

**Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины (модуля)**

Б1.О.35 Прикладная гидродинамика
наименование дисциплины (модуля)

Направление подготовки /специальность 21.05.03 «Технология геологической
разведки»

код и наименование направления подготовки /специальности

Направленность (профиль)/специализация «Геофизические методы поиска и
разведки полезных ископаемых»

наименование направленности (профиля) /специализации

Мурманск
2023

Составитель – **Иваней А.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры ТХО ФГАОУ ВО «МГТУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модулю) **«Прикладная гидродинамика»** рассмотрены и одобрены на заседании кафедры Технологического и холодильного оборудования «____»_____202__г., протокол № _____.

Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины (модуля) - обеспечить обучающемуся оптимальную организацию процесса изучения дисциплины (модуля), а также выполнения различных форм самостоятельной работы.

Освоение дисциплины (модуля) осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине (модулю) являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин (модулей).

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине (модулю) сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине (модулю): учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МГТУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МГТУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины (модуля).

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине (модулю), а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины (модуля)¹:

Объем дисциплины 4 з. е.

- 1. Результаты обучения по дисциплине (модулю)**, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций, установленными образовательной программой

Компетенции	Индикаторы достижения компетенций ²	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
ОПК -3 Способен применять основные положения фундаментальных естественных наук и научных теорий при проведении научно-	ИД-3.1 Знает фундаментальные законы математики и естественных наук, использует их при решении	Знать: фундаментальные законы математики и естественных наук; Уметь: воспринимать и анализировать информацию, необходимую для выполнения расчётов при проведении научно-исследовательских работ по

¹ Выбрать вариант Таблицы 1 в зависимости от формы промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

² Указываются индикаторы достижения компетенций, закрепленные за данной дисциплиной (модулем)

исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы	профессиональных задач, в том числе при ведении научно-исследовательской деятельности	изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы; Владеть: навыками принятия решений о методической обработке параметров и режимов работы систем при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы;
	ИД-3.2 Использует методы математики и естественных наук при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы	Знать: фундаментальные законы математики и естественных наук; Уметь: воспринимать и анализировать информацию, необходимую для выполнения расчётов при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы; Владеть: навыками принятия решений о методической обработке параметров и режимов работы систем при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы;
	ИД-3.3 Применяет навыки комплексного анализа научно-технической информации в области изучения и воспроизводства минерально-сырьевой базы, а также навыки выбора методов математики, естественных наук применительно к конкретному направлению профессиональной деятельности, в том числе при проведении научных исследований	Знать: фундаментальные законы математики и естественных наук; Уметь: воспринимать и анализировать информацию, необходимую для выполнения расчётов применительно к конкретному направлению профессиональной деятельности, в том числе при проведении научных исследований; Владеть: навыками принятия решений о методической обработке параметров и режимов работы систем применительно к конкретному направлению профессиональной деятельности, в том числе при проведении научных исследований;

2. Содержание дисциплины (модуля)

Модуль 1

Тема 1. Введение. Основы механики сплошной среды. Основные понятия механики сплошной среды. Гипотеза сплошности. Методы описания движения сплошной среды. Локальная и субстанциональная производная. Скалярные и векторные поля. Силы и напряжения в сплошной среде. Тензор напряжений. Законы сохранения. Интегральные и дифференциальные уравнения сплошной среды. Интегральные характеристики сплошной среды и законы сохранения. Дифференцирование по времени интеграла, взятого по подвижному объему. Уравнение неразрывности (закон сохранения массы). Уравнения движения в напряжениях (закон сохранения количества движения). Закон сохранения момента количества движения. Закон парности касательных напряжений. Закон сохранения энергии. Теорема об изменении кинетической энергии. Уравнение притока тепла. Система уравнений движения сплошной среды.

Тема 2. Скорость деформации сплошной среды. Скорость деформации малой частицы. Теорема Гельмгольца. Тензор скоростей деформаций. Физический смысл компонент тензора скоростей деформаций. Тензорная поверхность симметричного тензора второго ранга. Циркуляция скорости. Потенциальное движение жидкости. Жидкости. Математическая модель идеальной жидкости. Математическая модель идеальной несжимаемой жидкости. Вязкая жидкость. Тензор напряжений в вязкой жидкости. Уравнения движения вязкой жидкости. Математическая модель вязкой несжимаемой жидкости. Работа внутренних сил. Уравнение притока тепла.

