

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

А.Л. Толстик

« 2 » \_\_\_\_\_ 2016

Регистрационный № УД-3683 /уч.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ФИЗИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 08 Компьютерная физика**

Минск 2016

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 08-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 № 88; учебных планов №G31-144/уч., №G31и-178/уч.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

**О.Г.Романов** – заведующий кафедрой компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**А.Н.Красовский** — доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 17 от 30 мая 2016 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 6 от 31 мая 2016 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа курса «Вычислительные методы в физике сплошных сред» разработана для специальности 1-31 04 08 «Компьютерная физика», специализации 1-31 04 08 03 «Компьютерное моделирование физических процессов». Настоящая программа является оригинальной и разработана с учетом соответствующих требований образовательного стандарта РБ ОСВО 1-31 04 08-2013 к квалификации выпускника-специалиста «Физик. Программист».

Курс лекций предполагает знание студентами основ программирования и математического моделирования, охватывает основные вопросы физика атмосферы, гидродинамики, теплофизики, рассматривает основные численные методы применяемые при решении задач в данных областях.

Целью учебной дисциплины «Вычислительные методы в физике сплошных сред» является развитие компетенций студентов в овладении основными методами численного моделирования физических процессов в сплошных средах. Программа согласована с другими дисциплинами специальности, курс лекций является неотъемлемой частью общего плана специализации «Компьютерное моделирование физических процессов» и является развитием дисциплины «Численные методы».

*Задачи учебной дисциплины* – дать основные сведения о метеорологических и гидрологических явлениях, на конкретных примерах научить студентов применять знания, полученные в процессе изучения общефизических курсов, к физическому и математическому моделированию процессов в атмосфере и гидросфере. Показать взаимосвязь физических процессов различного пространственного и временного масштаба, в частности, роль микрофизических процессов в глобальной циркуляции атмосферы.

Дисциплина закладывает основные знания и умения, которыми должны владеть студенты для проведения вычислительного эксперимента в области физики сплошных сред, анализа и интерпретации его данных.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

**знать:**

- физическую природу метеорологических и гидрологических явлений и процессов;
- основные процессы, приводящие к движению сплошных сред и физические и математические модели, применяемые для исследования этих процессов;
- взаимодействие действующих сил в атмосфере и преобразование энергии в циркуляционных ячейках различного масштаба;

**уметь:**

- выявлять обратимые и необратимые процессы в сплошной среде, их взаимодействия;
- разрабатывать физико-математические и численные модели, описывающие типичные атмосферные явления;
- применять основные программные продукты по моделированию атмосферных процессов для анализа и прогнозирования в различных временных масштабах;

**владеть:**

- навыками применения различных форм уравнений движения для математического моделирования процессов в сплошных средах;
- навыками построения численных схем для решения уравнений движения сплошных сред.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

– *Академические компетенции:*

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

*Социально-личностные компетенции:*

- СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.
- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

*Профессиональные компетенции:*

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, методов измерения физических величин, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы, средств автоматизации, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, государственного регулирования экономики и экономической политики.
- ПК-2. Владеть современными методами программирования, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного проектирования.
- ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.
- ПК-7. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационно-образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов.
- ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.
- ПК-9. Реализовывать методы защиты производственного персонала и

населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

С целью выработки навыков проведения вычислительного физического эксперимента, корректного анализа и надежной интерпретации его данных в рамках освоения содержания дисциплины «Вычислительные методы в физике сплошных сред» предусмотрено выполнение студентами лабораторных работ в рамках лаборатории специализации.

Общее количество часов – 160 (4,5 зачетные единицы); количество аудиторных часов – 68, из них: лекции – 54, управляемая самостоятельная работа – 14. Форма отчетности – экзамен в 8 семестре.

Текущий контроль знаний при выполнении управляемой самостоятельной работы (УСР) осуществляется в форме устного опроса, письменной контрольной. Система оценивания – рейтинговая.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

**1. Основные положения и закономерности динамики сплошных сред.** Жидкость и газ в состоянии равновесия. Распределение давления и плотности. Метод Лагранжа и метод Эйлера. Закон Паскаля. Жидкость в поле силы тяжести. Стационарное течение жидкости. Уравнение Эйлера. Уравнение Бернулли и его следствия. Уравнение Эйлера и Бернулли для сжимаемой жидкости.

