

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Геологическое моделирование на основе геостатистики
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической и экспериментальной физики геосистем
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: Е.В. Ковалевский, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики геосистем 04.06.2020

Аннотация

Курс предназначен для формирования базовых знаний по геологическому моделированию природных резервуаров нефти и газа, а также навыков и способностей применять полученные знания на практике. Большое внимание уделяется описанию применяемых при построении геологических моделей математических методов. В полном объеме излагается материал классической двухточечной геостатистики. Дается обзор неклассических геостатистических методов. В практической части курса студенты осваивают работу с известным инструментом геологического моделирования – программной системой DV-Geo.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по геологическому моделированию природных резервуаров нефти и газа, а также навыков и способностей применять полученные знания на практике.

Задачи дисциплины

- объяснить студентам назначение геологических моделей, порядок их построения и практического использования, применение математических методов при построении геологических моделей;
- изучение материала по классической двухточечной геостатистики;
- изучение обзора неклассических геостатистических методов;
- освоение практической работы с известным инструментом геологического моделирования – программной системой DV-Geo.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные принципы (законы) формирования геологической среды; условия образования месторождений нефти и газа; поисковые признаки месторождений нефти и газа; задачи, решаемые посредством геологического моделирования на этапах поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа;
- состав исходных данных для геологического моделирования, требования к исходным данным;
- математические методы, применяемые в ходе геологического моделирования;
- порядок (технология) геологического моделирования;
- программные средства для геологического моделирования (систему DV-Geo на уровне начинающего пользователя);
- требования к геологическим моделям, критерии оценки качества геологических моделей.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения научных и практических задач как непосредственно в сфере геологического моделирования, так и в прилегающих областях;
- использовать современные программные системы геологического моделирования;
- участвовать в разработке названных программных систем;
- оформлять и презентовать результаты своей работы в виде отчетов, статей в научно-технических изданиях, докладов на конференциях, включая международные издания и конференции.

владеть:

- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач в сфере геологии и геофизики;
- навыками применения математических методов и математического анализа (в том числе геостатистических методов и геостатистического анализа);
- навыками освоения больших программных систем.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение.			2	2
2	Ковариация и вариограмма.			2	4
3	Определение кригинга.			2	3
4	Интеграция сейсмических и скважинных данных.			2	3
5	Обусловленное стохастическое моделирование.			2	2
6	Стохастическое моделирование категориальных параметров.			1	2
7	Понятие о геостатистической сейсмической инверсии.			2	2
8	Адаптация модели к истории разработки.			2	3
9	Знакомство с системой геологического моделирования DV-Geo.		4		2
10	Методика построения детерминированной модели.		4		2
11	Геостатистическое моделирование в DV-Geo.		4		3
12	Выполнение примера. Расчет объема нефтенасыщенных пород.		3		2

Итого часов		15	15	30
Подготовка к экзамену	30 час.			
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Введение.

Основные закономерности формирования геологической среды. Обстановки осадконакопления.

Месторождения нефти и газа. Условия образования залежей нефти и газа. Поисковые признаки месторождений.

Этапы исследований геологической среды в связи с поиском, разведкой и разработкой месторождений нефти и газа. Иерархия геологических моделей – региональная, поисковая, разведочная и технологическая модель. Используемые виды данных и решаемые задачи.

Что мы называем геостатистикой? Для решения каких задач геологического моделирования используется геостатистика?

Как статистика появляется в геологии? Представление параметра (пористости на площади) как случайной величины. Среднее значение, дисперсия. Эффект основания. Ковариация (корреляция) двух случайных величин.

2. Ковариация и вариограмма.

Стационарная модель случайной переменной. Исходное положение геостатистики – разделение переменной на детерминированную часть и случайный стационарный остаток.

Характеристики случайной переменной – среднее, дисперсия, ковариация.

Вариограмма. Расчет вариограммы.

Стационарные модели вариограмм.

Анизотропные вариограммы. Вариограммы в пространстве 3D.

Образы случайных переменных. Суть геостатистики

3. Определение кригинга.

Определение кригинга. Простой, обыкновенный и универсальный кригинг.

Вывод системы уравнений простого кригинга.

Вывод системы уравнений универсального кригинга. Система уравнений обыкновенного кригинга.

Выбор оптимальной разновидности кригинга. Скользящая окрестность.

Стандартное отклонение кригинга.

Перекрестная проверка.

