

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Семинар по физико-математическим проблемам безопасного развития атомной энергетики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем безопасного развития современных энергетических технологий
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет  
2 (весенний) - Зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.  
семинары: 60 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: П.С. Кондратенко, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем безопасного развития современных энергетических технологий 04.06.2020

## Аннотация

Рассматриваются методы и различные аспекты анализа и обоснования безопасности АЭС и других объектов использования атомной энергии. Дается представление о барьерах безопасности, о концепции эшелонированной защиты. Рассмотрены различные режимы работы АЭС – нормальная эксплуатация, проектные, запроектные аварии, тяжёлые аварии, рассмотрены методы анализа разных аварийных сценариев с применением расчётных кодов.

Значительное внимание уделено теоретическому и расчётному исследованию наиболее опасных процессов, возникающих при авариях на АЭС. К таким процессам относятся: осушение и перегрев активной зоны, образование большого количества водорода и возможность горения и взрыва водородопаровоздушных смесей; плавление элементов активной зоны, выход продуктов деления в окружающую среду, перенос в атмосфере, в водных объектах, выпадение на поверхность, облучение людей. Подробно рассматриваются расчётные коды для моделирования этих явлений. Рассматриваются также отдельные элементы глубокоэшелонированной защиты - такие, как защитные оболочки АЭС.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний по физике процессов, происходящих при тяжёлых авариях на АЭС с ВВЭР;
- получение навыков использования программных комплексов НОСТРАДАМУС и НЕПТУН.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области химической кинетики, физики и химии горения газовых смесей;
- приобретение студентами навыков качественного анализа процессов, протекающих при тяжёлых авариях на АЭС;
- изучение основных физических процессов при выбросе радиоактивных веществ в атмосферу, их миграции, дозовых нагрузок на человеческий организм и мерах по уменьшению вреда.
- моделирование и прогноз распространения загрязнения в водной среде.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач 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-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	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
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения

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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ специфические особенности физических и физико-химических процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- ☐ современные стратегии предотвращения неблагоприятных сценариев при тяжелых авариях на АЭС;
- ☐ методы оценки концентраций загрязнителей и их воздействия на человека;
- ☐ физические аспекты процессов горения и детонации газовых смесей;
- ☐ основные особенности и специфику задач, связанных с экологической обстановкой вокруг предприятий энергетической отрасли с гипотетическим радиационным фактором риска.

уметь:

- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов по проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- использовать существующие методы расчетов миграции радионуклидов в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население при выбросах и сбросах радионуклидов;
- оценивать последствия аварийных ситуаций на основе результатов моделирования;
- осваивать новые предметные области и теоретические подходы применительно к проблеме безопасности атомной энергетики.

владеть:

- методами численного моделирования теплогидравлических, тепловых и тяжелоаварийных задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, относящихся к проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- умением разрабатывать оптимальные варианты использования радиационных технологий с точки зрения экологического состояния окружающей среды;
- способами оценки ущерба и пользы применения радиационных технологий;
- методами исследования гидродинамических течений реагирующих газов.

### 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	Безопасность атомной энергетики и основные принципы обеспечения безопасности		10		5
2	Защитные оболочки АЭС		10		5

3	Аварии на АЭС ВВЭР		10		5
4	Физические процессы при тяжелой аварии		16		5
5	Система НОСТРАДАМУС		8		5
6	Модели распространения загрязнений в морской среде		6		5
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

#### 1. Безопасность атомной энергетики и основные принципы обеспечения безопасности

Обоснование безопасности работы атомных станций при различных режимах работы  
 Проектные и запроектные аварии  
 Коды для моделирования реакторных установок  
 Концепция глубокоэшелонированной защиты  
 Барьеры безопасности: оболочка, первый контур, шахта, противоаварийная оболочка

#### 2. Защитные оболочки АЭС

Общее представление об АЭС, оборудование, системы безопасности, требования к системам удержания и локализации последствий аварий.  
 Общие сведения о защитных оболочках АЭС.  
 Нагрузки и воздействия на защитные оболочки АЭС  
 Факторы, вызывающие снижение предварительного напряжения защитных оболочек АЭС.  
 Экспериментальные исследования защитных оболочек АЭС

