

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт экологии и природопользования



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Д.А. Таюрский



» 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

## Программа дисциплины

Математическое моделирование загрязнения атмосферы

Направление подготовки: 05.03.04 - Гидрометеорология

Профиль подготовки: Информационная метеорология: анализ и прогноз опасных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Гурьянов В.В. (кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, отделение природопользования), Vladimir.Guryanov@kpfu.ru

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-3	владение теоретическими основами и практическими методами организации гидрометеорологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, а также методами оценки влияния гидрометеорологических факторов на состояние окружающей среды, жизнедеятельность человека и отрасли хозяйства
ПК-4	готовность осуществлять получение оперативной гидрометеорологической информации и ее первичную обработку, обобщение архивных гидрометеорологических данных с использованием современных методов анализа и вычислительной техники

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

современные теоретические и инженерные методы расчета загрязняющих веществ в атмосфере, уметь разрабатывать алгоритмы, составлять программы расчета переноса примесей в атмосфере и визуально отображать области загрязнения атмосферы на экране персонального компьютера;

Должен уметь:

разрабатывать алгоритмы, составлять программы расчета переноса примесей в атмосфере; уметь визуально отображать результаты численных расчетов (области загрязнения атмосферы) на экране персонального компьютера;

Должен владеть:

навыками необходимыми для понимания современной литературы по вопросам загрязнения атмосферы, и участия в работах соответствующего профиля.

Должен демонстрировать способность и готовность:

Владеть основными компетенциями

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.04.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 05.03.04 "Гидрометеорология (Информационная метеорология: анализ и прогноз опасных явлений)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

## 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 52 часа(ов), в том числе лекции - 26 часа(ов), практические занятия - 26 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 56 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре.

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

### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Основные понятия об источниках и характеристиках загрязнения атмосферы. Основные подходы к расчету распространения примесей.	7	2	2	0	4
2.	Тема 2. Основные методы описания турбулентной диффузии	7	2	2	0	4
3.	Тема 3. Практические (инженерные) способы расчета рассеяния примесей.	7	2	2	0	4
4.	Тема 4. Сравнение основных методик расчета турбулентной диффузии примеси в атмосфере.	7	2	2	0	4
5.	Тема 5. Основы статистической теории турбулентной диффузии.	7	2	2	0	4
6.	Тема 6. Гауссова модель рассеивающейся струи примеси от мгновенного и непрерывного точечного источника.	7	2	2	0	4
7.	Тема 7. Статистическая теория Тейлора.	7	2	2	0	4
8.	Тема 8. Гауссова модель рассеивающейся струи примеси с учетом эффективной высоты источника и устойчивости атмосферы.	7	2	2	0	8
9.	Тема 9. Полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии и краевые условия задачи. Аналитические решения уравнения диффузии при постоянных коэффициентах турбулентности и скорости ветра. Теоретическая модель переноса примесей в атмосфере на близкие расстояния.	7	2	2	0	8
10.	Тема 10. Численные модели переноса примесей. Уравнения переноса примеси в пограничном слое атмосферы. Влияние неоднородности подстилающей поверхности и нестационарности внешних параметров.	7	2	2	0	4
11.	Тема 11. Траекторная модель переноса примесей в пограничном слое.	7	2	2	0	4
12.	Тема 12. Оценка современного состояния математического моделирования распространения примесей в атмосфере и его роли в решении задачи охраны окружающей среды.	7	4	4	0	4
Итого			26	26	0	56

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

**Тема 1. Основные понятия об источниках и характеристиках загрязнения атмосферы. Основные подходы к расчету распространения примесей.**

Основные понятия об источниках и характеристиках загрязнения

Классификация источников загрязнения атмосферы.

Загрязняющие вещества. Максимальные разовые и среднесуточные ПДК

Основные методы описания диффузии примеси в атмосфере.

Источники примесей могут быть различного вида. Назовем некоторые из них:

1) мгновенный точечный источник ? МТИ, характеризуется количеством (массой) "выбрасываемой" примеси ? мкг;

2) непрерывный (постоянный) точечный источник ? НТИ, характеризуется мощностью (производительностью), т.е. количеством выбрасываемой примеси за единицу времени ? кг/с;

3) мгновенный линейный источник ? МЛИ, характеризуется количеством примеси, выбрасываемой единицей длины источника единичного сечения ? кг/м;

4) непрерывный линейный источник ? НЛИ, характеризуемый мощностью, т.е. количеством примеси, выбрасываемой единицей длины источника единичного сечения за единицу времени ? кг/мс;

5) площадной, мгновенный или постоянный источник.

Приведем некоторые примеры источников примеси: МТИ ? взрыв какого-либо устройства, НТИ ? высокая труба металлургического предприятия, НЛИ ? прямолинейно летящий самолет или прямолинейная автотрасса, площадной источник ? участок земной поверхности при пыльной буре или металлургический комплекс, занимающий значительную территорию.

