МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИННОВАЦИЙ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

МОО ВО Кыргызско-Российский Славянский университет
имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина

УТВЕРЖДАЮ

Директор
(должность)
Лоцев Г.В
(ФИО)
3 сентября____2026 г.

Гидромеханика

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой **Высшая школа Природопользования, мехатроники и транспорта**

Учебный план Направление 15.03.03 - РФ, 650500 - КР Прикладная механика
Профиль "Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг"

Квалификация **бакалавр**
Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**
Часов по учебному плану 108
в том числе:
аудиторные занятия 48
самостоятельная работа 59,9

Виды контроля в семестрах:
зачет с оценкой 8

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	**8 (4.2)**		Итого	
Недель	12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16	16	16	16
Практические	32	32	32	32
Контактная работа в период теоретического обучения	0,1	0,1	0,1	0,1
В том числе инт.	2	2	2	2
В том числе в форме практ.подготовки	2		2	
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48,1	48,1	48,1	48,1
Сам. работа	59,9	59,9	59,9	59,9
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):
к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

к.т.н, Джаманкулов Азамат Кенешбекович

Рецензент(ы):
к.ф.-м.н., Комарцов Никита Михайлович

д.т.н, Муслимов Аннас Поясович

Согласовано РОП:
к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

Рабочая программа дисциплины
Гидромеханика

разработана в соответствии с ФГОС 3++:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 729)

составлена на основании учебного плана:

Направление 15.03.03 - РФ, 650500 - КР Прикладная механика
Профиль "Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг"
утвержденного учёным советом вуза от 26.06.2026 протокол № 11.

Рабочая программа одобрена на заседании **Высшей школы Природопользования, мехатроники и транспорта**

Протокол от 02.09.2026 г. № 1
Срок действия программы: 2026-2032 уч.г.
Руководитель подразделения: Алсеитов Мирлан Тилегенович

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ
к рабочей программе дисциплины (модуля)

Гидромеханика

№ п/п	Основание внесения изменения	Раздел/ пункт	Содержание изменения
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	
1.1	Цель - сформировать у студентов систему знаний в области механики жидкости и газа на базе общих теорем, с последующим углубленным изучением разделов динамики идеальных и вязких жидкостей и газов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП	
Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.1.ДВ.02
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Б1.О.3.13. Уравнения математической физики
2.1.2	Б1.О.2.06. Физика
2.1.3	Б1.О.2.01. Введение в высшую математику
2.1.4	Б1.В.1.ДВ.06.01. Специальные главы высшей математики
2.1.5	Б1.О.3.01. Введение в профессиональную деятельность
2.1.6	Б1.О.2.02. Математический анализ
2.1.7	Б1.О.2.03. Линейная алгебра и аналитическая геометрия
2.1.8	Б1.О.2.04. Дифференциальные уравнения
2.1.9	Б1.О.2.05. Теория вероятностей и математическая статистика
2.2	**Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Б2.О.02(Пд). Преддипломная практика
2.2.2	Б3.О.02. Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
2.2.3	Б3.О.03. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
ПК-1: Способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследования, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	
Знать:	
Уровень 1	Знать: Физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;
Уровень 2	
Уровень 3	
Уметь:	
Уровень 1	Уметь: Применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;
Уровень 2	
Уровень 3	
Владеть:	
Уровень 1	Владеть: физико-математический аппаратом для проведения исследований; навыками использования математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности
Уровень 2	
Уровень 3	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	**Знать:**
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.
3.2	**Уметь:**

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.
3.3	**Владеть:**
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.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетен-ции	Литература	Инте ракт.	Пр. подг.	Примечание
	Раздел 1. Свойства сред и гидростатика							
1.1	Физические свойства жидкостей и газов и равновесие жидкости Гипотеза сплошной среды; плотность, динамическая и кинематическая вязкость, сжимаемость; выбор свойств при заданных температуре и давлении. Идеальная и вязкая, сжимаемая и несжимаемая среда; закон вязкости Ньютона и границы принятых моделей. Давление в покоящейся среде; уравнение гидростатики в поле тяжести; абсолютное и избыточное давление, показания манометров. Результирующая сила давления на плоскую поверхность и положение центра давления; расчёт стенки резервуара. Выталкивающая сила, плавание тел и капиллярное давление; роль поверхностного натяжения в узких каналах и порах. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
1.2	Свойства жидкости и газа, гидростатическое давление и показания манометра. Сила давления на плоскую стенку и выталкивающая сила . /Пр/	8	4	ПК-1	Л1.1Л2.1			