### **2. Уравнение неразрывности**

Переменные Лагранжа. Переменные Эйлера. Переход от переменных Лагранжа к переменным Эйлера и обратно. Поле скоростей. Уравнение неразрывности в переменных Лагранжа. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера. Уравнения неразрывности в цилиндрических, сферических и криволинейных координатах.

### **3. Кинематическая характеристика безвихревого и вихревого движений**

Потенциал скорости. Безвихревое движение. Вихревое поле и его свойства.

### **4. Основные уравнения динамики идеальной жидкости**

Силы массовые и поверхностные. Общие уравнения движения идеальной жидкости. Уравнения движения в форме Эйлера, Ламба, Лагранжа. Случай несжимаемой жидкости. Случай сжимаемой жидкости. Баротропность и бароклинность. Уравнение притока энергии. Начальные и граничные условия. Уравнение энергии.

### **5. Простейшие случаи движения идеальной жидкости**

Установившееся движение. Безвихревое движение. Формула Торричелли. Функция тока. Связь функции тока с потенциалом скорости.

### **6. Вихревые движения идеальной жидкости**

Основные уравнения теории вихрей и теоремы Гельмгольца о сохранении вихрей. Образование вихрей. Теорема Бьеркнеса. Примеры образования вихрей.

Определение поля скоростей по заданному полю вихрей и полю расхождения скорости. Вихревые цепочки Кармана.

### **7. Волновые движения идеальной жидкости**

Основные уравнения теории волн. Волновые при конечной глубине жидкости. Волны на поверхности раздела двух жидкостей. Волны в сжимаемой жидкости. Обтекание воздухом горного хребта. Корабельные волны. Колебания жидкости в прямоугольном сосуде и в круговом цилиндре. Длинные волны. Основные уравнения. Теория приливов. Волны во вращающейся атмосферной оболочке. Длинные волны конечной амплитуды. Волны на мелкой воде. Разрушение плотины. Обтекание препятствия тяжелой сжимаемой жидкостью.

### **8. Уравнения движения несжимаемой жидкости в декартовой системе координат**

Уравнения движения для физических переменных. Уравнения переноса вихря и уравнение для функции тока в случае плоских движений. Консервативная форма уравнений. Уравнения в безразмерных переменных. Одномерные модельные уравнения переноса.

### **9. Уравнения движения сжимаемой жидкости в декартовой системе координат**

Основные трудности. Традиционная форма уравнений. Консервативная форма уравнений. Дополнительные соотношения. Безразмерный вид консервативных уравнений. Физические и математические особенности, связанные с наличием ударных волн.

**10. Конвективный и турбулентный перенос.** Гидравлический уклон при различных видах движения жидкости. Число Рейнольдса. Формула Дарси. Расчетная модель турбулентного потока Формула Шези. Понятие о гидравлическом расчете. Виды подобия в гидродинамике. Физическое и математическое моделирование.

### **11. Элементы теории турбулентности**

**12. Режим движения атмосферы.** Баланс сил в общем случае. Сила Кориолиса. Уравнение погоды. Циклоны и антициклоны. Классификация и свойства. Последовательность погоды. Погода фронтов.

**13. Термодинамика атмосферы.** Первое начало термодинамики применительно к атмосфере. Уравнения Пуассона. Устойчивость. Потенциальная температура. Термодинамические графики. Устойчивость слоя.

**14. Радиационные процессы в атмосфере.** Солнце и солнечная постоянная. Ослабление солнечной радиации в атмосфере. Альbedo. Излучение земной поверхности. Парниковый эффект. Радиационный баланс.

**15. Обмен энергией между водоемом и атмосферой.** Термодинамические свойства воды. Механизм испарения, конденсации, возгонки и сублимации с точки зрения термодинамики и молекулярно-кинетической теории. Особенности энергообмена на границе вода – атмосфера. Испарение. Турбулентный теплообмен на границе поверхности. Уравнение Навье – Стокса в приближении Буссинеска. Конвективный теплоперенос в поверхностном слое водоема и его роль в установлении гидрологического режима. Виды конвективных ячеек.

**16. Глобальная циркуляция.** Масштабы метеорологических явлений. Ячейки циркуляции. Стационарные фронты. Циркуляция стратосферы. Струйные течения. Полярный вихрь.

**17. Погода и климат.** Синоптическая и климатическая карты. Методы изучения климатов. Вековые климаты. Факторы, влияющие на климат. Международные соглашения в области контроля атмосферных процессов. Проблемы экологии атмосферы.