Загрязняющие вещества. По своему происхождению загрязняющие атмосферу вещества могут быть первичными ? поступающими непосредственно из источника ? и вторичными ? образующимися при переносе и рассеивании веществ в атмосфере в результате химических, фотохимических и физико-химических реакций между загрязняющими веществами. Испарение и выветривание приводит к тому, что часть "отходов" производства, выбрасываемых на земную поверхность и в водоемы, также попадает в атмосферу.

Многие примеси в атмосфере находятся в аэрозольной форме в виде твердых или жидких частиц с малой скоростью осаждения. Частицы различаются по размеру, составу и другим характеристикам, определяющим их физические и химические свойства, а также степень взаимодействия с окружающей средой. Размер атмосферных аэрозолей варьирует в широких пределах ? от тысячных долей до нескольких сотен микрометров и более.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха различными примесями измеряется с помощью специальной аппаратуры. Основными единицами измерения загрязнения атмосферы являются единицы концентраций (удельная концентрация - кг/кг или объемная ? кг/м<sup>3</sup>) примесей, содержащихся в воздухе. Большей частью определяют весовую концентрацию (мг/м<sup>3</sup>), причем при низком уровне загрязнения атмосферы в микрограммах на 1 м<sup>3</sup> (1 мкг/м<sup>3</sup>=10<sup>-3</sup> мг/м<sup>3</sup>), при очень низком уровне ? в нанogramмах на 1 м<sup>3</sup> (1 нг/м<sup>3</sup>=10<sup>-6</sup> мг/м<sup>3</sup>). Кроме того, содержание пыли и аэрозолей в атмосфере определяют по их выпадению на подстилающую поверхность и измеряют в единицах массы на единицу площади, например в граммах на 1 м<sup>2</sup>, килограммах на 1 га или граммах на 1 км<sup>2</sup>, в единицу времени, например в год (г/м<sup>2</sup>, кг/га или г/км<sup>2</sup>). Используют также численные концентрации частиц в атмосфере, определяемых как число частиц в единице объема. Размеры частиц большей частью измеряют в микрометрах (мкм). Содержание газовых примесей иногда характеризуется отношением их объема к объему воздуха и обычно выражаются в частях на 1 миллион (млн.-1; в зарубежной литературе ? ppm), а для более низких уровней ? в частях на 100 миллионов или на 1 миллиард (соответственно 100 млн.-1 и млрд.-1; в зарубежной литературе ? ppbm и ppb).

Выделяют различные значения измеренных концентраций примеси в зависимости от времени осреднения: разовые, среднесуточные и максимальные (за конкретный период). По своему воздействию на здоровье человека введено понятие предельно допустимых концентраций ? ПДК.

## Тема 2. Основные методы описания турбулентной диффузии

Основные методы описания диффузии примеси в атмосфере.

Эмпирико-статистический подход

Стандартные методики

Гауссова модель факела

Модели, основанные на аналитических и численных решениях уравнений переноса и турбулентной диффузии примеси.

Динамико-стохастический подход.

Эмпирико-статистический подход. Существует очень большое разнообразие статистических подходов, базирующихся на обработке данных наблюдений за загрязнением окружающей среды. В одних работах в качестве характеристик экологического состояния объекта могут выступать средние или максимальные концентрации; индексы загрязнения (отношение среднего значения концентрации ингредиента к установленной для него предельно допустимой концентрации); обобщенный показатель (повторяемость существенно повышенных концентраций по отношению к общему числу проведенных измерений). Такой обобщенный показатель легко рассчитывается как по отдельным ингредиентам, так и по их совокупности (Сонькин, Денисова, 1969; Сонькин, 1971; Берлянд, 1975).



Стандартные методики. Стандартные методики утверждены ГОСТом и рекомендованы всем промышленным предприятиям как нормативный документ для составления ?Томов предельно допустимых выбросов?. Действующие в нашей стране методики (Указания ?, 1975; Методика ?, 1987; Унифицированная ?, 1990) и их последующие модификации позволяют на основе эмпирических и полуэмпирических формул выявлять степень опасности загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами вредных веществ по наибольшей рассчитанной величине приземной концентрации, которая может устанавливаться на некотором расстоянии от места выброса при неблагоприятных метеорологических условиях (например, штиль, опасная скорость ветра и пр.). Согласно этим методикам величины приземных концентраций ингредиентов по оси факела оцениваются при тех же (неблагоприятных) метеорологических условиях с учетом эмпирического поправочного коэффициента, зависящего от величины отношения расстояния, на котором ищется концентрация, к расстоянию, на котором достигается максимальная концентрация.

Гауссова модель факела. В большинстве предлагаемых моделей (Romanof, Sohmidt, 1979 (1981); Green, Singhal, Venkateswar, 1980; Cagnetti, Ferrara, 1982; An application, 1983; Decu, Lascu, Esanu, 1983; Ньистадт, Ван Доп, 1985; Overcamp, 1990) используется предположение, что распределение примеси является гауссовым. Это предположение основано на том факте, что поток примеси (или поток количества примеси), проходящий в единицу времени через вертикальное сечение факела, нормальное к среднему направлению ветра, есть величина постоянная, равная интенсивности источника (соответственно в объемных или массовых единицах). С удалением от источника выброса происходит постепенное размывание факела, что приводит к увеличению площади поперечного сечения, а, следовательно, к уменьшению концентрации примеси по оси факела.