Основы теории размерностей и подобия. Системы единиц измерения. Размерность. Величины с независимыми размерностями. П-теорема. Подобие физических явлений, моделирование. Параметры, определяющие класс явлений. Примеры на применение П-теоремы. Приведение уравнений к безразмерному виду.

Тема 3. Гидромеханика. Гидростатика. Уравнения равновесия жидкости и газа. Равновесие жидкости в поле силы тяжести. Относительный покой жидкости. Статическое давление жидкости на твердые поверхности. Элементы теории плавания. Течение идеальной жидкости. Уравнения Эйлера в форме Громеко–Ламба. Интеграл Бернулли. Частные виды интеграла Бернулли. Простейшие примеры приложения интеграла Бернулли. Интеграл Коши–Лагранжа. Теорема Томсона. Уравнение Гельмгольца. Потенциальное течение несжимаемой жидкости. Обтекание сферы. Некоторые примеры применения закона сохранения количества движения. Плоскопараллельное течение идеальной несжимаемой жидкости. Комплексный потенциал течения. Примеры плоскопараллельных потенциальных течений. Конформное отображение потоков. Преобразование Жуковского. Обтекание профиля произвольной формы. Силы, действующие на профиль при стационарном обтекании. Течение вязкой несжимаемой жидкости по призматическим трубам. Уравнения прямолинейного движения вязкой несжимаемой жидкости по призматическим трубам. Прямолинейное течение между двумя параллельными стенками. Прямолинейное течение в осесимметричных трубах. Уравнение установившегося кругового движения вязкой несжимаемой жидкости. Течение между двумя вращающимися цилиндрами.

Тема 4. Турбулентное течение жидкости в трубах. Опыты О. Рейнольдса. Осреднение характеристик турбулентного течения. Уравнение Рейнольдса. Полуэмпирическая теория турбулентности Л. Прандтля. Применение соображений теории размерностей к построению полуэмпирических теорий турбулентности. Логарифмический закон распределения скоростей. Экспериментальные исследования коэффициента гидравлического сопротивления. Гидравлический расчет трубопроводов. Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости. Виды потерь напора. Расчет простых трубопроводов. Расчет сложных трубопроводов. Трубопроводы, работающие под вакуумом. Истечение жидкости из отверстий и насадков. Истечение из малого отверстия. Истечение через насадки. Истечение жидкости при переменном уровне. Неустановившееся движение вязкой жидкости в трубах. Уравнения неустановившегося движения жидкости по трубам. Уравнения неустановившегося движения слабосжимаемой жидкости по трубам.

Уравнения неустановившегося движения газа по трубам с малыми дозвуковыми скоростями. Интегрирование уравнений неустановившегося движения жидкости и газа методом характеристик. Интегрирование линеаризованных уравнений неустановившегося движения с помощью преобразования Лапласа. Примеры расчета нестационарных процессов в трубах. Гидравлический удар. Влияние нестационарности течения на силу трения.

Тема 5. Ламинарный пограничный слой. Уравнения пограничного слоя. Задача Блазиуса. Отрыв пограничного слоя. Одномерные течения газа. Скорость звука. Закон сохранения энергии. Число Маха. Коэффициент скорости. Связь между площадью живого сечения трубки тока и скоростью течения. Истечение газа через сходящийся насадок. Сопло Лаваля. Газодинамические функции. Ударные волны. Расчет газового эжектора. Установившееся движение газа в трубах. Формула Шухова. Ламинарное течение неньютоновских жидкостей. Простой сдвиг. Классификация неньютоновских жидкостей. Вискозиметрия. Течение жидкости по бесконечно длинной круглой трубе. Вращательное течение жидкости в кольцевом зазоре. Интегральный метод в вискозиметрии. Коэффициент гидравлического сопротивления. Дополнительные замечания о расчете течения неньютоновских жидкостей по трубам.