#### 3. Аварии на АЭС ВВЭР

Феноменология аварийных процессов, типы аварий  
 Управление авариями, предотвращение аварий, ослабление последствий  
 Разрушение активной зоны при тяжелой аварии на АЭС  
 Разрушение днища корпуса реактора при тяжелой аварии на АЭС  
 Взаимодействие расплава с бетоном  
 Выход продуктов деления при тяжелой аварии на АЭС

##### Семестр: 2 (Весенний)

#### 4. Физические процессы при тяжелой аварии

Образование водорода и кинетика окисления водорода.  
 Адиабата Пуассона.  
 Особенности реакции горения. Медленное горение.  
 Ударные волны.  
 Основные соотношения и законы сохранения. Ударная адиабата и ударная волна в реагирующем газе. Зона горения.  
 Структура детонационной волны. Направление изменения величин в зоне горения  
 Режимы детонации. Распространение детонационной волны. Неустойчивость детонационного фронта.

Концентрационные пределы детонации и скорость распространения детонации на пределе  
Детонация в двухфазных средах. Взаимодействие с капельной взвесью. Теплообмен, трение  
Условия подавления детонации в присутствии капельной взвеси.

## 5. Система НОСТРАДАМУС

Практическое использование системы. Аварийное реагирование.

Чернобыльский след. Рязанская ГРЭС.

Практикум по работе с пакетом в кризисном центре.

Расчет и анализ варианта выброса.

## 6. Модели распространения загрязнений в морской среде

Модели.

Программный комплекс НЕПТУН.

Демонстрация работы программного комплекса НЕПТУН.

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

Необходимое оборудование для всех занятий: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Необходимое программное обеспечение: офисный пакет OpenOffice для презентаций.

Обеспечение самостоятельной работы – доступ в Интернет, базы данных по научным журналам.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теория детонации [Текст] / Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеев - М.Гостехиздат,1955
2. Труды ИБРАЭ [Текст] : Вып. 9 : Моделирование распространения радионуклидов в окружающей среде / науч. ред. Р. В. Арутюнян, [сб. статей]/Рос. акад. наук, Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики , -М., Наука, 2008
3. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Васильев А.Д., Стрижов В.Ф. Физические модели тяжелых аварий на АЭС. Москва, Наука, 264 с. 1992.
4. Арутюнян Р.В. и др. Компьютерная система "Нострадамус" для поддержки принятия решений при аварийных выбросах на радиационно опасных объектах.Известия Академии наук, сер.Энергетика,N4, 1995г стр.19-31.

### Дополнительная литература

1. Эдье Б., Горение, пламя и взрывы в газах. / Эдье Б., Льюис Г. // М.: Мир, 1968.
2. Общие положения безопасности АЭС. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения //Безопасность в атомной энергетике: Нормативно-технический документ 38.220.56-84.М.: Энергоатомиздат, 1984,т.1, ч.1, 52 с.
3. Васильев А.Д., Кобелев Г.В. Результаты разработки численного модуля для расчета теплообмена излучением между структурами АЗ и ВКУ реактора при тяжелой аварии на АЭС (модуль МРАД) / Препринт ИБРАЭ 2003-09, ИБРАЭ РАН, Москва, 2003, 56 с.

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

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

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как OpenOffice, Mathcad, Scilab и др.

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

Студент, изучающий данный курс, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике для решения практических задач.

Поскольку в ходе занятий проводится обсуждение современных актуальных проблем физики и энергетики, не в полной мере отраженных в существующих учебниках и учебных пособиях, посещение занятий является необходимым условием для успешного усвоения материала.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к практическим занятиям, зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций. С целью углубленного изучения тех или иных разделов курса студентам могут быть предложены специальные темы для самостоятельной работы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем безопасного развития современных энергетических технологий
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Зачет

**Разработчик:** П.С. Кондратенко, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач 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-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	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
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Семинар по физико-математическим проблемам безопасного развития атомной энергетики» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ специфические особенности физических и физико-химических процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- ☐ современные стратегии предотвращения неблагоприятных сценариев при тяжелых авариях на АЭС;
- ☐ методы оценки концентраций загрязнителей и их воздействия на человека;
- ☐ физические аспекты процессов горения и детонации газовых смесей;
- ☐ основные особенности и специфику задач, связанных с экологической обстановкой вокруг предприятий энергетической отрасли с гипотетическим радиационным фактором риска.

