

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Нефтегазового дела»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №26 от 10 мая 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ГИДРОАЭРОМЕХАНИКА В БУРЕНИИ»

Специальность: 21.05.06 Нефтегазовые техника и технологии

Бурение нефтяных и газовых скважин

Квалификация: Горный инженер (специалист)

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Молокова Светлана
Васильевна
Дата подписания: 15.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Буглов Николай
Александрович
Дата подписания: 18.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Шмаков Андрей
Константинович
Дата подписания: 17.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Гидроаэромеханика в бурении» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПК-4 Способен осу-ществлять и корректи-ровать технологиче-ские процессы строи-тельства и ремонта нефтяных и газовых скважин	ПК-4.7

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПК-4.7	Применяет знания основных гидромеханических явлений, лежащих в основе цепочки нефтегазовых технологий, как основу для их управления и корректировки	Знать основные реологические законы промывочных жидкостей, пластов и насыщающих их флюидов; основные модели сред, применяемых при бурении и режимы течения вязкопластичных и степенных жидкостей в трубах и кольцевом пространстве Уметь оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации Владеть навыками интерпретации полученных результатов расчётов гидродинамических задач при бурении нефтяных и газовых скважин с использованием промывочных неньютоновских жидкостей и с учётом физических свойств пласта

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Гидроаэромеханика в бурении» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика», «Информационные технологии в нефтегазовом комплексе», «Физика»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», «Регулирование свойств промывочных жидкостей», «Производственная практика:технологическая (проектно-технологическая) практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам)
--------------------	---

	астрономического часа)		
	Всего	Учебный год № 4	Учебный год № 5
Общая трудоемкость дисциплины	108	36	72
Аудиторные занятия, в том числе:	12	2	10
лекции	8	2	6
лабораторные работы	0	0	0
практические/семинарские занятия	4	0	4
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	92	34	58
Трудоемкость промежуточной аттестации	4	0	4
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	, Зачет		Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Учебный год № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Свойства жидкостей и газов. Сведения о реологии. Основные уравнения	1	2					1	8	Устный опрос
	Промежуточная аттестация									
	Всего		2						8	

Учебный год № 5

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Назначение и свойства буровых растворов. Реологические модели буровых и тампонажных растворов.	1, 4	2			3	1	1, 2, 3	16	Устный опрос

	Реологические уравнения жидкостей									
3	Движение сред различной реологической классификации в трубах и кольцевых каналах							1	10	Устный опрос
4	Влияние профиля скоростей на вынос шлама	2	2			2	1	2, 2, 4	17	Устный опрос
5	Гидродинамическое давление в скважине	3	2			4	1			Устный опрос
	Промежуточная аттестация								4	Зачет
	Всего		6				3		47	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Учебный год № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Свойства жидкостей и газов. Сведения о реологии. Основные уравнения	Предмет и задачи дисциплины. Теоретические основы. Сходства и различия свойств жидкостей и газов. Понятие плотности. Способы измерения плотности. Понятие сжимаемости. Понятие поверхностного натяжения. Способы измерения поверхностного натяжения. Понятие межфазного натяжения. Измерение межфазного натяжения. Понятие смачиваемой поверхности Смачиваемость и капиллярное давление в пласте

Учебный год № 5

№	Тема	Краткое содержание
2	Назначение и свойства буровых растворов. Реологические модели буровых и тампонажных растворов. Реологические уравнения жидкостей	Понятие напряжений в сплошных средах. Понятие вязкости. Реология как наука. Идеальная жидкость (идеальный газ). Понятие ньютоновской среды. Признаки неньютоновских сред. Вязкопластичные среды (Тела Шведова). Бингамовские жидкости. Степенная модель Освальда де Ваале. Модифицированный степенной закон Гершеля-Балкли Универсальность закона Гершеля-Балкли.
3	Движение сред различной реологической классификации в трубах и кольцевых каналах	Режимы течения ньютоновских сред. Связь скорости и сдвиговых напряжений. Трехмерный профиль скоростей ньютоновской жидкости в кольцевом канале. Виды профилей скоростей при увеличении скорости ньютоновской жидкости. Режимы течения неньютоновских сред (буровых растворов). Понятие ядра потока. Профили

		скоростей неньютоновских жидкостей. Математическое моделирование движения жидкости с учетом проницаемой стенки скважины. Осаждение и вынос частиц шлама. Движение частиц шлама и пузырьков в покоящейся жидкости. Вынос разбуренной породы.
4	Влияние профиля скоростей на вынос шлама	Понятие объемного содержания шлама. Показатель эффективности транспортирования шлама. Факторы, влияющие на качество промывки вертикальных скважин. Факторы, влияющие на качество очистки наклонных скважин. Влияние эксцентриситета кольцевого пространства на перепад давления. Расчет потерь давления при циркуляции бурового раствора соединениях буровых труб, долоте, забойном двигателе, наземной обвязке.
5	Гидродинамические давления в скважине	Расчет гидродинамических давлений при спуско-подъемных операциях. Расчет давлений при движении труб с постоянной скоростью. Расчет инерционных давлений. Гидравлический удар в скважине.