**18. Численные методы расчета движений несжимаемой жидкости**

Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнений переноса вихря и уравнения для функции тока. Критерии сходимости и начальные условия. Расчет давления. Расчет температуры и концентрации. Методы решения уравнений для простейших физических переменных. Трехмерные течения.

**19. Схемы расчета движений сжимаемой жидкости**

Методы расчета течений без ударных волн и методы с выделением ударных волн. Методы численного расчета ударных волн. Размазывание скачков при помощи искусственной диссипации. Схемы с явной искусственной вязкостью (схемы фон Неймана-Рихтмайера, Ландсхофа и Лонгли, Русанова). Схемы с неявной искусственной вязкостью (схемы с разностями против потока, метод частиц в ячейках и метод жидкости в ячейках, схема Лакса, схемы Лакса-Вендроффа). Вязкость в уравнениях течения сжимаемой жидкости. Граничные условия для течений сжимаемой жидкости.

**20. Элементы газовой динамики**

Математическая модель газовой динамики. Уравнения газовой динамики в интегральной и дифференциальной формах. Гиперболичность системы одномерных нестационарных уравнений газовой динамики. Разрывные решения. Структура фронта ударной волны. Распад произвольного разрыва.

**21. Принципы построения разностных схем газовой динамики**

Основные понятия теории разностных схем. Анализ частных схем газовой динамики. Понятие консервативности схемы. Полностью консервативные разностные схемы. Понятие устойчивости разностной схемы. Устойчивость разностных схем для уравнения переноса. Влияние вязкости на устойчивость разностных схем. Реализация разностных схем газовой динамики. Явные методы. Метод Ньютона. Метод прогонки. Применение метода Ньютона к решению разностных уравнений газовой динамики. Метод отдельных прогонок. Полностью консервативные разностные схемы для двумерных уравнений газовой динамики. Уравнения движения в лагранжевых переменных. Полностью консервативная разностная схема для двумерных задач газовой динамики

**22. Разностные схемы магнитной гидродинамики**

Основные уравнения. Уравнение одномерного нестационарного магнитодинамического течения. Полностью консервативные разностные схемы для уравнений магнитной гидродинамики. Решение разностных уравнений электромагнитного поля. Примеры постановки и решения некоторых задач магнитной гидродинамики.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия				
1	<b>Основные положения и закономерности динамики сплошных сред.</b> Жидкость и газ в состоянии равновесия. Распределение давления и плотности. Метод Лагранжа и метод Эйлера. Закон Паскаля. Жидкость в поле силы тяжести. Стационарное течение жидкости. Уравнение Эйлера. Уравнение Бернулли и его следствия. Уравнение Эйлера и Бернулли для сжимаемой жидкости.	4			РРТ	1, 2	yo
2	<b>Уравнение неразрывности.</b> Переменные Лагранжа. Переменные Эйлера. Переход от переменных Лагранжа к переменным Эйлера и обратно. Поле скоростей. Уравнение неразрывности в переменных Лагранжа. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера. Уравнения неразрывности в цилиндрических, сферических и криволинейных координатах.	2			РРТ	1, 2	yo
3	<b>Кинематическая характеристика безвихревого и вихревого движений.</b> Потенциал скорости. Безвихревое движение. Вихревое поле и его свойства.	2			РРТ	1, 2	yo
4	<b>Основные уравнения динамики идеальной жидкости.</b> Силы массовые и поверхностные. Общие уравнения движения идеальной жидкости. Уравнения движения в форме Эйлера, Лагранжа. Случай несжимаемой жидкости. Случай сжимаемой жидкости. Баротропность и бароклинность. Уравнение притока энергии. Начальные и граничные условия. Уравнение энергии.	2		2	РРТ	1, 2	yo
5	<b>Простейшие случаи движения идеальной жидкости.</b> Установившееся движение. Безвихревое движение. Формула Торричелли. Функция тока. Связь функции тока с потенциалом скорости.	2			РРТ	1, 2	yo
6	<b>Вихревые движения идеальной жидкости.</b> Основные уравнения теории вихрей и теоремы Гельмгольца о сохранении вихрей. Образование вихрей. Теорема Бьеркнеса. Примеры образования вихрей. Определение поля скоростей по заданному полю вихрей и полю расхождения скорости. Вихревые цепочки Кармана.	2			РРТ	1, 2	yo
7	<b>Волновые движения идеальной жидкости.</b> Основные уравнения теории волн. Волновые при конечной глубине жидкости. Волны на поверхности раздела двух жидкостей. Волны в сжимаемой жидкости. Обтекание воздухом горного хребта. Корабельные волны. Колебания жидкости в прямоугольном сосуде и в круговом цилиндре. Длинные волны. Основные уравнения. Теория приливов. Волны во вращающейся атмосферной оболочке. Длинные волны конечной амплитуды. Волны на мелкой воде. Разрушение плотины. Обтекание препятствия тяжелой сжимаемой жидкостью.	4		2	РРТ	1, 2	yo



