

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой, д.т.н.,  
Профессор В.В. Кадет  
"12" февраля 2018 г.

## **КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

Занятий по курсу  
дисциплины

### **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГИДРОМЕХАНИКА**

**Направление подготовки дипломированного специалиста**

**21.05.05 Физические процессы горного  
или нефтегазового производства**

(17 часа - лекции, 34 часов практические занятия)

10 семестр

**Москва, 2018**

### **1.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Введение в дисциплину. Этапы развития континуальной и дискретной математики. Необходимость появления и развития вычислительной физики и гидромеханики.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

### **2. Неделя**

**Лекция (1 ч.)** Понятие разностной сетки. Погрешность из-за использования цилиндрической системы координат. Иерархия моделей рассмотрения физических задач, в том числе задач нефтяной и подземной гидромеханики. Физическая модель. Математическая модель. Вычислительная модель. Необходимость использования обратных связей для корректировки моделей.

Тематика практических занятий (2 ч.) соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

### **3.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Поколения численных методов и поколения вычислительных систем. Понятие адекватности численных методов вычислительным системам, на которых они реализуются. Поколение 1. Численные методы решения алгебраических задач. Приближенное нахождение площади под интегральной кривой. Верхняя и нижняя суммы Дарбу, метод трапеций. Адекватные вычислительные средства.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

### **4.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Поколение 2. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Методы Эйлера, Эйлера с пересчетом, Адамса, Рунге-Кутта и др. Адекватные вычислительные средства.

Поколение 3. Численные методы решения уравнений математической физики в частных случаях эллиптических, гиперболических и параболических уравнений. Метод прямых. Метод интегральных соотношений (схема 1, схема 2, схема 3 метода интегральных соотношений). Метод характеристик. Метод дискретных вихрей. Адекватные вычислительные средства.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

### **5.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Поколение 4. Методы сквозного счета. Их возможности и недостатки. Два пути обеспечения численного сквозного счета. Искусственная вязкость. Вязкостное давление Ландшофа. Внутренняя диссипация разностных схем.

Метод Лакса. Метод Русанова. Метод распада разрыва (Годунова). Метод Лакса-Вендрофа. Метод Мак-Кормака. Необходимость наличия априорной информации о струк-

туре решения при использовании методов сквозного счета. Примеры качественно неправильных решений задач гидродинамики методами сквозного счета. Адекватные вычислительные средства.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

#### **6.Неделя.**

##### **Лекция (1 ч.)**

Поколение 5. Возрастающие требования практики. Численный эксперимент. Метод крупных частиц (общая идеология). Расщепление по физическим процессам. Возможность получения численного решения, адекватного реальной физике процесса без априорной информации о структуре решения. Метод крупных частиц и турбулентная модель Прандтля. Множественность возможностей описания метода крупных частиц (исходя из дифференциальных или интегральных уравнений, эйлера разностная схема, лагранжева разностная схема, расчет в локально-лагранжевых координатах и др.). Адекватные вычислительные средства.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

#### **7.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Метод крупных частиц для решения пространственно-трехмерных нестационарных задач течения сжимаемой сплошной среды. Три этапа вычислений: эйлеров, лагранжев и заключительный. Переход к несжимаемости среды. Учет многофазности, электрон-ионного обмена, излучения и других физических явлений.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

#### **8.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Метод крупных частиц для задач фильтрации. Использование модели Дарси и модели С.А. Христиановича. Внутренние свойства разностных схем. Примеры расчета. Иерархическая система разностных граничных условий для расчета проницаемых тел. Метод крупных частиц 1-го, 2-го и более высоких порядков точности. Выполнения транспортного свойства разностных схем. Преимущества метода крупных частиц.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

#### **9.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Построение N-мерного пространства разностных схем. Оптимизация разностных схем. Современное понятие метода крупных частиц. Классы критериев оптимизации (физические, математические, вычислительные, архитектурные и др.). Оптимальность метода крупных частиц.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

**10.Неделя.**

*Лекция (1 ч.)* Построение обобщенного многопараметрического класса разностных схем метода крупных частиц. Два способа введения параметров. Групповые свойства разностных схем. Инвариантность решений относительно операции поворота осей.

*Тематика практических занятий (2 ч.)* соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

**11.Неделя.**

*Лекция (1 ч.)* Понятие разностного шаблона. Множественность шаблонов. Способы разностной постановки краевых условий. Большое число шаблонов при традиционном способе постановки граничных условий. Метод фиктивных областей. Постановка краевых условий на внешних границах расчетной области. Экстраполяция нулевого, первого, второго и др. порядков. Постановка граничных условий на плоскости или оси симметрии.

*Тематика практических занятий (2 ч.)* соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

**12.Неделя.**

*Лекция (1 ч.)* Постановка краевых условий на внутренних границах расчетной области. Адаптивные сетки и их отрицательные свойства. Дробные ячейки. Типы дробных ячеек. Разностные формулы для дробных ячеек. Упрощенный алгоритм расчета. Постановка граничных условий в методе дробных ячеек. Условия непротекания и условия прилипания. Предельный случай целых ячеек.