Модели, основанные на аналитических и численных решениях уравнений переноса и турбулентной диффузии примесей. В области теоретических исследований турбулентной диффузии много результатов получено на основе уравнений диффузии классической К-теории (Ньистадт, Ван Доп, 1985).

Динамико-стохастический подход. Любые явления (например, метеорологические, гидрологические) в процессе развития во времени включают в себя регулярную и случайную составляющие. В качестве регулярной составляющей можно рассматривать усредненные по времени или реализации величины, а в качестве случайных ? пульсации от средних. Естественно, что наиболее сложно описать поведение случайных составляющих, которые во многих процессах хозяйственной деятельности выступают как помехи. Поэтому авторы многих работ пытаются закономерности поведения случайных составляющих описать вероятностными методами.

### Тема 3. Практические (инженерные) способы расчета рассеяния примесей.

Стандартные методики.

Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. (ОНД-86 и их последующие модификации)

Стандартные методики утверждены ГОСТом и рекомендованы всем промышленным предприятиям как нормативный документ для составления ?Томов предельно допустимых выбросов?. Действующие в нашей стране методики (Указания ?, 1975; Методика ?, 1987; Унифицированная ?, 1990) и их последующие модификации позволяют на основе эмпирических и полуэмпирических формул выявлять степень опасности загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами вредных веществ по наибольшей рассчитанной величине приземной концентрации, которая может устанавливаться на некотором расстоянии от места выброса при неблагоприятных метеорологических условиях (например, штиль, опасная скорость ветра и пр.). Согласно этим методикам величины приземных концентраций ингредиентов по оси факела оцениваются при тех же (неблагоприятных) метеорологических условиях с учетом эмпирического поправочного коэффициента, зависящего от величины отношения расстояния, на котором ищется концентрация, к расстоянию, на котором достигается максимальная концентрация. Аналогично определяются значения концентраций вредных веществ и при других значениях скоростей ветра (например, при модальной скорости). Величины приземных концентраций по перпендикуляру от оси факела определяются при заданной скорости ветра с учетом концентраций, рассчитанных на оси, и эмпирического поправочного коэффициента, зависящего от величины отношения расстояния от рассматриваемой точки по перпендикуляру до оси факела к расстоянию до источника по оси факела. Предлагаемые эмпирические формулы отличаются между собой учетом конфигурации устья трубы, температурного режима выходящей смеси (холодные и горячие выбросы), расчетом расстояния, на котором достигается максимальная концентрация и пр. Попытки учета влияния рельефа местности, температурной стратификации, скорости осаждения частиц примеси сводятся к введению безразмерных коэффициентов, искусственно увеличивающих или уменьшающих рассчитанные концентрации. Так, например, для точечных источников, выбрасывающих частицы пыли, расчет гравитационной скорости осаждения в зависимости от размера частиц подменяется умножением значений концентрации на коэффициенты 2; 2,5; 3 в зависимости от степени очистки выбрасываемой пыли соответственно на 90 % и более, 75-90 % или менее 75 %. Один и тот же коэффициент температурной стратификации берется для слишком обширных территорий (его значение равно 200 для Сибири, Нижнего Поволжья, Дальнего Востока, Кавказа, и территории Средней Азии, расположенной севернее 400 с. ш.). Кроме того, дефект симметричного расчета по секторам круга завуалирован для группы действующих источников их различной мощностью. Поэтому можно сделать вывод, что гостированные методики, во первых, не учитывают климатические особенности местности и, во-вторых, могут давать лишь качественную картину загрязнения при ситуациях, близких штилевым. Однако хорошо известен тот факт, что ветры различных направлений в зависимости от расположения предприятий могут существенно увеличить загрязнение в расчетной точке. Причем эта ситуация будет повторяться с вероятностью реализации ветров данного направления (Аргучинцев, Аргучинцева, Галкин, 1992; Аргучинцева, 1994а,б).

### Тема 4. Сравнение основных методик расчета турбулентной диффузии примеси в атмосфере.

Сравнение основных методик расчета турбулентной диффузии примеси в атмосфере.

Преимущества и недостатки различных методик.

В настоящее время значительное число работ посвящено исследованию загрязнения атмосферы промышленными выбросами. Распространение примеси в атмосфере происходит за счет движения воздушных масс (ветра), турбулентной и молекулярной диффузии (молекулярная диффузия при описании распространения примеси, как правило, не учитывается). Математическая модель турбулентной диффузии представляет собой краевую задачу: полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии (которое является линейным уравнением в частных производных параболического типа) с заданными для его решения начальными и граничными условиями [9], [35]. Построению и исследованию математической модели процесса рассеяния примесей в турбулентной атмосфере посвящены многочисленные исследования как у нас в стране: Марчук Г. И., Берлянд М. Е., Монин А. С., Бызова Н. Л., Алюян А. Е., Яглом А. М., Петросян Л. А., Захаров В. В., Белолипецкий В. М., Шокин Ю. П., Гринин А. С., Орехов Н. А., Новиков В. Н., Романов М. Ф., Федоров М. П. и др., так и за рубежом: Вайнерди Р., Гиффорд Ф., Хан С., Махони Ж. Р., Иган Б. А., Фокс О. Г. и др. Среди задач, естественным образом возникающих в рамках указанной модели, большое прикладное значение имеют так называемые обратные задачи: определить некоторые параметры краевой задачи, описывающей атмосферную диффузию (функцию, описывающую фоновую концентрацию, коэффициенты турбулентной диффузии и т.д.) по результатам замеров концентрации примеси в атмосфере и известным значениям других параметров (например, определить мощность источника примеси по результатам замеров в атмосфере концентрации примеси и известным значениям всех остальных параметров ? коэффициентам полуэмпирического уравнения, параметрам, входящим в начальное и граничные условия).