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Учебный год № 5

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Гидростатика в бурении	1
2	Осаждение и вынос частиц шлама	1
3	Выбор расхода промывочной жидкости	1
4	Расчет потерь давления в элементах циркуляционной системы	1

4.5 Самостоятельная работа

Учебный год № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Проработка разделов теоретического материала	34

Учебный год № 5

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Контрольная работа для студентов заочной формы обучения	30

2	Подготовка к зачёту	15
3	Подготовка к практическим занятиям	2
4	Решение специальных задач	11

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: групповая дискуссия, лекция с ошибками, мозговой штурм

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Практические работы студенты выполняют на компьютере в компьютерном классе, где преподаватель устанавливает электронный вариант методического пособия по практическому курсу. Каждое практическое задание сопровождается в этом пособии примером выполнения.

Изучив методику выполнения примера, студент рассчитывает свой вариант. Выполнение расчетной работы осуществляется в средах Excel или Mathcad под руководством преподавателя и его помощью в затруднительных для студента вопросах. После выполнения работы оформляется отчет установленного образца, который должен быть иллюстрирован соответствующими таблицами и графиками и оснащен достаточными комментариями. При защите отчета студент отвечает на вопросы, поставленные преподавателем.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа выполняется вне аудиторных занятий. Разновидностями самостоятельной работы может быть реферат или доклад, либо то и другое вместе. Темы определяются исходя из программных блоков преподавателем.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 учебный год 4 | Устный опрос

Описание процедуры.

Опрос с использованием интерактивных методов: работа в команде и дискуссия. Пример описания процедуры оценивания

Ответ устный ОУ-1)

1. Осветить основные свойства жидкостей и газов, их различие.

а) затруднения при перечислении основных свойств жидкостей и газов- ответ оценивается на «неудовлетворительно»;

б) правильное перечисление основных свойств жидкостей и газов, указываются их различия при нагревании или помещении в сосуды – ответ «удовлетворительно»;

в) ответ по пункту б) с привлечением цифровых значений характеристик при различных температурах – оценка «хорошо»

г) ответ по пункту г) ответ по пункту в) с привлечением законов Менделеева-Клайперона и Бойля –Мариотта - оценка «отлично».

Критерии оценивания.

- активное участие в командной работе и дискуссии при обсуждении темы 10 баллов,
- не активное участие в командной работе и дискуссии при обсуждении темы 5 баллов,
- неучастие в командной работе и дискуссии при обсуждении темы 0 баллов.

6.1.2 учебный год 5 | Устный опрос

Описание процедуры.

Опрос с использованием интерактивных методов: работа в команде и дискуссия. Пример описания процедуры оценивания

Ответ устный ОУ-1)

1. Осветить основные режимы течения ньютоновских сред .

а) затруднения при перечислении основных режимов течения ньютоновских сред- ответ оценивается на «неудовлетворительно»;

б) правильное перечисление основных режимов – ответ «удовлетворительно»;

в) ответ по пункту б) с привлечением классификации значений для различных значений числа Рейнольдса – оценка «хорошо»

г) ответ по пункту г) ответ по пункту в) со схематичным изображением соответствующих графиков - оценка «отлично».

Критерии оценивания.

- активное участие в командной работе и дискуссии при обсуждении темы 10 баллов,
- не активное участие в командной работе и дискуссии при обсуждении темы 5 баллов,
- неучастие в командной работе и дискуссии при обсуждении темы 0 баллов.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПК-4.7	Знает основные реологические законы промывочных жидкостей, пластов и насыщающих их флюидов; основные модели сред, применяемых при бурении и режимы течения вязкопластичных и степенных жидкостей в трубах и кольцевом пространстве; умеет оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации. Владеет: навыками интерпретации полученных результатов расчётов гидродинамических задач при бурении нефтяных и газовых скважин с использованием промывочных	Бальная оценка (60%+зачет :40%)

	неньютоновских жидкостей и с учётом физических свойств пласта	
--	---	--

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Учебный год 5, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

После защиты всех практических работ студент допускается к зачету. При ответе на вопросы

учитывается правильная воспроизводимость терминов, четкость изложения теории.

Типовые вопросы к зачету:

Перечислить основные свойства жидкостей и газов.

Дать определение понятию плотности.

Описать способы измерения плотности.

Понятие сжимаемости.

Понятие поверхностное натяжение.

Описать способы измерения поверхностного натяжения.

Раскрыть смысл понятия межфазного натяжения.

Как производят измерения межфазного натяжения?

Понятие смачиваемой поверхности.

Смачиваемость и капиллярное давление в пласте.

Понятие напряжений в сплошных средах.

Что такое идеальная жидкость (идеальный газ)?

Что понимают под ньютоновской средой?

Признаки неньютоновских сред.

Признаки и особенности вязкопластичных сред (Тела Шведова).

Признаки и особенности бингамовской жидкости.

Особенность степенной модели Освальда де Ваале.

Модифицированный степенной закон Гершеля-Балкли.