Номер раздела, темы	Название раздела, темы, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия				
8	<b>Уравнения движения несжимаемой жидкости в декартовой системе координат.</b> Уравнения движения для физических переменных. Уравнения переноса вихря и уравнение для функции тока в случае плоских движений. Консервативная форма уравнений. Уравнения в безразмерных переменных. Одномерные модельные уравнения переноса.	2			РРТ	1, 7	yo
9	<b>Уравнения движения сжимаемой жидкости в декартовой системе координат.</b> Основные трудности. Традиционная форма уравнений. Консервативная форма уравнений. Дополнительные соотношения. Безразмерный вид консервативных уравнений. Физические и математические особенности, связанные с наличием ударных волн.	2			РРТ	1, 7	yo
10	<b>Конвективный и турбулентный перенос.</b> Гидравлический уклон при различных видах движения жидкости. Число Рейнольдса. Формула Дарси. Расчетная модель турбулентного потока Формула Шези. Понятие о гидравлическом расчете. Виды подобия в гидродинамике.	2			РРТ	1, 2	yo
11	<b>Элементы теории турбулентности</b>	2			РРТ	3д	yo
12	<b>Режим движения атмосферы.</b> Баланс сил в общем случае. Сила Кориолиса. Уравнение погоды. Циклоны и антициклоны. Классификация и свойства. Последовательность погоды. Погода фронтов.	2			РРТ	3-5	yo
13	<b>Термодинамика атмосферы.</b> Первое начало термодинамики применительно к атмосфере. Уравнения Пуассона. Устойчивость. Потенциальная температура. Устойчивость слоя.	2			РРТ	3, 1д	yo
14	<b>Радиационные процессы в атмосфере.</b> Солнце и солнечная постоянная. Ослабление солнечной радиации в атмосфере. Альbedo. Излучение земной поверхности. Парниковый эффект. Радиационный баланс.	2			РРТ	3, 6	yo
15	<b>Обмен энергией между водоемом и атмосферой.</b> Термодинамические свойства воды. Механизм испарения, конденсации, возгонки и сублимации с точки зрения термодинамики и молекулярно-кинетической теории. Особенности энергообмена на границе вода – атмосфера. Испарение. Турбулентный теплообмен на границе поверхности. Уравнение Навье – Стокса в приближении Буссинеска. Конвективный тепломассоперенос в поверхностном слое водоема и его роль в установлении гидрологического режима. Виды конвективных ячеек.	4		2	РРТ	3-6	yo
16	<b>Глобальная циркуляция.</b> Масштабы метеорологических явлений. Ячейки циркуляции. Стационарные фронты. Циркуляция стратосферы. Струйные течения. Полярный вихрь.	2		2	РРТ	3-5, 9, 1д	yo
17	<b>Погода и климат.</b> Синоптическая и климатическая карты. Методы изучения климатов. Вековые климаты. Факторы, влияющие на климат. Международные соглашения в области контроля атмосферных процессов. Проблемы экологии атмосферы.	2			РРТ	3-5, 2д	yo