1.3	Описание течения и балансовые уравнения Лагранжево и эйлерово описание; поле скорости, линии тока, траектории частиц; установившееся и неустановившееся движение. Локальное и конвективное ускорения; деформация и вращение элемента жидкости, вихрь скорости. Объёмный и массовый расходы; уравнение неразрывности в интегральной и дифференциальной формах. Баланс импульса для контрольного объёма; силы на повороте трубопровода и при торможении струи. Баланс энергии и замыкание модели; начальные и граничные условия, связь локальных уравнений с инженерными балансами. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
1.4	Поле скорости, ускорение и проверка уравнения неразрывности. Массовый баланс и сила воздействия струи на неподвижную преграду. /Пр/	8	4	ПК-1	Л1.1Л2.1			
1.5	Уравнения Эйлера и одномерное течение жидкости и газа Уравнения Эйлера как модель невязкого движения; допустимость пренебрежения вязкостью вне пограничных слоёв. Интеграл Бернулли для установившегося несжимаемого течения вдоль линии тока; геометрический, пьезометрический и скоростной напоры. Истечение из резервуара, сужение струи и коэффициент расхода; связь идеальной модели с реальным расходом. Безвихревое движение, потенциал скорости и функция тока в плоской несжимаемой постановке; назначение потенциальной модели. Одномерный газовый поток: уравнение состояния идеального газа, массовый расход, скорость звука и число Маха; условия учёта сжимаемости. Качественная связь площади сопла и скорости дозвукового и сверхзвукового потока; критическое сечение и ограничения модели без теплообмена и трения. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			

1.6	Расчёт истечения и распределения напоров по уравнению Бернулли . Массовый расход, число Маха и выбор модели одномерного газового потока . /Пр/	8	4	ПК-1	Л1.1Л2.1			
1.7	Вязкое движение и расчёт потерь давления Уравнения Навье — Стокса для ньютоновской среды; условие прилипания; упрощения для установившегося полностью развитого течения. Течение Пуазейля в круглой трубе: профиль скорости, расход, напряжение на стенке; проверка ламинарного режима. Число Рейнольдса и подобие; назначение чисел Фруда, Эйлера и Маха при выборе модели и переносе результатов. Турбулентные пульсации, усреднение и необходимость замыкания; пограничный слой, отрыв и сопротивление обтекаемого тела на качественном уровне. Потери по длине и местные потери; формула Дарси — Вейсбаха, коэффициент трения Дарси и влияние относительной шероховатости. Уравнение энергии реального потока; требуемый напор и мощность насоса, кавитация как ограничение проектирования системы подачи. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
1.8	Течение Пуазейля и обработка учебного набора данных о расходе и перепаде давления. Потери давления в трубопроводе и требуемые напор и мощность насоса. /Пр/	8	4	ПК-1	Л1.1Л2.1			
1.9	Составление таблицы свойств рабочих сред и решение задач на гидростатику. Анализ поля скорости и применение законов сохранения. Сравнение моделей идеальной жидкости и сжимаемого газа. Расчёт сопротивлений и обработка зависимости расхода от перепада давления. /Ср/	8	30	ПК-1	Л1.1Л2.1			
	Раздел 2. Фильтрация в пористых средах							

2.1	Установившаяся и неустановившаяся фильтрация жидкости и газа . Пористость и проницаемость; скорость фильтрации и средняя скорость в порах; представительный объём среды. Закон Дарси, гидравлический потенциал и размерность проницаемости; отличие проницаемости от коэффициента фильтрации. Линейная и радиальная установившаяся фильтрация; перепад давления в фильтрующем элементе и приток к скважине в простейшей модели. Сжимаемость газа, зависимость объёмного расхода от давления; массовый баланс при изотермической газовой фильтрации. Уравнение пьезопроводности для слабосжимаемой однофазной среды; начальные и граничные условия, характерное время распространения возмущения. Границы линейной фильтрации и поправка Форхгеймера; применение к фильтрам, движению воды, нефти и газа в геологических средах. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
2.2	Линейная и радиальная установившаяся фильтрация по закону Дарси. Нестационарная фильтрация и оценка характерного времени пьезопроводности. /Пр/	8	4	ПК-1	Л1.1Л2.1			

2.3	Реологические модели и многофазная фильтрация Кривые течения; степенная модель и модель Бингама; кажущаяся вязкость и предел текучести, ограничения экстраполяции реологических данных. Как реология изменяет расход и распределение скоростей в канале; особенности фильтрации неньютоновской жидкости и возможный порог начала движения. Насыщенности фаз, относительные фазовые проницаемости и капиллярное давление; замыкание двухфазной модели. Фазовые законы Дарси, подвижность и доля потока каждой фазы; вытеснение нефти водой в упрощённом одномерном описании. Межфазный массообмен: движущая сила, коэффициент массопередачи и межфазная поверхность; пример переноса вещества между газом и жидкостью. Выбор однофазного или многофазного приближения; какие данные нужны для расчёта фильтра, смазочного материала или геологической среды. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
2.4	Определение параметров реологической модели и кажущейся вязкости. Фазовые расходы и межфазный массообмен в упрощённых двухфазных моделях. /Пр/	8	4	ПК-1	Л1.1Л2.1			

2.5	Течение в трещинах и обмен между трещинами и матрицей Геометрия трещины: раскрытие, протяжённость, шероховатость и связность; отличие трещинного пути от порового пространства. Ламинарное течение между параллельными пластинами и кубический закон; влияние раскрытия на расход и проводимость. Эквивалентная проницаемость и её анизотропия; ограничения замены сети трещин однородным континуумом. Модели двойной пористости и двойной проницаемости; баланс массы в матрице и трещинах, смысл обменного члена. Установившийся перепад давления и неустановившийся обмен; характерные масштабы и чувствительность к раскрытию и проницаемости. Примеры движения воды, нефти и газа в трещиноватой породе; перенос модели на щелевые зазоры и пористые инженерные элементы. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
2.6	Кубический закон течения в трещине и баланс обмена между трещиной и матрицей . /Пр/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1	2		мозговой штурм