Тема 6. Двухфазное течение в трубах. Уравнения законов сохранения. Уравнения движения двухфазной смеси в трубах. Преобразование уравнений движения двухфазной смеси в трубах. Режимы течения. Свободный дебит газоконденсатной скважины. Нефтегазовая подземная гидромеханика. Основные определения и понятия фильтрации жидкостей и газов. Опыт и закон Дарси. Особенности движения флюидов в природных пластах. Исходные модельные представления подземной гидромеханики жидкости и газа. Фильтрационно-емкостные свойства пористых сред. Коэффициенты пористости и просветности. Удельная поверхность. Опыт и закон Дарси. Проницаемость. Понятие «истинной» средней скорости и скорости фильтрации. Границы применимости закона Дарси. Анализ и интерпретация экспериментальных данных. Нелинейные законы фильтрации. Структурные модели пористых сред. Закон Дарси для анизотропных сред. Математические модели однофазной фильтрации. Вводные замечания. Понятие о математической модели физического процесса. Закон сохранения массы в пористой среде. Дифференциальное уравнение движения флюида. Замыкающие уравнения. Математические модели изотермической фильтрации. Модель фильтрации несжимаемой вязкой жидкости по закону Дарси в недеформируемом пласте. Модель фильтрации газа по закону Дарси. Функция Л.С. Лейбензона. Модели однофазной фильтрации в недеформируемом пласте при нелинейных законах фильтрации. Зависимость параметров флюидов и пористой среды от давления.

Тема 7. Одномерная установившаяся фильтрация несжимаемой жидкости и газа в однородной пористой среде. Схемы одномерных фильтрационных потоков. Прямолинейно-параллельная фильтрация несжимаемой жидкости. Плоскорадиальная фильтрация несжимаемой жидкости. Радиально-сферическая фильтрация несжимаемой жидкости. Аналогия между фильтрацией несжимаемой жидкости и газа. Фильтрационное одномерное течение совершенного газа. Фильтрационное плоскорадиальное течение реального газа по закону Дарси. Плоскорадиальный фильтрационный поток несжимаемой жидкости и газа по двухчленному закону фильтрации. Плоскорадиальный фильтрационный поток несжимаемой жидкости и газа по степенному закону фильтрации.

Тема 8. Одномерные фильтрационные потоки по закону Дарси несжимаемой жидкости и газа в неоднородных пластах. Основные типы неоднородности пластов. Прямолинейно-параллельный поток в слоисто-неоднородном пласте. Прямолинейно-параллельный поток в зонально-неоднородном пласте. О расчете пластов с непрерывной неоднородностью. Плоскорадиальный поток в слоисто-неоднородном пласте. Плоскорадиальный поток в зонально-неоднородном пласте.

Тема 9. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Основные определения и понятия. Потенциал точечного источника и стока на изотропной плоскости. Метод суперпозиции. Приток жидкости к группе скважин в пласте с удаленным контуром питания. Приток жидкости к скважине в пласте с прямолинейным контуром питания. Приток жидкости к скважине в пласте вблизи прямолинейной непроницаемой границы. Приток жидкости к скважине, эксцентрично расположенной в круговом пласте. Об использовании метода суперпозиции при фильтрации газа.

Тема 10. Неустановившееся движение упругой жидкости в упругом пласте. Упругий режим пласта и его характерные особенности. Подсчет упругого запаса жидкости в пласте. Математическая модель неустановившейся фильтрации упругой жидкости в упругой пористой среде. Вывод дифференциального уравнения фильтрации упругой жидкости в упругой пористой среде по закону Дарси. Одномерные фильтрационные потоки упругой жидкости. Точные решения уравнения пьезопроводности. Основная формула теории упругого режима. Приближенные методы решения задач теории упругого режима. Метод последовательной смены стационарных состояний. Метод А.М. Пирвердяна. Метод интегральных соотношений. Метод «усреднения».

3. Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины (модуля)

- мультимедийные презентационные материалы по дисциплине (модулю) представлены в электронном курсе в ЭИОС МГТУ;
- методические указания к выполнению лабораторных/практических/контрольных работ (**выбрать**) представлены в электронном курсе в ЭИОС МГТУ;
- методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) представлены на официальном сайте МГТУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным».

4. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Является отдельным компонентом образовательной программы, разработан в форме отдельного документа, представлен на официальном сайте МГТУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным». ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины (модуля);
- задания текущего контроля;
- задания промежуточной аттестации;
- задания внутренней оценки качества образования.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы (печатные издания, электронные учебные издания и (или) ресурсы электронно-библиотечных систем)

Основная литература:

- 1. Басниев, К. С.** Нефтегазовая гидромеханика : учеб. пособие для вузов / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Г. Д. Розенберг. - Москва ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2003. - 480 с. : ил. - (Современные нефтегазовые технологии). - ISBN 5-93972-258-X : 305-01.
- 2. Басниев, К. С.** Подземная гидромеханика : учебник для вузов / К. С. Басниев, И. Н. Кочина, В. М. Максимов. - Москва : Недра, 1993. - 416 с. : ил. - ISBN 5-247-02323-4 : 25-00.