### уметь:



- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов по проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- использовать существующие методы расчетов миграции радионуклидов в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население при выбросах и сбросах радионуклидов;
- оценивать последствия аварийных ситуаций на основе результатов моделирования;
- осваивать новые предметные области и теоретические подходы применительно к проблеме безопасности атомной энергетики.

**владеть:**

- методами численного моделирования теплогидравлических, тепловых и тяжелоаварийных задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, относящихся к проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- умением разрабатывать оптимальные варианты использования радиационных технологий с точки зрения экологического состояния окружающей среды;
- способами оценки ущерба и пользы применения радиационных технологий;
- методами исследования гидродинамических течений реагирующих газов.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Аттестация проводится в устной форме:

Зимняя сессия, простой зачет.

Студенту предлагаются два вопроса из списка:

1. Обоснование безопасности работы атомных станций при различных режимах работы
2. Проектные и запроектные аварии
3. Коды для моделирования реакторных установок
4. Концепция глубокоэшелонированной защиты
5. Барьеры безопасности: оболочка, первый контур, шахта, противоаварийная оболочка
6. Общее представление об АЭС, оборудование, системы безопасности, требования к системам удержания и локализации последствий аварий
7. Общие сведения о защитных оболочках АЭС
8. Нагрузки и воздействия на защитные оболочки АЭС
9. Факторы, вызывающие снижение предварительного напряжения защитных оболочек АЭС
10. Экспериментальные исследования защитных оболочек АЭС
11. Феноменология аварийных процессов, типы аварий
12. Управление авариями, предотвращение аварий, ослабление последствий
13. Разрушение активной зоны при тяжелой аварии на АЭС
14. Разрушение днища корпуса реактора при тяжелой аварии на АЭС
15. Взаимодействие расплава с бетоном
16. Выход продуктов деления при тяжелой аварии на АЭС

Пример зачетного билета:

1. Проектные и запроектные аварии
2. Взаимодействие расплава с бетоном

Летняя сессия, простой зачет.

Студенту предлагаются два вопроса из списка:

1. Образование водорода и кинетика окисления водорода
2. Адиабата Пуассона
3. Особенности реакции горения. Медленное горение

4. Ударные волны
5. Основные соотношения и законы сохранения
6. Ударная адиабата и ударная волна в реагирующем газе
7. Зона горения
8. Структура детонационной волны. Направление изменения величин в зоне горения
9. Режимы детонации. Распространение детонационной волны
10. Неустойчивость детонационного фронта
11. Концентрационные пределы детонации и скорость распространения детонации на пределе
12. Детонация в двухфазных средах. Взаимодействие с капельной взвесью
13. Теплообмен, трение
14. Условия подавления детонации в присутствии капельной взвеси
15. Практическое использование системы НОСТРАДАМУС
16. Аварийное реагирование
17. Чернобыльский след. Рязанская ГРЭС
18. Расчет и анализ варианта выброса в системе НОСТРАДАМУС
19. Модели распространения загрязнений в морской среде
20. Программный комплекс НЕПТУН
21. Расчет распространения загрязнения в системе НЕПТУН

Пример зачетного билета:

1. Адиабата Пуассона.
2. Чернобыльский след. Рязанская ГРЭС.

Критерии оценивания

"Зачтено" ставится если студент ответил на оба вопроса, пусть неполно, с недочетами и оговорками, - т.е. проявил понимание темы. Иначе ставится " не зачтено".

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

Студент получает два вопроса, и готовится не менее 30 минут. При этом он может пользоваться программой курса, конспектом лекций и справочной литературой. Опрос студента не превышает 30 минут.