2.7	Постановка и проверка численной модели течения. Выбор расчётной области, размерности, физических допущений и граничных условий для течения в трубе или пористом элементе. Идея конечно-объёмной и конечно-элементной дискретизации; сетка, аппроксимация и связь скорости с давлением без вывода алгоритмов решателя. Невязки уравнений и интегральный баланс массы; контроль установления решения и зависимости результата от шага времени. Верификация на решении Пуазейля или Дарси; последовательное сгущение сетки и количественная оценка ошибки расхода или перепада давления. Валидация по независимым измерениям, неопределённость исходных свойств и воспроизводимость; представление полей и интегральных результатов без подмены проверки визуализацией. /Лек/	8	2	ПК-1	Л1.1Л2.1			
2.8	Подготовка численной модели ламинарного течения в трубе. Верификация расчёта по аналитическому решению и исследование сеточной сходимости. Согласование расхода и перепада давления в системе подачи с пористым элементом. /Пр/	8	6	ПК-1	Л1.1Л2.1			
2.9	Исследование влияния проницаемости и сжимаемости на фильтрацию. Сопоставление реологических моделей и расчёт фазовых расходов. Оценка проводимости трещины и обмена с пористой матрицей. Подготовка воспроизводимого вычислительного отчёта и повторение курса. /Ср/	8	29,9	ПК-1	Л1.1Л2.1			
2.10	Консультация и прием зачета /КрТО/	8	0,1	ПК-1	Л1.1Л2.1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

1 Вопросы текущего контроля и промежуточной аттестации

Тема 1 Физические свойства жидкостей и газов и равновесие жидкости

1. Какие свойства определяют выбор модели жидкости или газа и при каких условиях их следует задавать?
2. Как связаны абсолютное, избыточное давление и вакуумметрическое давление?
3. Как получить распределение давления в покоящейся жидкости и найти силу давления на плоскую стенку?
4. Как определяются выталкивающая сила и капиллярное давление; когда ими нельзя пренебрегать?

Тема 2 Описание течения и балансовые уравнения

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

6. Как рассчитывается материальная производная скорости и что означают её слагаемые?
7. Как записать массовый баланс для сжимаемого и несжимаемого потока?
8. Как выбрать контрольный объём и учесть импульс струи и внешние силы?
Тема 3 Уравнения Эйлера и одномерное течение жидкости и газа
9. Какие допущения приводят к уравнениям Эйлера и интегралу Бернулли?
10. В каком случае постоянная Бернулли одинакова для разных линий тока; что означает потенциальное течение?
11. Как определяют расход при истечении и как учитывают отклонение от идеального течения?
12. Что показывает число Маха; как меняются массовый расход и скорость в сопле при изменении плотности и площади?
Тема 4 Вязкое движение и расчёт потерь давления
13. Какие члены входят в уравнения Навье — Стокса и как задаётся условие прилипания?
14. Как получить расход Пуазейля и проверить допустимость ламинарной модели?
15. Как выбирают критерии подобия; зачем при турбулентном расчёте вводят модель замыкания?
16. Как рассчитываются потери по длине, местные потери, напор и мощность насоса; как проявляется опасность кавитации?
Тема 5 Установившаяся и неустановившаяся фильтрация жидкости и газа
17. Чем различаются пористость, проницаемость, коэффициент фильтрации и скорость движения в порах?
18. Как записать закон Дарси с учётом тяжести и какие условия ограничивают его применение?
19. Чем отличаются линейная, радиальная и изотермическая газовая фильтрация?
20. Как формируется уравнение пьезопроводности и оценивается характерное время; когда требуется поправка Форхгеймера?
Тема 6 Реологические модели и многофазная фильтрация
21. Как интерпретировать параметры степенной модели и модели Бингама?
22. Почему ньютоновский закон Дарси нельзя без обоснования переносить на жидкость с пределом текучести?
23. Что означают насыщенность, относительная проницаемость, капиллярное давление и фазовая подвижность?
24. Как составить фазовый баланс и оценить массообмен между газом и жидкостью при заданной движущей силе?
Тема 7 Течение в трещинах и обмен между трещинами и матрицей
25. При каких условиях действует кубический закон и как раскрытие влияет на расход?
26. Почему трещиноватая среда может обладать анизотропной проводимостью?
27. Чем различаются модели двойной пористости и двойной проницаемости?
28. Как записать обмен массой между матрицей и трещинами и проверить суммарный баланс?
Тема 8 Постановка и проверка численной модели течения
29. Как выбрать область и согласованные граничные условия численной задачи?
30. Чем различаются невязка решателя, погрешность дискретизации и физическая ошибка модели?
31. Как исследовать сходимость по сетке и времени и проверить баланс массы?
32. Чем отличаются верификация и валидация; какие файлы и данные обеспечивают воспроизводимость расчёта?