Статистические модели диффузии разрабатывались довольно давно, но они все еще используются при решении ряда практических задач. Большое распространение гауссовы модели распространения примесей получили в США.

В последние годы все большее распространение приобретают численные гидродинамические модели. Среди них особое место занимает мезомасштабная модель WRF Chem. Однако они требуют значительно больших вычислительных ресурсов по сравнению со стандартными и гауссовыми методиками.

## **Тема 5. Основы статистической теории турбулентной диффузии.**

Основы статистической теории турбулентной диффузии.

Основные сведения из теории вероятностей и

математической статистики

Распространения примеси от одиночного источника

Статистический подход основан на представлении о распространении примесей как случайного процесса. Следовательно, в этом подходе можно использовать методы теории вероятностей и математической статистики. При статистических методах исследования загрязнения наиболее широкое распространение получили моменты распределения и закон нормального распределения (распределение Гаусса).

Эйлеров и лагранжев способы описания кинематики атмосферы. Любые виды антропогенных примесей в атмосфере, будь-то газы, твердые или жидкие частицы (аэрозоли), перемещаются в пространстве преимущественно за счет скорости ветра, задаваемой, вообще говоря, некоторым вектором. В зависимости от того, привязывается ли этот вектор к движущейся частице воздуха (так называемая ?меченая частица?) или к фиксированной точке пространства с координатой (вектор с компонентами или ) различают, соответственно, так называемую ?лагранжеву? скорость (компоненты или ) или ?эйлерову? ? (компоненты или ), причем в первом случае представляет собой начальную координату данной частицы.

В случае расположения того или иного измерителя скорости ветра в фиксированной точке его показания будут, естественно, давать нам эйлерову скорость, а скорость воздушного шара (в том случае, разумеется, если он полностью увлекается воздухом) соответствует лагранжевой. Понятно, что с технической точки зрения регистрирующую аппаратуру проще располагать в фиксированных точках. Именно по этой причине наиболее распространенный способ измерений скорости ветра в метеорологии ? это определение эйлеровой скорости (с помощью сети метеорологических станций). В более редких случаях определяется и лагранжева скорость (с использованием уравновешенных аэростатов или меньших по объему так называемых шаров-тетронов).

## **Тема 6. Гауссова модель рассеивающейся струи примеси от мгновенного и непрерывного точечного источника.**

Гауссова модель рассеивающейся струи примеси от мгновенного и непрерывного точечного источника.

Зависимость распространения примеси от скорости ветра, дисперсии примеси, высоты источника.

Мгновенный точечный источник. Рассмотрим процесс распространения пассивной невесомой примеси от мгновенного точечного источника в бесконечном пространстве. Пусть МТИ мощностью находится в точке . Общее количество примеси, ?выброшенной? этим источником, составляет . Для упрощения задачи примем вначале, что упорядоченное движение воздуха отсутствует. Распространение примеси при таких условиях должно происходить только в результате турбулентного обмена.

Можно предположить, что спустя некоторое время после ?взрыва? МТИ распределение примеси в пространстве будет соответствовать нормальному закону. В таком случае можно принять, что концентрация примеси по какому-либо направлению, например , будет прямо пропорциональна плотности вероятности.

Непрерывный точечный источник. Рассмотрим теперь случай непрерывного точечного источника мощностью, находящегося в точке, при постоянной во всем пространстве скорости, направленной вдоль оси. Для простоты положим, что поле является однородным и изотропным. В этом случае НТИ создает своеобразное пространственное распределение примеси в форме ?факела?, ось которого направлена вдоль оси и проходит через точку НТИ. Частицы воздуха, находящиеся внутри факела, образуются всеми частицами, прошедшими через источник. Если в точке провести плоскость, перпендикулярную оси, то на ней образуется круг, в котором концентрация примеси будет отлична от нуля.

### **Тема 7. Статистическая теория Тейлора.**

Статистическая теория Тейлора

Движение частиц примеси в поле однородной стационарной турбулентности.

Определение дисперсия частиц примеси для малых и больших промежутков времени.

В предыдущем разделе было показано, что рассеяние частиц в перпендикулярном среднему ветру направлении можно описать законом Гаусса, единственным параметром которого является дисперсия частиц. Эта величина характеризует среднее квадратическое смещение частиц примеси, поступающих в атмосферу из непрерывного точечного источника (или среднее квадратическое расширение струи дыма).