Номер раздела, темы	Название раздела, темы, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия				
18	<b>Численные методы расчета движений несжимаемой жидкости.</b> Методы решения уравнения переноса вихря. Методы решения уравнений для функции тока. Граничные условия для уравнений переноса вихря и уравнения для функции тока. Критерии сходимости и начальные условия. Расчет давления. Расчет температуры и концентрации. Методы решения уравнений для простейших физических переменных. Трехмерные течения.	4		2	РРТ	7, 8	уо
19	<b>Схемы расчета движений сжимаемой жидкости.</b> Методы расчета течений без ударных волн и методы с выделением ударных волн. Методы численного расчета ударных волн. Размазывание скачков при помощи искусственной диссипации. Схемы с явной искусственной вязкостью. Схемы с неявной искусственной вязкостью (схемы с разностями против потока, метод частиц в ячейках и метод жидкости в ячейках, схема Лакса, схемы Лакса-Вендроффа). Вязкость в уравнениях течения сжимаемой жидкости. Граничные условия для течений сжимаемой жидкости.	4		2	РРТ	7, 8	к
20	<b>Элементы газовой динамики.</b> Математическая модель газовой динамики. Уравнения газовой динамики в интегральной и дифференциальной формах. Гиперболичность системы одномерных нестационарных уравнений газовой динамики. Разрывные решения. Структура фронта ударной волны. Распад произвольного разрыва.	4			РРТ	7, 5д	уо
21	<b>Принципы построения разностных схем газовой динамики.</b> Основные понятия теории разностных схем. Анализ частных схем газовой динамики. Понятие консервативности схемы. Полностью консервативные разностные схемы. Понятие устойчивости разностной схемы. Устойчивость разностных схем для уравнения переноса. Влияние вязкости на устойчивость разностных схем. Реализация разностных схем газовой динамики. Метод раздельных прогонок. Полностью консервативные разностные схемы для двумерных уравнений газовой динамики. Уравнения движения в лагранжевых переменных. Полностью консервативная разностная схема для двумерных задач газовой динамики.	4		2	РРТ	7, 5д	к
22	<b>Разностные схемы магнитной гидродинамики.</b> Основные уравнения. Уравнение одномерного нестационарного магнитодинамического течения. Полностью консервативные разностные схемы для уравнений магнитной гидродинамики. Решение разностных уравнений электромагнитного поля. Примеры постановки и решения некоторых задач магнитной гидродинамики.	2			РРТ	7, 8	уо
	<b>Всего</b>	<b>58</b>		<b>14</b>			<b>экзамен</b>

Условные обозначения: РРТ – презентация MS PowerPoint; уо – устный опрос; к – контрольная работа.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Рекомендуемая литература

#### *Основная*

1. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика. М.: РХД, 2002.
2. Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. Теоретическая гидромеханика. М.: Физмат. лит., 1963.
3. Л.С.Гандин, Д.Л.Лайхтман, Л.Т.Матвеев, М.И.Юдин. Основы динамической метеорологии. Гидрометеиздат, Ленинград, 1984. – 642с.
4. Л.Т. Матвеев. Курс общей метеорологии. Гидрометеиздат, Ленинград, 1984
5. С.П.Хромов, М.А.Петросянц. Метеорология и климатология. 2006.
6. К.Я. Кондратьев. Перенос длинноволнового излучения в атмосфере. Москва, 1950
7. П.Роуч. Вычислительная гидродинамика. М.:Мир, 1972.
8. Р.Рихтмайер, К.Мортон. Разностные методы решения краевых задач. М.:Мир, 1972.Г.И.Марчук. Численное решение задач динамики атмосферы и океана, 1974.
9. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982.

#### *Дополнительная*

1. Э.Н.Лоренц. Природа и теория общей циркуляции атмосферы, 1972.
2. К.Я.Кондратьев. Глобальный климат, 1978.
3. Обухов, А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. / А.М. Обухов — Л.: Гидрометеиздат, 1984.
4. Р.Темам, А.Миранвиль. Математическое моделирование в механике сплошных сред. М.:Бином, 2013.
5. С. К. Годунов, А. В. Забродин, М. Я. Иванов, А. Н. Крайко, Г. П. Прокопов. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.
6. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача. / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. М.: Едиториал УРСС, 2003. - 784с.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Устный опрос.
2. Контрольная работа.
3. Устный экзамен.

### **Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине**

#### *Рекомендуемые темы для устного опроса*

1. Режим движения атмосферы

2. Радиационные процессы в атмосфере
3. Глобальная циркуляция атмосферы
4. Волновые движения жидкости

*Рекомендуемые темы контрольной работы*

1. Численные методы расчета движений несжимаемой жидкости.
2. Численные методы расчета движений сжимаемой жидкости.

**Рекомендации по контролю качества усвоения знаний  
и проведению аттестации**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устный опрос, письменные контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Контрольные работы проводятся в письменной форме. По согласованию с преподавателем при подготовке решения задач разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка контрольных работ проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждую из письменных работ.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена.



ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
физической информатики и атомно-молекулярной физики  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ г.)

Заведующий кафедрой  
компьютерного моделирования  
к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ О.Г. Романов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета БГУ  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.М. Анищик