2 Задания по темам курса
1. Рассчитать давление на заданной глубине, силу на прямоугольную стенку и центр давления; объяснить выбор отсчёта глубины.
2. Для заданного поля скорости проверить неразрывность; по расходу струи определить силу на преграду и указать все силы контрольного объёма.
3. Рассчитать расход истечения с заданным коэффициентом расхода; определить массовый расход газа и число Маха по заданным состоянию и скорости.
4. Определить расход Пуазейля, число Рейнольдса и потери в трубопроводе; по зависимости Q от перепада давления оценить вязкость.
5. Рассчитать расход через пористый элемент и среднюю скорость в порах; оценить время пьезопроводности и влияние проницаемости.
6. По параметрам реологии найти напряжение и кажущуюся вязкость; рассчитать фазовые расходы и перенос вещества при заданном коэффициенте массопередачи.
7. Рассчитать расход в плоской трещине, исследовать влияние раскрытия и объяснить знаки обменного члена в балансах матрицы и трещин.
8. Составить модель ламинарного течения, получить результат на трёх сетках, проверить массовый баланс и ошибку относительно аналитического решения.

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

курсовых работ не предусмотрено

5.3. Фонд оценочных средств

1 Паспорт оценивания
ПК-1 — способность применять физико-математический аппарат, теоретические, расчётные и экспериментальные методы исследования, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.
Рабочий результат Темы Средства и свидетельства
Объясняет физические свойства, режимы, законы сохранения и ограничения моделей 1–8 Опрос по вопросам 1–32; тест Т1–Т20; теоретическая часть билета
Строит расчётную схему и вычисляет давление, силу, расход и сопротивление 1–7 Практические работы 1–13 и 16; задачи З1–З11; контрольные работы
Обрабатывает данные и оценивает параметры и расхождения 4, 8 Практическая работа 7, учебный набор данных Д1; вычислительный отчёт
Ставит и проверяет компьютерную модель, обеспечивает воспроизводимость 8 Практические работы 14–16;

вычислительный отчёт В1; задача З12
Учебная обработка данных проверяет приёмы экспериментального анализа, но не подтверждает самостоятельное проведение натурного эксперимента. Лабораторные занятия в аннотации не выделены.
2 Состав и порядок текущего контроля
• Опрос: вопросы 1–32 из раздела 3; по 1–2 вопроса после соответствующей темы. Результат используется для обратной связи.
• Практические работы: 16 работ по 2 ч; за каждую исходная оценка 0–10. Номера и названия совпадают с учебными материалами.
• Тест: все 20 заданий, один верный ответ в каждом, 25 минут; 1 балл за ответ, максимум 20.
• Контрольная работа 1 после темы 4: один из двух вариантов, 3 задачи, 45 минут; максимум 30 исходных баллов.
• Контрольная работа 2 после темы 8: один из двух вариантов, 3 задачи, 45 минут; максимум 30 исходных баллов.
• Вычислительный отчёт В1: выполнение в практических работах 14–15 и самостоятельной работе темы 8; отдельная защита, максимум 10 исходных баллов.
Для теста разрешён непрограммируемый калькулятор. На контрольных и итоговом билете допускаются калькулятор и выданный преподавателем лист формул без готовых решений. В проекте предусмотрена индивидуальная работа; иные правила определяются утверждённым порядком КРСУ.
3 Контрольные вопросы
Тема 1 Физические свойства жидкостей и газов и равновесие жидкости
1. Какие свойства определяют выбор модели жидкости или газа и при каких условиях их следует задавать?
2. Как связаны абсолютное, избыточное давление и вакуумметрическое давление?
3. Как получить распределение давления в покоящейся жидкости и найти силу давления на плоскую стенку?
4. Как определяются выталкивающая сила и капиллярное давление; когда ими нельзя пренебрегать?
Тема 2 Описание течения и балансовые уравнения
5. Чем отличаются линия тока и траектория; при каком условии они совпадают?
6. Как рассчитывается материальная производная скорости и что означают её слагаемые?
7. Как записать массовый баланс для сжимаемого и несжимаемого потока?
8. Как выбрать контрольный объём и учесть импульс струи и внешние силы?
Тема 3 Уравнения Эйлера и одномерное течение жидкости и газа
9. Какие допущения приводят к уравнениям Эйлера и интегралу Бернулли?
10. В каком случае постоянная Бернулли одинакова для разных линий тока; что означает потенциальное течение?
11. Как определяют расход при истечении и как учитывают отклонение от идеального течения?
12. Что показывает число Маха; как меняются массовый расход и скорость в сопле при изменении плотности и площади?
Тема 4 Вязкое движение и расчёт потерь давления
13. Какие члены входят в уравнения Навье — Стокса и как задаётся условие прилипания?
14. Как получить расход Пуазейля и проверить допустимость ламинарной модели?
15. Как выбирают критерии подобия; зачем при турбулентном расчёте вводят модель замыкания?
16. Как рассчитываются потери по длине, местные потери, напор и мощность насоса; как проявляется опасность кавитации?
Тема 5 Установившаяся и неустановившаяся фильтрация жидкости и газа
17. Чем различаются пористость, проницаемость, коэффициент фильтрации и скорость движения в порах?
18. Как записать закон Дарси с учётом тяжести и какие условия ограничивают его применение?
19. Чем отличаются линейная, радиальная и изотермическая газовая фильтрация?
20. Как формируется уравнение пьезопроводности и оценивается характерное время; когда требуется поправка Форхгеймера?
Тема 6 Реологические модели и многофазная фильтрация
21. Как интерпретировать параметры степенной модели и модели Бингама?
22. Почему ньютоновский закон Дарси нельзя без обоснования переносить на жидкость с пределом текучести?
23. Что означают насыщенность, относительная проницаемость, капиллярное давление и фазовая подвижность?
24. Как составить фазовый баланс и оценить массообмен между газом и жидкостью при заданной движущей силе?
Тема 7 Течение в трещинах и обмен между трещинами и матрицей
25. При каких условиях действует кубический закон и как раскрытие влияет на расход?
26. Почему трещиноватая среда может обладать анизотропной проводимостью?
27. Чем различаются модели двойной пористости и двойной проницаемости?
28. Как записать обмен массой между матрицей и трещинами и проверить суммарный баланс?
Тема 8 Постановка и проверка численной модели течения
29. Как выбрать область и согласованные граничные условия численной задачи?
30. Чем различаются невязка решателя, погрешность дискретизации и физическая ошибка модели?
31. Как исследовать сходимость по сетке и времени и проверить баланс массы?
32. Чем отличаются верификация и валидация; какие файлы и данные обеспечивают воспроизводимость расчёта?
4 Тестовые задания
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.