Дополнительная литература:

- 3. Евдокимова, В. А.** Сборник задач по подземной гидравлике : учеб. пособие для вузов / В. А. Евдокимова, И. Н. Кочина. - Изд. 2-е, стер. ; Перепеч. с изд. 1979 г. - Москва : Альянс, 2007. - 166, [2] с. : ил. - ISBN 5-903034-13-0 : 375-20.

4. Пыхачев, Г. Б. Подземная гидравлика : учеб. пособие для вузов / Г. Б. Пыхачев, Р. Г. Исаев. - Москва : Недра, 1973. - 360 с. - 25-00.

6. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1) *Государственная система правовой информации - официальный интернет-портал правовой информации- URL: <http://pravo.gov.ru>*

2) *Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» - URL: <http://window.edu.ru>*

3) *Справочно-правовая система. Консультант Плюс - URL: <http://www.consultant.ru/>*

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1) *Офисный пакет Microsoft Office 2007*

2) *Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader*

8. Обеспечение освоения дисциплины лиц с инвалидностью и ОВЗ

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) представлено в приложении к ОПОП «Материально-технические условия реализации образовательной программы» и включает:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой бакалавриата/специалитета/магистратуры (4 «П», 5 «П», 9 «П»), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде МГТУ;

Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

10. Распределение трудоемкости по видам учебной деятельности

Таблица 1³ - Распределение трудоемкости

Вид учебной 4	Распределение трудоемкости дисциплины (модуля) по формам обучения										
	Очная				Очно-заочная				Заочная		
	Семестр			Всего часов	Семестр			Всего часов	Семестр/Курс		Всего часов
		5									
Лекции		20		20							
Практические занятия		-		-							
Лабораторные работы		30		30							
Самостоятельная работа		94		94							
Подготовка к промежуточной аттестации ⁵		-		-							
Всего часов по дисциплине		144		144							
/ из них в форме практической подготовки ⁶											

Формы промежуточной аттестации и текущего контроля

Экзамен		-		-							
Зачет/зачет оценкой ^с		1/-		1/-							
Курсовая работа (проект)		-		-							
Количество расчетно-графических работ		-		-							
Количество контрольных работ		-		-							

³ Разработчикам РП можно убирать столбцы с формами обучения, если данная форма не реализуется в МГТУ,

⁴ При отсутствии вида учебной деятельности, формы промежуточной аттестации и текущего контроля соответствующая строка может быть удалена

⁵ Для экзамена очной и очно-заочной формы обучения - 36 часов, для экзамена заочной формы обучения - 9 часов, для зачета заочной формы обучения - 4 часа.

⁶ Организуется при реализации учебных дисциплин (модулей) путем проведения практических занятий, лабораторных работ и иных аналогичных видов учебной деятельности, предусматривающих участие обучающихся в выполнении **отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.**

Практическая подготовка может включать в себя отдельные занятия лекционного типа, которые предусматривают передачу учебной информации обучающимся, необходимой для последующего выполнения работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Количество рефератов		-		-								
Количество эссе		-		-								

Перечень практических занятий по формам обучения⁷

№ п/п	Темы практических занятий
1	2
	Очная форма
1	Не предусмотрены

Перечень лабораторных занятий по формам обучения⁸

№ п/п	Темы лабораторных занятий
1	2
	Очная форма
1	Грунтовые воды и виды их движения.
2	Определение гидростатического давления
3	Определение плотности жидкостей
4	Построение напорной и пьезометрической линий для трубопровода сопротивления
5	Определение режима движения жидкости
6	Определение зависимости между гидравлическим уклоном и средней скоростью при турбулентном движении воды
7	Исследование процесса истечения через малое круглое отверстие и внешний цилиндрический насадок
8	Расчет гидравлики бурового насоса

⁷ Если практические занятия не предусмотрены учебным планом, таблица может быть удалена

⁸ Если практические занятия не предусмотрены учебным планом, таблица может быть удалена