Кригинг как рабочий процесс. Условия применимости (неприменимости) кригинга.

На чем основано утверждение, что кригинг является оптимальной интерполяцией.

Пример с двумя программами рисовки изолиний.

Кригинг ошибок. Факторный кригинг.

4. Интеграция сейсмических и скважинных данных.

Кригинг с внешним дрейфом (КВД).

Кокригинг и совместный кокригинг.

Вывод системы уравнений совместного кокригинга.

Выбор между КВД и совместным кокригингом

5. Обусловленное стохастическое моделирование.

Кригинг и стохастические реализации.

Последовательное гауссовское стохастическое моделирование.

Стохастическое моделирование нестационарной и негауссовской переменной.

Совместное стохастическое моделирование при наличии сейсмических и скважинных данных.

Каскадное стохастическое моделирование ряда параметров.

6. Стохастическое моделирование категориальных параметров.

Чем обусловлена необходимость стохастического моделирования категориальных параметров?

Индикаторная переменная. Вариограмма индикаторной переменной.

Индикаторное стохастическое моделирование.

Объектное стохастическое моделирование.

Стохастическое моделирование на основе многоточечной геостатистики.

Стохастическое моделирование категориального параметра с учетом сейсмической информации.

Иерархическое моделирование дискретных и непрерывных параметров.

Универсальный критерий применимости геостатистики.

7. Понятие о геостатистической сейсмической инверсии.

Понятие о геостатистической сейсмической инверсии.

8. Адаптация модели к истории разработки.

Уточнение реализаций геологической модели методом «Множественный фильтр Калмана».

Уточнение реализаций геологической модели методом «Роя частиц».

9. Знакомство с системой геологического моделирования DV-Geo.

Назначение и возможности системы.

Архитектура системы, организация данных и процедур.

Детерминированная геологическая модель.

Состав модели, отображение модели в окнах визуализации различных типов.

Инструменты оценки модели.

10. Методика построения детерминированной модели.

Загрузка исходных данных.

Расчет геометрического каркаса модели.

Прогнозирование свойств.

Подсчет запасов.

Пересчет на гидродинамическую сетку.

11. Геостатистическое моделирование в DV-Geo.

Инструменты геостатистического анализа исходных данных.

Обеспечение стационарности.

Расчет набора реализаций кровли резервуара по сейсмическим и скважинным

данным.

Оценка неопределенности объема нефтенасыщенных пород.

12. Выполнение примера. Расчет объема нефтенасыщенных пород.

Каждый студент рассчитывает одну реализацию кровли резервуара и вычисляет объем нефтенасыщенных пород.

Оценка неопределенности значения названного объема производится посредством сравнения результатов, полученных студентами группы.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Ковалевский Е.В. Геологическое моделирование на основе геостатистики. Издание EAGE, 2011, 117 стр.
2. Дюбрул О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. Издание EAGE, 2005 г. 296 стр.
3. Геологическое моделирование в DV-Geo. Учебный курс. Москва, ЦГЭ, 2009. 136 стр.
4. Bianco, A., Cominelli, A., Dovera, L., Naevdal, G., Valles, B., 2007, History Matching and Production Forecast Uncertainty by Means of the Ensemble Kalman Filter – A Real Field Application, SPE-107161, 10 p.
5. Peters, E., Arts, R.J., Brouwer, G.K., Geel, C.R., 2009, Results of the Brugge Benchmark Study for Flooding Optimization and History Matching, SPE-119094, 21 p.
6. Mohamed L., Christie M., Demyanov V., Robert E., Kachuma D., 2010, Application of Particle Swarms for History Matching in the Brugge Reservoir. SPE-135264, 16 p.

Дополнительная литература

1. Deutsch C. Geostatistical Reservoir Modeling. 195 p.
2. Deutsch, C.V. and Journel, A.G., 1998. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide.
3. Chiles, J.P., Delfiner, P., 1999, Geostatistics. Modeling Spatial Uncertainty, Wiley Series in Probability and Statistics, Wiley & Sons, 695 p.
4. Демьянов В.В., Савельева Е.А., 2010, Геостатистика, теория и практика. Москва, Наука, 327 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice. DV-Geo.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса “Геологическое моделирование на основе геостатистики” требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и понимание рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа самостоятельных работ, практических занятий, а также индивидуальных консультаций.

Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Фундаментальная и прикладная физика природных систем
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
кафедра теоретической и экспериментальной физики геосистем
курс: 2
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Разработчик: Е.В. Ковалевский, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Геологическое моделирование на основе геостатистики» обучающийся должен:

знать:

- основные принципы (законы) формирования геологической среды; условия образования месторождений нефти и газа; поисковые признаки месторождений нефти и газа; задачи, решаемые посредством геологического моделирования на этапах поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа;
- состав исходных данных для геологического моделирования, требования к исходным данным;
- математические методы, применяемые в ходе геологического моделирования;
- порядок (технология) геологического моделирования;
- программные средства для геологического моделирования (систему DV-Geo на уровне начинающего пользователя);
- требования к геологическим моделям, критерии оценки качества геологических моделей.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения научных и практических задач как непосредственно в сфере геологического моделирования, так и в прилегающих областях;
- использовать современные программные системы геологического моделирования;
- участвовать в разработке названных программных систем;
- оформлять и презентовать результаты своей работы в виде отчетов, статей в научно-технических изданиях, докладов на конференциях, включая международные издания и конференции.

владеть:

- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач в сфере геологии и геофизики;
- навыками применения математических методов и математического анализа (в том числе геостатистических методов и геостатистического анализа);
- навыками освоения больших программных систем.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

3. Перечень типовых контрольных вопросов, используемых для оценки знаний, умений и навыков, как в ходе лекций, так и на индивидуальном устном экзамене

Аттестация по дисциплине «Геологическое моделирование на основе геостатистики» проводится в форме индивидуального устного экзамена. Промежуточная аттестация проводится в виде контрольных и самостоятельных работ по каждой теме. Вопросы к контрольным работам и самостоятельным работам приведены по каждой из тем ниже.

Текущий контроль процесса обучения осуществляется посредством фиксирования посещаемости лабораторных работ и практических занятий, а также оценок за контрольные и самостоятельные работы. Студенты информируются, что в случае прогулов вся ответственность за уровень их знаний по предмету ложится исключительно на них самих. Контроль понимания студентами излагаемого материала осуществляется в начальной части каждого занятия посредством устного опроса по теме, пройденной накануне. Опрос не носит индивидуального характера, то есть, обращен ко всей группе. Тем не менее, он позволяет выделить успевающих и отстающих студентов, что потом принимается во внимание в ходе итогового экзамена (как повод для более внимательного контроля уровня знаний отстающих).

Контрольные вопросы по теме «Введение»

1. Каковы основные закономерности формирования геологической среды? Какие факторы оказывают влияние на этот процесс?
2. Что представляют собой месторождения нефти и газа? Каковы условия образования месторождений нефти и газа? Каковы поисковые признаки месторождений нефти и газа?
3. Что такое геологическая модель? Какие уровни включает иерархия геологических моделей? Какие задачи решаются на каждом уровне? Какие данные при этом используются?
4. Какими параметрами характеризуется природный резервуар нефти и газа? Какие этапы включает построение геологической модели природного резервуара? Какие исходные данные, и как именно, при этом используются.
5. Какие формализованные и неформализованные методы применяются при построении модели природного резервуара. Как они сочетаются? Какие частные задачи при этом решаются?
6. Что такое геометрическая модель резервуара? Что такое стратиграфическая сетка, для чего она нужна?
7. В чем, по вашему мнению, состоят основные трудности построения модели природного резервуара?
8. Что мы называем геостатистикой? Для решения каких задач геологического моделирования используется геостатистика? В чем разница между детерминированными и геостатистическими моделями?

Контрольные вопросы по теме «Ковариация и вариограмма»

1. Какие статистические характеристики используются в геологическом моделировании? По отношению к каким параметрам модели (резервуара) они применяются? Приведите примеры. Что такое «эффект основания»? Всегда ли мы можем использовать статистические характеристики? Что такое стационарность, каковы ее критерии? Как мы поступаем в нестационарном случае?

2. Что называют «исходным положением геостатистики»?
3. Что такое «ковариация». Что именно характеризует ковариация?
4. Что такое «вариограмма»? Что делает вариограмму более предпочтительной характеристикой в сравнении с ковариацией?
5. Как рассчитывается экспериментальная вариограмма? Основные характеристики вариограммы. Что такое анизотропия вариограммы?
6. В чем смысл понятия «модель вариограммы»? Каковы основные модели вариограмм?
7. В чем состоит особенность вариограмм в пространстве 3D? Что такое «геометрическая анизотропия»?
8. Какую информацию несет вариограмма сама по себе? Приведите примеры.