T5. При удвоении напора над отверстием и неизменном коэффициенте расхода Q меняется в
А 2 раза; Б √2 раза; В 4 раза; Г не меняется.
T6. Число Маха — это отношение
А скорости потока к скорости звука; Б инерции к вязкости; В вязкости к плотности; Г давления к температуре.
T7. Число Рейнольдса для круглой трубы со средней скоростью v равно
А μv/(ρd); Б ρd/(μv); В ρvd/μ; Г ρvμ/d.
T8. 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.
T9. В формуле Дарси — Вейсбаха для ламинарного течения в круглой трубе коэффициент трения Дарси равен
А 16/Re; Б 64/Re; В Re/64; Г $1/Re^2$.
T10. При заданных Q, H, ρ и КПД η мощность насоса на валу равна
А ρgQH/η; Б ρgQHη; В QH/(ρg); Г ρgH/Q.
T11. Размерность внутренней проницаемости k
А м/с; Б Па·с; В $м^2$; Г $с^{-1}$.
T12. 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.
T13. При увеличении проницаемости вдвое и неизменных остальных параметрах $\alpha = k/(\varphi \mu c_t)$ характерное время L^2/α
А удваивается; Б не меняется; В увеличивается в четыре раза; Г уменьшается вдвое.
T14. 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.
T15. Относительная фазовая проницаемость характеризует
А пористость; Б плотность фазы; В снижение проводимости для фазы относительно внутренней проницаемости в принятой модели; Г скорость звука.
T16. 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.
T17. В кубическом законе расход при неизменных W, L, μ, Δp пропорционален
А b; Б b^2; В 1/b; Г b^3.
T18. 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.
T19. Сравнение с точным решением Пуазейля прежде всего служит
А подтверждению любого физического допущения; Б оценке шероховатости; В верификации численного решения; Г измерению вязкости.
T20. 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.
Ориентиры обратной связи: 17–20 — уверенное владение понятиями; 14–16 — отдельные пробелы; 12–13 — требуется повторение; 0–11 — существенные пробелы. Эти интервалы не заменяют итоговую шкалу дисциплины.
5 Банк расчётных заданий
Все числовые условия разработаны как учебные. Если не оговорено иное, использовать $g = 9{,}81$ м/$с^2$. Показывать схему, уравнения, подстановки, единицы и вывод о применимости модели. Преподаватель выдаёт условия без раздела ключей.
31 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/$м^3$. Найдите результирующую силу и глубину центра давления.
32 Торможение струи
Свободная горизонтальная струя воды диаметром 0,020 м имеет расход 0,003 $м^3$/с и нормально ударяет в неподвижную плоскую преграду. После удара осевая компонента скорости равна нулю. Плотность 1000 кг/$м^3$; давление на открытых границах атмосферное, потери до удара не учитываются. Найдите скорость и силу струи на преграду.
33 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.
34 Параметры газового потока
В одном сечении канала воздух имеет абсолютное давление 100 кПа, температуру 300 К, скорость 100 м/с и площадь 0,001 $м^2$. Считать газ идеальным: R = 287 Дж/(кг·К), γ = 1,4. Найдите плотность, массовый расход и число Маха. Поясните ограничение оценки сжимаемости.
35 Течение Пуазейля
Жидкость с ρ = 900 кг/$м^3$ 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.
36 Трубопровод и насос
Между двумя большими открытыми резервуарами вода подаётся с расходом 0,002 $м^3$/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/$м^3$, КПД насоса 0,70. Скорости на свободных поверхностях пренебрежимо малы; все местные потери включены в сумму. Найдите напор и мощность на валу.