Статистическая теория Тейлора посвящена определению. Для этого необходимо рассмотреть движение частиц в турбулентном потоке. Удобным оказывается лагранжев метод описания, когда рассматривается движение фиксированной частицы, которое в турбулентном потоке является случайным. Предположим, что примесь ?пассивна? (т.е. не влияет на движение среды) и перемещается в потоке со скоростью, практически совпадающей со скоростью течения в соответствующей точке.

Рассмотрим движение частиц примеси в поле однородной стационарной турбулентности. Нас будет интересовать перемещение частиц в перпендикулярном среднему ветру направлении.

### **Тема 8. Гауссова модель рассеивающейся струи примеси с учетом эффективной высоты источника и устойчивости атмосферы.**

Развитие гауссовой модели факела.

Скорость ветра в гауссовой модели факела

Расчеты подъема дымового факела

Классы устойчивости.

В существующих теориях ПСА получены результаты, которые совместно с данными наблюдений, позволяют определить практически все параметры, входящие в формулу (1). Задача специалиста в области метеорологических аспектов загрязнения атмосферы заключается в приведении этих результатов к виду, удобному для использования в модели. Так, например, скорость ветра в уравнении должна определяться на эффективной высоте источника. Поскольку, как правило, выброс из источника обладает начальной скоростью в вертикальном направлении и начальной температурой, отличающейся от температуры окружающего воздуха, то на начальном участке примесь поднимается вверх, поэтому фактически высотой источника следует считать его эффективную высоту.

### **Тема 9. Полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии и краевые условия задачи. Аналитические решения уравнения диффузии при постоянных коэффициентах турбулентности и скорости ветра. Теоретическая модель переноса примесей в атмосфере на близкие расстояния.**

Полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии и краевые условия задачи. Аналитические решения уравнения диффузии при постоянных коэффициентах турбулентности и скорости ветра. Теоретическая модель переноса примесей в атмосфере на близкие расстояния.

Главной частью любой гидродинамической модели переноса примесей является уравнение баланса (переноса) примесей. Обычно его называют полуэмпирическим уравнением турбулентной диффузии, а модели, основанные на его решении, принято называть ?К-теория? или ?К-модель?.

Источники и стоки примеси, расположенные на границах области диффузии или в точке, учитываются граничными условиями. Объемные источники вводятся с помощью. В случае притока или оттока примеси за счет химических реакций, радиоактивного распада, вымывания осадками мощность этих источников и стоков, как правило, линейно связана с локальной концентрацией. Определение или способ задания функции источника (стока) примеси является важной частью модели переноса примесей.

### **Тема 10. Численные модели переноса примесей. Уравнения переноса примеси в пограничном слое атмосферы. Влияние неоднородности подстилающей поверхности и нестационарности внешних параметров.**

Численные модели переноса примесей. Уравнения переноса примеси в пограничном слое атмосферы. Влияние неоднородности подстилающей поверхности и нестационарности внешних параметров.

Влияние неоднородности подстилающей поверхности и нестационарности внешних параметров на перенос примеси.



Один из способов упрощения уравнений гидротермодинамики состоит в фильтрации волн, скорость распространения которых велика по сравнению со скоростями основных процессов. Наличие таких волн затрудняет разработку эффективных численных методов интегрирования уравнений. Применение гидростатического приближения позволяет отфильтровать звуковые волны (Монин, Обухов, 1958; Томпсон, 1962). Рассмотрим трехмерную нестационарную нелинейную задачу о мезометеорологическом пограничном слое, образующимся над термически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью с характерными горизонтальными масштабами порядка 100 км. В работе А. С. Монина и А. М. Обухова (1958) показано, что гравитационные волны описываются гидростатическим приближением тем точнее, чем они длиннее. Так как горизонтальные масштабы изучаемого пограничного слоя на два порядка больше вертикального, то будем использовать уравнение квазистатики. Представим каждую метеорологическую величину  $\psi$  в виде суммы заданной фоновой компоненты (буква с чертой) и возмущения (буква со штрихом), вызванного мезомасштабными неоднородностями подстилающей поверхности:  $\psi = \bar{\psi} + \psi'$ . Переход от полных величин к отклонениям позволяет провести обоснованные упрощения и вывести не только уравнения, описывающие непосредственно мезометеорологические процессы, но и избежать трудностей, обусловленных необходимостью вычисления малых разностей больших величин, повышая тем самым точность решения задачи.

Распространение атмосферных примесей зависит от метеорологических условий, орографических неоднородностей местности, трансформации веществ за счет химических и фотохимических превращений, взаимодействия примесей с подстилающей поверхностью. При математическом моделировании переноса примесей в мезомасштабном пограничном слое атмосферы возникает проблема восстановления метеорологических полей в связи с отсутствием регулярных наблюдений над водной поверхностью и труднодоступными горными районами. В этой главе для описания мезометеорологических процессов, возникающих над термическими и орографическими неоднородностями подстилающей поверхности, будем использовать указанную выше квазистатическую модель. Найденные на основе гидротермодинамической модели скорости движения и турбулентные характеристики используются для расчета переноса газовых и аэрозольных примесей с учетом химических реакций. При промышленных выбросах примесей, таких как диоксид серы, оксиды азота и углерода, происходит ряд сложных химических и фотохимических реакций, в результате которых образуются новые, еще более токсичные, вещества, например, кислоты, что приводит к выпадению кислотных дождей. Так как атмосфера из-за наличия в ней свободного кислорода представляет собой систему, обладающую окислительными свойствами, то практически все реакции соединений серы и азота идут с образованием сульфатов и нитратов. Описание превращения веществ осуществляется с различной степенью детализации, зависящей от знания начальных условий, скорости химических реакций и ресурсов вычислительной техники.