Контрольные вопросы по теме «Кригинг»

1. Что такое «кригинг»? Выведите систему уравнений кригинга.
2. Что такое «простой», «обыкновенный» и «универсальный» кригинг? В чем состоит различие соответствующих систем уравнений? В чем состоит различие получаемых решений?
3. Исследуйте систему уравнений простого кригинга. Опишите основные черты решения.
4. Что такое «стандартное отклонение» кригинга. Как выглядит карта стандартного отклонения кригинга? Что она дает?
5. Что такое «скользящая окрестность» в контексте решения системы уравнений кригинга? Как она определяется? Каковы преимущества и недостатки использования скользящей окрестности?
6. Что такое «перекрестная проверка»? Какую задачу решает перекрестная проверка?
7. На чем основано утверждение, что кригинг является оптимальной интерполяцией?
8. Что такое «кокригинг ошибок»?

Контрольные вопросы по теме «Интеграция сейсмических и скважинных данных»

1. Какими образом при интерполяции скважинных данных могут быть учтены данные сейсморазведки? Назовите три альтернативных подхода.
2. Что такое «кригинг с внешним дрейфом (КВД)»? Чем понятие «дрейф» отличается от понятия «тренд»? Охарактеризуйте систему уравнений КВД.
3. Что такое «кросс-ковариация сейсмических и скважинных данных»?
4. Что такое «кокригинг» и «совместный кокригинг»? Выведите систему уравнений совместного кокригинга.
5. Исследуйте систему уравнений совместного кокригинга. Опишите основные черты решения.
6. В чем состоит качественное отличие метода КВД от метода совместного кокригинга? Для решения каких задач целесообразно их применять?

Контрольные вопросы по теме «Обусловленное стохастическое моделирование»

1. Сравните (как решения) кригинг и стохастические реализации. Когда мы выбираем кригинг и когда – стохастические реализации?
2. Метод последовательного гауссовского стохастического моделирования. Изложите алгоритм.
3. Метод последовательного гауссовского стохастического моделирования при наличии сейсмических данных. Изложите алгоритм.
4. Расчет стохастических реализаций на основе разложения Холецкого. Изложите алгоритм.
5. Стохастическое моделирование в категориальной среде. Назовите основные подходы.

6. Метод индикаторного моделирования. Изложите алгоритм. Назовите достоинства и недостатки метода.
7. Метод стохастического моделирования с использованием нормального преобразования. Изложите алгоритм. Назовите достоинства и недостатки метода.
8. Объектное стохастическое моделирование. Изложите алгоритм. Назовите достоинства и недостатки метода.
9. Многоточечная геостатистика. Изложите алгоритм. Назовите достоинства и недостатки метода.
10. Иерархическое моделирование дискретных и непрерывных параметров природного резервуара. Опишите порядок действий.

Контрольные вопросы по теме «Неопределенность геологической модели»

1. Опишите основные источники неопределенности геологической модели. Опишите методы формализации неопределенности геологической модели.

Контрольные вопросы по теме «Понятие о стохастической сейсмической инверсии»

1. Опишите алгоритм стохастической сейсмической инверсии. Опишите достоинства и недостатки данного подхода.

Контрольные вопросы по теме «Адаптация модели к истории разработки»

1. Опишите подход к адаптации модели, известный под названием «Множественный фильтр Калмана». Изложите алгоритм. Опишите достоинства и недостатки данного подхода.
2. Опишите подход к адаптации модели, известный под названием «Метод роя частиц». Изложите алгоритм. Опишите достоинства и недостатки данного подхода.

4. Критерии оценивания

Оценка «отлично (10-8)» выставляется студенту, посетившему все практические занятия и показавшему на экзамене отличные знания учебной программы дисциплины;

оценка «хорошо (7-5)» выставляется студенту, посетившему большую часть практических занятий и показавшему на экзамене хорошие знания (то есть, допускающему в ответах некоторые неточности, исключая грубые);

оценка «удовлетворительно (4-3)» выставляется студенту, допускающему в своих ответах на экзамене грубые неточности, однако, все же владеющему основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, показавшему на экзамене, что он не освоил учебную программу.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения экзамена при подготовке ответа на вопрос обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами семинаров и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена непосредственно во время ответа на вопрос обучающиеся не могут пользоваться конспектами семинаров и другой литературой.