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 ∂p/∂t = α∂²p/∂x² используйте α = k/(φμc_t). Найдите α и оценку времени L²/α. Объясните, является ли это точным временем установления.
39 Степенная реология
Жидкость описывается τ = K·γ̇ⁿ, где K = 0,8 Па·cⁿ 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 = Wb³Δp/(12μL). 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.
6 Ключи к расчётным заданиям
31. Площадь A = 3 м²; глубина центра площади hc = 2 м. Избыточная сила F = ρgAhc = 58 860 Н. Ic = bh³/12 = 1 м⁴; hцд = hc + Ic/(hcA) = 2,167 м от свободной поверхности.
32. A = πd²/4; v = Q/A = 9,549 м/с. F = ρQv = 28,65 Н по направлению падающей струи. Сила преграды на жидкость противоположна.
33. Q = Cд(πd²/4)√(2gH) = 0,001220 м³/с, или 1,220 л/с. Идеальная скорость √(2gH) = 6,264 м/с; Cд учитывает совокупное влияние сжатия и скорости струи.
34. ρ = p/(RT) = 1,1614 кг/м³; массовый расход = ρvA = 0,11614 кг/с. a = √(γRT) = 347,19 м/с; Ma = 0,288. Значение около 0,3 требует оценки допустимой ошибки; низкое Ma само по себе не исключает изменения плотности при заметном нагреве или изменении давления.
35. Q = πd⁴Δp/(128μL) = 2,4544·10⁻⁶ м³/с. vcp = 0,03125 м/с; Re = ρvcpd/μ = 2,813. Ламинарное приближение согласовано; входной участок исключён условием.
36. v = 1,0186 м/с; hпот = (λL/d + Σζ)v²/(2g) = 0,8461 м. H = 5,8461 м; Nвал = ρgQH/η = 163,86 Вт. Коэффициент λ задан; самостоятельная корреляция для него не требуется.
37. Q = kAΔp/(μL) = 1,00·10⁻⁵ м³/с. Скорость фильтрации q = Q/A = 0,001 м/с. Средняя поровая скорость u = q/φ = 0,004 м/с; q и u различаются.
38. α = 5 м²/с; t* = L²/α = 20 с. Это оценка масштаба; конкретная степень приближения к стационарному состоянию зависит от геометрии, начальных и граничных условий.
39. При 10 с⁻¹: τ = 3,185 Па, μкаж = 0,3185 Па·с. При 100 с⁻¹: τ = 12,679 Па, μкаж = 0,1268 Па·с. Среда псевдопластическая; степенной закон применяется в заданном диапазоне, предел текучести им не задаётся.
310. Q_i = kk_riAΔp/(μ_iL). Qw = 3,00·10⁻⁷ м³/с; Qo = 4,00·10⁻⁸ м³/с. Q = 3,40·10⁻⁷ м³/с; fw = Qw/Q = 0,88235. Доля потока не равна насыщенности.
311. Q = 5,2083·10⁻⁶ м³/с. При b = 0,001 м расход возрастает в 8 раз: 4,1667·10⁻⁵ м³/с, если допущения о режиме остаются применимыми.
312. Относительные ошибки по аналитике: 8%; 2%; 0,5%. p = ln(|9,80−9,20|/|9,95−9,80|)/ln2 = 2. Небаланс = |Qвх−Qвых|/|Qвх| = 0,2%. Это верификация и контроль сохранения массы, а не валидация по эксперименту. Данные учебные синтетические.
7 Контрольные работы
Контрольная работа 1
Темы 1–4. Вариант А: 31, 33, 35. Вариант Б: 32, 34, 36. Полные условия и ключи приведены в разделах 5–6. Каждый вариант проверяет физическую постановку, расчёт и обоснование режима. Баллы за каждую задачу — по критериям раздела 11, максимум 10; за работу — 30.
Контрольная работа 2
Темы 5–8. Вариант А: 37, 39, 311. Вариант Б: 38, 310, 312. Полные условия и ключи приведены в разделах 5–6. Варианты охватывают разные сочетания тем; вопросы, не попавшие в вариант, дополнительно проверяются тестом, практическими работами и билетом. Максимум — 30 баллов.
8 Практические работы и обработка данных
ПР1. Свойства жидкости и газа, гидростатическое давление и показания манометра — тема 1.
ПР2. Сила давления на плоскую стенку и выталкивающая сила — тема 1.
ПР3. Поле скорости, ускорение и проверка уравнения неразрывности — тема 2.
ПР4. Массовый баланс и сила воздействия струи на неподвижную преграду — тема 2.
ПР5. Расчёт истечения и распределения напоров по уравнению Бернулли — тема 3.
ПР6. Массовый расход, число Маха и выбор модели одномерного газового потока — тема 3.
ПР7. Течение Пуазейля и обработка учебного набора данных о расходе и перепаде давления — тема 4.
ПР8. Потери давления в трубопроводе и требуемые напор и мощность насоса — тема 4.