Универсальность закона Гершеля-Балкли.

Понятие напряжений в сплошных средах.

Понятие вязкости

Что изучает реология как наука

Понятие идеальной жидкости (идеальный газ)

Характеристики и особенности ньютоновских сред

Признаки неньютоновских сред

Вязкопластичные среды (Тела Шведова)

Бингамовские жидкости

Степенная модель Освальда де Ваале

Понятие напряжений в сплошных средах

Понятие вязкости

Реология как наука

Идеальная жидкость (идеальный газ)

Ньютоновская среда

Признаки неньютоновских сред

Вязкопластичные среды (Тела Шведова)

Бингамовские жидкости

Какие существуют фундаментальные реологические модели?

Какие существуют реологические модели буровых и тампонажных растворов?
 Как классифицируют буровые растворы?
 Что такое критическая скорость?
 Что понимают под седиментационной устойчивостью?
 Как определить критическую скорость шара в среде?
 Что можно определить по диаграмме Лященко?
 Для чего используется параметр Архимеда?
 Как форма частиц влияет на критическую скорость?
 Как влияет стесненность движения частиц на критическую скорость?
 Как рассчитывается скорость восходящего потока бурового раствора?
 Как распределяется скорость и касательные напряжения при циркуляции бурового раствора в бурильных трубах и кольцевом пространстве?
 Как записывается преодоления гидравлических сопротивлений при циркуляции бурового раствора в бурильных трубах?
 Как записывается преодоления гидравлических сопротивлений при циркуляции бурового раствора в кольцевом пространстве?
 Как записывается преодоления гидравлических сопротивлений при циркуляции бурового раствора в соединениях бурильных труб?
 Как записывается преодоления гидравлических сопротивлений при циркуляции бурового раствора в наземной обвязке и забойном двигателе?
 Как записывается гидравлических сопротивлений при циркуляции бурового раствора в насадках долота?
 Как выбрать плотность промывочной жидкости и в каких единицах она измеряется?
 Какие реологические параметры промывочной жидкости существуют и как их выбрать?
 От каких параметров зависит скорость оседания частиц шлама в восходящем потоке жидкости?
 Как определить расход промывочной жидкости, необходимый для очистки забоя и подъёма шлама в кольцевом пространстве скважины?
 От каких параметров зависит выбор расчётной зависимости для определения линейных потерь давления?
 Где определяются линейные потери давления и как рассчитать потери давления на местных сопротивлениях?
 Как выбрать насос и что включает в себя режим его работы?

Пример задания:

Примеры практических заданий.

1. Определить плотность промывочной жидкости, если известны пластовое давление РПЛ = 23 МПа и глубина залегания пласта $H = 2100$ м.
2. Найти давление на устье скважины при проявлении, если пластовое давление $R_{пл} = 30$ Мпа, глубина залегания проявляющего пласта $H = 2000$ м, промывочная жидкость вода.
3. Определите давление в стволе скважины, которое возникнет при ликвидации проявления (фонтана), если ствол скважины будет заполнен пластовым флюидом, а устье скважины закрыто.
4. Определите минимальное значение СНС раствора, при котором не будет выпадения утяжелителя плотностью ρ_p с размером частиц d_z . Плотность жидкости, в которой находится утяжелитель, $\rho_{ж}$.
5. Найти скорость оседания частицы шлама размером d_z в ламинарном и турбулентном восходящих потоках вязкопластичной жидкости, если плотность породы ρ_p , плотность промывочной жидкости $\rho_{ж}$, ДНС τ_0 , СНС θ , пластическая вязкость промывочной жидкости η .
6. Определить будет ли оседать в потоке вязкопластичной жидкости шарообразная

частица диаметром d , плотность породы ρ_p , плотность промывочной жидкости $\rho_{ж}$, СНС θ . Будет ли осаждаться частица плоской формы?

7. Определить будет ли выноситься на дневную поверхность одиночная частица шарообразной формы в потоке ньютоновской жидкости (затрубное пространство). Расход промывочной жидкости Q , эквивалентный диаметр частицы $d_{э}$, плотность породы ρ_p , плотность промывочной жидкости $\rho_{ж}$, динамическая вязкость промывочной жидкости μ , диаметр скважины D_c , наружный диаметр трубы d_n .

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Задача решена верно. Основные вопросы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения	Задача не решена. Вопросы не раскрыты. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.

7 Основная учебная литература

1. Прандтль Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль, 2000. - 573.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Леонов Евгений Григорьевич. Гидроаэромеханика в бурении : учеб. для вузов по спец. "Бурение нефт. и газовых скважин" / Евгений Григорьевич Леонов, Валерий Иванович Исаев, 1987. - 303.

2. Гукасов Николай Аванесович. Гидравлика газожидкостных смесей в бурении и добыче нефти : справ. пособие / Николай Аванесович Гукасов, 1988. - 236.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows Seven Professional [1x500] RUS (проведен апгрейд с Microsoft Windows Seven Starter [1x500])_поставка 2010

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. компьютерный класс