принимаются. Допустимое расхождение при округлении числового ответа — до 1% при одинаковых исходных данных.

5 Методические указания для обучающегося

СРС	Часы	Задание
1.9 Свойства и движение жидкостей и газов	30	ПР1–ПР4, обработка Q(Δp), подготовка к К1.
2.9 Фильтрация и численные методы	29,8	ПР5–ПР8, оценка влияния параметров и отчёт B1, подготовка к К2 и зачёту.

Начинайте расчёт с выбора границ системы, направления потоков и отсчёта давления. В газовых формулах используйте абсолютное давление. Для пористых сред различайте поровую скорость, скорость фильтрации и расход. Фиксируйте единицы и границы применимости формул.

Для лабораторной защиты предъявите фактическую таблицу измерений, расчёт, сравнение с эталоном и возможные источники расхождения. Для зачёта проработайте банк вопросов и задач. Время и использование листа формул определяет преподаватель по согласованному регламенту.

Литература по РПД

И. Л. Повх. Техническая гидромеханика. Машиностроение, 1976.
Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе. Теоретическая гидромеханика. Часть 1. Москва, 1955.