*Тематика практических занятий (2 ч.)* соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

**13.Неделя.**

*Лекция (1 ч.)* Исследование нелинейных внутренних свойств разностных схем. Непрерывное и дискретное пространства. Качественное отличие свойств дискретных и непрерывных функций. Понятия нормы в непрерывном и дискретном пространствах. Переход от дискретного к непрерывному пространству путем сплайн-интерполяций.

Разложение разностного оператора в ряд Тейлора. Дифференциальное представление разностной схемы. Понятие дифференциального приближения разностной схемы. Первое, второе и более высокие дифференциальные приближения.

*Тематика практических занятий (2 ч.)* соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин

**14.Неделя.**

*Лекция (1 ч.)* Гиперболическая форма первого дифференциального приближения. Параболическая форма первого дифференциального приближения. Анализ устойчивости разностной схемы на примере линейного уравнения, описывающего процессы диффузии и переноса. Сравнение с результатами Фурье-анализа. Решение уравнений Навье-Стокса. Критерии связи точности численного решения уравнений Навье-Стокса и размера используемой разностной сетки. Предельные числа Рейнольдса.

*Тематика практических занятий (2 ч.)* соответствуют темам лекций и представ-

ляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин.

### **15.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Отображение проблем вычислительной математики на архитектуру вычислительных систем. Зависимость алгоритмов от архитектуры вычислительных систем.

Разностные граничные условия. Дифференциальные приближения разностных граничных условий. Условия устойчивости нелинейных разностных схем на границах расчетной области.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин.

### **16.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Дифференциальные приближения разностных схем в окрестности границ расчетной области. Приграничный слой. Толщина приграничного слоя. Двойная асимптотика приграничного слоя. Конечность сеточного расстояния влияния краевых условий. Многопараметрическая постановка разностных краевых условий.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин.

### **17.Неделя.**

**Лекция (1 ч.)** Исследование дифференциальных приближений многопараметрического класса разностных схем на границах расчетной области и в приграничном слое. Оптимизация. Метод крупных частиц – результат оптимизации.

**Тематика практических занятий (2 ч.)** соответствуют темам лекций и представляют из себя конкретизацию теоретических разделов, общих уравнений и модельных представлений для случаев реальных скважин.

#### ***а) основная литература:***

##### ***а) основная литература:***

1. Н.В. Копчёнова, И.А. Марон. Вычислительная математика в примерах и задачах. / Изд-е 3-е. – Спб.: изд-во «Лань», 2008. – 368 с.
2. Ващенко Г.В. Вычислительная математика. Основы алгебраической и тригонометрической интерполяции. Учебное пособие. Красноярск: СибГТУ, 2008, 64 с.  
В. Е. Селезнев, С. Н. Прялов. Численное моделирование течений в магистральных системах. Издательство «Едиториал УРСС», 2014.-800 с.
3. Селезнев В. Е., Алешин В. В., Прялов С. Н. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов. Издательство «Директ-Медиа» . 2014. 486 с.
4. Ашихмин В. И. др., Введение в математическое моделирование. Издательство «Логос». 2015. -440 с.

##### ***б) дополнительная литература:***

1. Ю.М. Давыдов. Аэродинамика, гидроупругость и устойчивость полёта парашютных систем./ Изд-е 4-ое. – М.: НАПН, 2005. –364 с.
2. Т.С. Соболева, А. В. Чечкин. Дискретная математика. - М.: Академия, 2006. - 256 с.

3. А.П. Костомаров, А.П. Фаворский. Вводные лекции по численным методам. – М.: изд-во «Университетская книга, Логос», 2004. – 183 с.
4. Олдер Б., Фернбах С., Ротенберг Н.М. Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: изд-во «Озон», 2012– 384 с.
5. Власова Б.А., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Приближенные методы математической физики: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001
6. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики, 2000
7. Численное моделирование реагирующих потоков Автор: Э. Оран, Дж. Борис Издательство: МИР: 1990- 663 с.
8. Иевлев В.М. Численное моделирование турбулентных течений. М.: Наука, 1990. -216 с.
9. Башкин В.А. Ю Егоров И.В. Численное моделирование динамики вязкого совершенного газа. Издательство ФИЗМАТЛИТ. 2013, -372 с.
10. Алиев А.В. и др. Математическое моделирование в технике. Институт компьютерных исследований. 2012, -476 с.
11. Ахметов В.Н., Шкадов В.Я. Численное моделирование вязких вихревых течений для технических приложений. Издательство Ассоциации строительных вузов 2009.- 176 с.
12. Селезнев В.Е. и др. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем. Издательство КомКнига. 2005.- 328 с.
13. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. Учебное пособие. Издательство Лань. 2015, 512с.

***в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы***

Программные пакеты MatLab, Mathematica, Excel.

Автор:  
д.ф.-м.н., профессор

Б.П.Рыбакин