ПР9. Линейная и радиальная установившаяся фильтрация по закону Дарси — тема 5.
ПР10. Нестационарная фильтрация и оценка характерного времени пьезопроводности — тема 5.
ПР11. Определение параметров реологической модели и кажущейся вязкости — тема 6.
ПР12. Фазовые расходы и межфазный массообмен в упрощённых двухфазных моделях — тема 6.
ПР13. Кубический закон течения в трещине и баланс обмена между трещиной и матрицей — тема 7.
ПР14. Подготовка численной модели ламинарного течения в трубе — тема 8.
ПР15. Верификация расчёта по аналитическому решению и исследование сеточной сходимости — тема 8.
ПР16. Согласование расхода и перепада давления в системе подачи с пористым элементом — тема 8.
Для каждой работы предъявляются схема и исходные данные, обоснованная модель, решение, проверка и краткая индивидуальная защита. Преподаватель может использовать соответствующую задачу банка как базовое условие. В ПР3 дополнительно рассматривается поле $v = (ax, -ay, 0)$, где $a = 1\ с^{-1}$: требуется проверить $\operatorname{div} v = 0$ и найти материальное ускорение $(a^2x, a^2y, 0)$ для установившегося поля.
Д1 Обработка учебных данных для практической работы 7
Данные ниже синтетические и предназначены для отработки анализа, а не для отчёта о проведённом эксперименте. Для горизонтальной трубы $d = 0{,}010$ м, $L = 2$ м, $\rho = 900$ кг/м³ заданы пары перепад давления — расход. Входные эффекты исключены. Относительная неопределённость условного канала измерения расхода — 2%, давления — 1%; диаметр и длину в этой задаче считать точными.
Перепад давления Па Расход мл/с
500 0,62
1000 1,24
1500 1,85
Задание: построить $Q(\Delta p)$, оценить наклон прямой $Q = a\Delta p$ методом наименьших квадратов через начало координат, определить $\mu = \pi d^4/(128La)$, проверить максимальное Re и оценить отклонения. Объяснить, какие данные нужны для настоящей экспериментальной валидации.
Ключ: $a = \Sigma(\Delta p \cdot Q)/\Sigma(\Delta p^2) = 1{,}235714 \cdot 10^{-9}$ м³/(с·Па); $\mu \approx 0{,}09931$ Па·с. Максимальная скорость ≈ 0,02355 м/с, $Re \approx 2{,}13$. Максимальное относительное отклонение Q от прямой около 0,35%, что меньше условных неопределённостей каналов; это согласованность учебного набора, а не доказательство точности натурной модели.
Дополнительные вопросы к практической работе 12
Межфазный перенос растворённого вещества описан выражением массового потока через поверхность $\dot{m} = K_L A(c^* - c)$. Дано $K_L = 2 \cdot 10^{-5}$ м/с, $A = 0{,}5$ м², $c^* = 2$ кг/м³, $c = 0{,}5$ кг/м³. Требуется найти скорость переноса, назвать допущения и показать противоположные знаки межфазного переноса в фазовых балансах. Ключ: $\dot{m} = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ кг/с; движущая сила и коэффициент отнесены к жидкой фазе, площадь и концентрации считаются заданными постоянными.
Дополнительные вопросы к практическим работам 9 и 13
Для стационарного радиального притока несжимаемой жидкости к скважине без гравитационного эффекта вывести зависимость $Q = 2\pi kh(p_e - p_w)/(\mu \ln(r_e/r_w))$; пояснить роль мощности пласта h. Для двойной пористости записать отдельные балансы накопления матрицы и трещин с равными по модулю противоположными обменными членами. В модели двойной проницаемости дополнительно учитывается перенос внутри обеих подсистем; выбор определяется задачей и данными.
9 Вычислительный отчёт
В1 Верификация ламинарного течения в трубе
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; для З5 $v_{max} = 2v_{ср} = 0{,}0625$ м/с.
• 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 v_{max}.
• Оцените относительный массовый небаланс $|\dot{m}_{вх} - \dot{m}_{вых}|/|\dot{m}_{вх}|$ 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.
10 Промежуточная аттестация
Предлагаемый формат: билет из двух теоретических вопросов раздела 3 и одной задачи раздела 5. Подготовка —

ориентировочно 30 минут, ответ и обсуждение — до 10 минут; продолжительность и организация подлежат согласованию. На экзамене используется предложенная числовая шкала; для зачёта возможный проект порога указан ниже. Фактическая форма в аннотации не определена.
Билет Вопросы Задача
1 1 и 22 З1
2 6 и 27 З2
3 9 и 18 З3
4 12 и 29 З4
5 14 и 23 З5
6 16 и 30 З6
7 19 и 32 З10
8 24 и 28 З11
Перечень 1–32 служит полной программой подготовки. Восемь билетов — базовый комплект для этого проекта; при увеличении группы преподаватель формирует дополнительные равносложные сочетания из того же банка. Каждый теоретический ответ оценивается до 10, задача — до 10, всего 30 исходных баллов.

5.4. Перечень видов оценочных средств

Устный опрос и короткий письменный ответ по физическим моделям, уравнениям и условиям их применимости.
Тематический тест по всем восьми темам с ключом правильных ответов.
Расчётные задачи и защита решений практических работ.
Обработка учебных данных о расходе и перепаде давления с оценкой параметра и отклонений.
Две рубежные контрольные работы по темам 1–4 и 5–8.
Вычислительный отчёт с файлами модели, аналитической проверкой и исследованием сеточной сходимости.
Итоговый билет с двумя теоретическими вопросами и расчётной задачей; применение зависит от утверждённой формы аттестации.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Повх И.Л.	Техническая гидромеханика: научное издание	Л.: Машиностроение 1976

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.	Теоретическая гидромеханика. Ч. 1: учебник для университетов	М. 1955

6.3. Перечень информационных и образовательных технологий

6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии

6.3.1.1	1. Python с NumPy SciPy и Matplotlib. Расчёт расходов и сопротивлений, аппроксимация данных, решение простых дифференциальных задач и построение графиков. Свободно распространяемые инструменты; конкретное окружение фиксируется преподавателем.
6.3.1.2	2. OpenFOAM. Численное моделирование течений методом конечных объёмов и подготовка учебных расчётных случаев. Свободное ПО; задания согласуются с выбранной ветвью и версией.
6.3.1.3	3. ParaView. Обработка результатов: сечения, профили скорости, линии тока и интегральные величины. Свободное ПО; используется совместно с вычислительным решателем.
6.3.1.4	4. COMSOL Multiphysics с подходящими модулями течения. Альтернативная среда для задач свободного течения, фильтрации и многофазных сред. Коммерческая лицензия и нужные модули требуются отдельно; наличие в КРСУ не установлено.