### Тема 11. Траекторная модель переноса примесей в пограничном слое.

Перенос примеси в пограничном слое атмосферы.

Траекторная модель переноса примесей в пограничном слое.

Известны два подхода к моделированию переноса примесей. Первый подход заключается в решении уравнений диффузии при помощи численных методов, второй основан на использовании траектории. Модели, в которых используется уравнение диффузии, с формальной точки зрения являются более ?элегантными?, в определенной мере ? более общими, однако на практике они гораздо сложнее, дороже и менее оперативны, чем модели, основанные на расчетах траекторий частиц. Затруднения в использовании уравнений диффузии заключаются в проблеме их достаточно точного решения, поскольку они являются уравнениями с частными производными второго порядка. Таким образом, различные модели переноса примесей являются модификациями двух указанных подходов. Например, в методе, реализованном в, для расчета распространения и выпадения примесей использовано решение конечно-разностных уравнений в узлах сетки, в другом методе ? дисперсионные характеристики распределения примеси в пространстве и времени. В восточно-европейском центре (программа ЕМЕП) используется траекторная модель лагранжова типа. При построении такой модели учитываются процессы химических преобразований примесей, выведения их из атмосферы за счет осаждения на подстилающую поверхность, вымывания осадками и т. п. При этом следует помнить, что определение параметров химических превращений, коэффициентов турбулентного рассеяния, сухого и мокрого выпадения, а также скоростей осаждения примесей на подстилающей поверхности является сложной экспериментальной и теоретической проблемой. Весьма сложен и объективный анализ полей наблюдаемых скоростей ветра, которые используются в моделях для определения траекторий распространения примесей. Поэтому оценки, полученные с помощью указанных моделей, могут носить лишь ориентировочный характер. Модель восточноевропейского центра может использоваться в двух вариантах: модель с имитацией эволюции струй примесей и имитацией эволюции порций примесей. Последняя и была положена в основу нашей методики расчета. Отметим несколько особенностей и проблем, связанных с проведением расчетов по данной методике: - распределение примеси по центрам квадратов от порции считается равномерным; - способ построения траектории движения облака через введение поправки на отклонение от прямой траектории является альтернативным и может быть заменен. Однако в условиях регионального масштаба нам представляется нецелесообразным использование поля геопотенциала для построения траектории; - скорость и направление ветра на высоте и у земли различаются, поэтому траектория выпадения примесей с высоты будет наклонной, а, следовательно, координаты порции примесей определенного возраста на поверхности земли будут отличны от высотных координат. Это необходимо учитывать для повышения точности расчетов.

### Тема 12. Оценка современного состояния математического моделирования распространения примесей в атмосфере и его роли в решении задачи охраны окружающей среды.

Оценка современного состояния математического моделирования распространения примесей в атмосфере и его роли в решении задачи охраны окружающей среды.

При моделировании процесса переноса веществ в атмосфере рассматриваются три основных аспекта: ? источник загрязнения, его характеристики; ? процесс переноса с учетом химических реакций и преобразований, происходящих в атмосфере, наличия естественных и искусственных препятствий, рельефа местности, метеорологических условий, вымывание осадками, оседание на почве, водной поверхности и т.д.; ? база сравнения воздействия автотранспортных средств (АТС) на городскую среду (например, ? на человека с точки зрения соблюдения санитарно-гигиенических предельно допустимых концентраций (ПДК). Авторами анализируются возможности использования современных подходов моделирования переноса и рассеивания загрязнителя в атмосфере, применяемых в РФ и за рубежом, для решения задач, связанных с загрязнением атмосферы автомобильным транспортом. Методы исследования метеорологического режима и загрязнения атмосферы городов подразделяют на: ? эмпирико-статистические; ? статистические; ? аналоговое моделирование; ? математическое моделирование. Эмпирико-статистические и статистические методы связывают между собой различные метеорологические параметры и свойства ?подстилающей? поверхности. К статистическим относят регрессионные и авторегрессионные модели. Статистические модели используются, например, для расчета среднего загрязнения атмосферы. Для вывода уравнения регрессии, как правило, применяется формула Гаусса (?Гауссовы модели?). Математические модели делятся на две категории: энергетические (статические) и гидродинамические модели. Энергетические модели предназначены для изучения метеорологического режима в приземном слое воздуха над городом. Основой метода является уравнение теплового баланса. Метод гидродинамического моделирования характеризуется как наиболее плодотворный и перспективный. Он основывается на решении системы уравнений, описывающих метеорологический режим формирования воздушного потока в городской среде в зависимости от горизонтальной и вертикальной составляющих скорости ветра, температуры, удельной влажности, горизонтального и вертикального градиентов давления, силы Кориолиса и других физических параметров. В целом можно выделить четыре основных направления, в которых развивалось моделирование распространения газообразных примесей и твердых частиц в атмосфере городов.