6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения

6.3.2.1	1. NIST Chemistry WebBook — Thermophysical Properties of Fluid Systems. https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/ — Справочные плотность, вязкость, скорость звука и другие свойства доступных в системе сред при заданных условиях.
6.3.2.2	2. Turbulence Modeling Resource. https://tmbwg.github.io/turbmodels/ — Справочные материалы и проверочные задачи для моделей турбулентности; для ознакомления и дальнейших исследований. Официальная страница перехода — NASA.
6.3.2.3	3. КиберЛенинка. https://cyberleninka.ru/ — Открытые публикации по гидромеханике, фильтрации, реологии и вычислительному моделированию; качество и применимость каждой статьи оцениваются отдельно.
6.3.2.4	4. Crossref. https://www.crossref.org/ — Поиск и проверка библиографических метаданных, DOI и реквизитов публикаций; сервис не гарантирует доступ к полному тексту.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Подготовка и работа с лекциями
Перед изучением темы повторите нужные понятия математического анализа, дифференциальных уравнений, физики и теоретической механики. В конспекте отдельно фиксируйте физический смысл величин, размерности, допущения и граничные условия. Для каждого уравнения записывайте, к какой среде и какому режиму оно относится. После лекции составьте краткую схему связей между исходной моделью и инженерной расчётной формулой.
Решение расчётной задачи
Начните со схемы системы, направления осей, контрольного объёма и списка искомых величин. Переведите данные в СИ. Обоснуйте стационарность, сжимаемость, вязкость, режим течения и необходимость учёта тяжести. Запишите исходный баланс до подстановки чисел, затем выполните расчёт. Завершите проверкой размерности, знака, порядка величины и области применимости модели.
Проверка характерных ошибок
Не смешивайте абсолютное и избыточное давление. Различайте массовый и объёмный расходы, динамическую и кинематическую вязкость, скорость фильтрации и скорость в порах. В формуле потерь указывайте, что используется коэффициент трения Дарси, а не Фаннинга. Для газа задавайте состояние, к которому отнесён объёмный расход. Учитывайте зависимость свойств от температуры и давления.
Подготовка к практической работе
Прочитайте вопросы соответствующей лекции и составьте план решения без чисел. Подготовьте справочные свойства с указанием температуры, давления и источника. Для компьютерной работы заранее проверьте доступ к выбранной программе. На занятии сохраняйте промежуточные результаты, а при защите объясняйте выбор модели и причины расхождений, а не только показывайте итоговое число.
Работа с данными
Сохраняйте исходную таблицу отдельно от обработанной. Подпишите единицы на осях графиков, укажите способ аппроксимации и остаточные отклонения. Учебные синтетические данные называйте учебными; не представляйте их как выполненный эксперимент. Для реальных измерений фиксируйте методику, приборы и неопределённость. Выборочные несовпадения с формулой сначала проверяйте по единицам, режиму и граничным условиям.
Фильтрационные и многофазные задачи
Перед применением закона Дарси проверьте смысл проницаемости, гравитационного слагаемого и используемой скорости. Для слабосжимаемой среды укажите суммарную сжимаемость и пористость. В двухфазной модели запишите насыщенности, относительные проницаемости и давления фаз; упрощение без капиллярных и гравитационных эффектов обоснуйте отдельно. Для неньютоновской среды задайте реологический закон и допустимый диапазон скоростей сдвига.
Вычислительная работа
Первую модель выполняйте для простой геометрии с известным решением. Сохраните геометрию, сетку, физические свойства, граничные условия, настройки и версию программы. На трёх последовательно сгущённых сетках сравните одну и ту же интегральную величину. Проверяйте невязки и массовый баланс независимо. Сравнение с аналитикой является верификацией; сравнение с независимыми измерениями — валидацией. Графическое поле само по себе не подтверждает точность.
Состав отчёта
Включите постановку и схему, исходные данные с единицами, модель и допущения, уравнения, ход решения, результаты, проверки и вывод. Для численной задачи добавьте таблицу сеток, ошибку относительно эталона, баланс массы и файлы, необходимые для воспроизведения. Для заимствованных формул, свойств и данных укажите источник; отличайте собственные расчёты от опубликованных.
Организация самостоятельной работы
Работайте последовательно по восьми темам и используйте выделенные на них часы. Сначала разберите типовой пример, затем решите изменённую задачу без подсказки и проверьте ответ независимым способом. Часть времени каждой темы оставляйте на исправление замечаний и подготовку к опросу. К концу курса соберите единый набор проверенных формул с условиями их применения.
Подготовка к аттестации
Готовьте ответ по схеме: физическая постановка, модель, уравнения, условия применимости, инженерный пример и способ проверки. Повторите задачи на гидростатику, импульс, истечение, вязкий поток, сопротивления, фильтрацию, реологию, трещины и сходимость. Пользуйтесь полным перечнем контрольных вопросов. Уточните у преподавателя утверждённую форму аттестации, допустимые справочные материалы и порядок сдачи работ.