1. Использование статистических моделей распространения, основанных на функции распределения Гаусса.
2. Моделирование течений в уличных каньонах на основе решения транспортнодиффузионных уравнений.
3. Физическое моделирование в аэродинамических трубах. Подобные эксперименты дают возможность оценить некоторые особенности распределения примеси в условиях застройки для таких метеорологических условий, которые можно с той или иной точностью воспроизвести в аэродинамической трубе. При этом в трубах невозможно соблюсти подобие течения по достаточному набору критериев, например, числа Рейнольдса одновременно с числом Росби. В то же время такой метод позволяет определить некоторые необходимые для моделирования параметры и дает возможность сравнения расчетов по модели с измерениями, например, ? оценить распределение воздушных потоков вдоль улиц при различных направлениях ветра.
4. Построение моделей на основе комплексного подхода: сравнительного анализа результатов натурных экспериментов, результатов численного моделирования и физического моделирования.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы.

Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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

Air pollution research - <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/air-quality/science/research/>

EPA - <http://www.epa.gov/airscience/>

Библиография по экологии - <http://lake.baikal.ru/ru/library/library.html?action=list&division=6>

ВМО -

[http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=more\\_results&mode=keyword&user\\_query=Environmental+Pollution+Monitoring+and+](http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=more_results&mode=keyword&user_query=Environmental+Pollution+Monitoring+and+)

Моделирование мезомасштабных атмосферных процессов - <http://www.inm.ras.ru/laboratory/direct3.htm>

Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал - <http://lake.baikal.ru/ru/library/publication.html?action=show&id=408>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	<p>В ходе лекционных занятий по курсу "Математическое моделирование загрязнения атмосферы" обучаемый должен вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Записи должны быть избирательными, полностью следует записывать только определения. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. В ходе изучения курса особое значение имеют рисунки, схемы и поэтому в конспекте лекции рекомендуется делать все рисунки, сделанные преподавателем на доске, или указанные в наглядном пособии. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.</p> <p>Приступая к подготовке по теме, необходимо соотнести формулировку темы с определяемой целью, подобрать нужную литературу из списка основных и дополнительных источников, необходимую для занятий. Нужно внимательно прочитать Содержание темы, которое включает основные теоретические понятия, осознание и понимание которых необходимо в ходе занятия уяснить, все ли слова понятны, какие требуют дополнительных разъяснений и комментариев. Если такие имеются, нужно обратиться за разъяснением к преподавателю в начале занятия.</p>
практические занятия	<p>Прохождение всего цикла практических занятий является обязательным для получения допуска студента к зачету. В случае пропуска занятий пропущенное занятие подлежит отработке. В ходе практических занятий студент под руководством преподавателя выполняет комплекс практических заданий, позволяющих закрепить лекционный материал по изучаемой теме, научиться выполнять наблюдения, их камеральную обработку, статистическую обработку полученных данных, научиться работать с методиками, руководящими документами, информацией различного уровня.</p> <p>В ходе подготовки к практическим занятиям изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретает практика в изложении и разъяснении полученных знаний. При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю, при этом, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.</p> <p>Заканчивать подготовку следует составлением плана по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам. Теоретическая часть работы выполняется по установленным темам с использованием практических материалов. К каждой теме рекомендуется примерный перечень узловых вопросов, список необходимой литературы. Излагая вопросы темы, следует строго придерживаться плана. При выполнении практической работы необходимо подготовить и обработать исходный материал; следуя рекомендациям по выполнению работы провести необходимые процедуры и расчеты; проанализировать полученные результаты и составить окончательный отчет.</p>



Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<p>К организации самостоятельной работы, на которую отводится значительное количество часов, особенно по сравнению с аудиторной, нужно подходить с особой ответственностью.</p> <p>Внеаудиторная СРС проводится без непосредственного контроля со стороны преподавателя и, следовательно, требует тщательной подготовки. Организация СРС по дисциплине отражается в учебной программе; конкретные виды работы обозначены в тематическом планировании.</p> <p>Выполнение самостоятельной работы поможет студентам в усвоении программного материала и в успешном проведении контрольных мероприятий.</p> <p>Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора. Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.</p> <p>Изучение дисциплины "Математическое моделирование загрязнения атмосферы" предусматривает проведение систематической самостоятельной работы (СРС) студентами, связанной с проработкой конспектов лекций;</p> <p>изучением основных и дополнительных вопросов из перечня рекомендованной основной и дополнительной литературы;</p> <p>завершением выполнения практических заданий начатых в аудитории и анализом полученных результатов;</p> <p>составлением и оформлением отчетов;</p> <p>подготовкой к контрольным работам, зачету или экзамену;</p> <p>проработкой учебных вопросов для самоконтроля.</p> <p>Основной целью организации СРС является систематизация и закрепление знаний, полученных ими на лекциях, развитие навыков самостоятельного поиска нужных литературных источников.</p> <p>При подготовке к СРС в первую очередь, необходимо обратиться к курсу лекций по данному вопросу и основным учебным пособиям, чтобы найти пути для последующей работы, обновить имеющиеся у студента знания.</p> <p>В ходе СРС студенты закрепляют теоретические основы дисциплины, приобретают навыки поиска дополнительной научной информации, овладевают навыками анализа.</p> <p>Самостоятельная работа с учебными пособиями, научной и методической литературой является наиболее эффективным методом получения основных и дополнительных знаний по дисциплине, активизирует процесс овладения научной информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. СРС предполагает также обращение студентов к словарям, справочникам, энциклопедиям и Интернет ресурсам, что также способствует пониманию и закреплению пройденного материала.</p>
экзамен	<p>Экзамен предусматривает следующую цель:</p> <p>оценить знания студента по предмету, их прочность, развитие творческого мышления.</p> <p>приобретенные навыки самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их на практике и т.п. Курсовые экзамены по всей дисциплине или ее части имеют цель оценить теоретические знания студента, его способность к творческому мышлению, приобретенные им навыки самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их к решению практических задач.</p> <p>Готовиться к экзаменам необходимо в течение всего учебного времени, т.е. с первого дня очередного семестра: вся работа студента на лекциях, практических занятиях, консультациях, а также написание рефератов и выполнение контрольных работ и т.п. - это и есть этапы подготовки студента к зачетам и экзаменам.</p> <p>Подготовка к сессии должна быть нацелена не столько на приобретение новых знаний, сколько на закрепление ранее изученного материала и его повторение. Сумму полученных знаний студенту перед сессией надо разумно обобщить, привести в систему, закрепить в памяти, для чего ему надо использовать учебники, лекции, консультации, курсовые работы, рефераты и т.п., а также методические пособия и различного рода руководства.</p> <p>Повторение необходимо производить по разделам, темам.</p> <p>Экзамен проводится по билетам. Примерный перечень вопросов приводится в рабочей программе. Помимо теоретических вопросов билет на экзамене может включать в себя практическую ситуацию, которую студент должен будет разрешить при ответе на билет.</p>



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

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

#### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 05.03.04 "Гидрометеорология" и профилю подготовки "Информационная метеорология: анализ и прогноз опасных явлений".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
*Б1.В.ДВ.04.01 Математическое моделирование загрязнения атмосферы*

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 05.03.04 - Гидрометеорология

Профиль подготовки: Информационная метеорология: анализ и прогноз опасных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

**Основная литература:**

1. Ясовеев, М.Г. Методика геоэкологических исследований: учебное пособие / Ясовеев М.Г., Стреха Н.Л., Шевцова Н.С.; Под ред. Ясовеева М.Г. - Москва: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2014. - 292 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-009534-9. - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/446113> (дата обращения: 11.03.2020). - Режим доступа: по подписке.
2. Жуков, В.И. Оценка воздействия транспортно-дорожного комплекса на окружающую среду. Книга 1: учебное пособие / В.И. Жуков, Л.Н. Горбунова, С.В. Севастьянов. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. - 784 с. - ISBN 978-5-7638-2326-4. - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/441428> (дата обращения: 11.03.2020). - Режим доступа: по подписке.

**Дополнительная литература:**

1. Жуков, В. И. Оценка воздействия транспортно-дорожного комплекса на окружающую среду. Книга 2 : учебное пособие / В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова, С. В. Севастьянов. - Красноярск : Сибирский федеральный университет , 2012. - 784 с. - ISBN 978-5-7638-2326-4. - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/440994> (дата обращения: 11.03.2020). - Режим доступа: по подписке.
2. Кириллов, В.И. Метрологическое обеспечение технических систем: учебное пособие / В.И. Кириллов. - Москва: НИЦ ИНФРА-М; Минск: Нов. знание, 2013. - 424 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006770-4. - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/406752> (дата обращения: 11.03.2020). - Режим доступа: по подписке.
3. Мешалкин, В. П. Основы информатизации и математического моделирования экологических систем : учебное пособие / В.П. Мешалкин, О.Б. Бутусов, А.Г. Гнаук. - Москва : ИНФРА-М, 2017. - 357 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-101154-6. - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/560753> (дата обращения: 11.03.2020). - Режим доступа: по подписке.
4. Экологический мониторинг и экологическая экспертиза: учебное пособие / М.Г. Ясовеев, Н.Л. Стреха, Э.В. Какарека, Н.С. Шевцова; под ред. проф. М.Г. Ясовсва. - Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2018. - 304 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-985-475-575-5 (Новое знание). ISBN 978-5-16-006845-9 (ИНФРА-М. print); ISBN 978-5-16-102030-2 (ИНФРА-М. online). - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/916218> (дата обращения: 11.03.2020). - Режим доступа: по подписке.

*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.04.01 Математическое моделирование загрязнения  
атмосферы*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 05.03.04 - Гидрометеорология

Профиль подготовки: Информационная метеорология: анализ и прогноз опасных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.