

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

## ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерный практикум / Computer Workshop

---

*название дисциплины*

для студентов направления подготовки

**14.03.01 "Ядерная энергетика и теплофизика"**

---

Наименование специализации/ программы  
**"Nuclear technologies"**

---

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2023 г.

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ОП обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Результаты освоения ООП Содержание компетенций*	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
ПСК-1.12	Способность применять на практике принципы организации эксплуатации АС, а также понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков при нормальной эксплуатации, при ее нарушениях, при ремонте и перегрузках	Знать: режимы нормальной эксплуатации, режимы с нарушениями нормальной эксплуатации Уметь: моделировать режимы с заданными теплофизическими и гидродинамическими характеристиками Владеть: программными средствами для моделирования и симуляции различных режимов эксплуатации
ПСК-1.13	Способность понимать причины накладываемых на режимы ограничений, связанных с требованиями по безопасности и особенностями конструкций основного оборудования и возможностями технологических схем АС	Знать: особенности эксплуатации энергоблока АЭС при отклонениях от нормальной эксплуатации Уметь: моделировать допустимые состояния и режимы работы с точки зрения теплофизики и гидродинамики Владеть: расчетными методиками определения теплофизических, гидродинамических и физико-химических характеристик при НЭ и ННЭ
ПСК-1.14	Способность выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на понятийном тренажере	Знать: основные теплофизические и гидродинамические методики расчетов, используемые в функционально-аналитическом тренажёра реактора типа ВВЭР Уметь: объяснять физические принципы простейших типовых операций, характерных при управлении энергоблоком АЭС Владеть: приёмами расчетных методик определения теплофизических, гидродинамических и физико-химических характеристик

Коды компетенций	Результаты освоения ООП Содержание компетенций*	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
ПСК-1.15	Готовность применять принципы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока в целом при различных режимах работы АС с соблюдением требований безопасности	Знать: эксплуатационные стационарные состояния и режимы работы энергоблока АЭС Уметь: моделировать простейшие теплофизические и гидродинамические задачи, характерные при управления энергоблоком АЭС. Владеть: основными правилами и приёмами расчетного обоснования безопасной эксплуатации.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина реализуется в рамках базовой части профессионального цикла.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика ядерных реакторов», «Техническая термодинамика», «Механика жидкости и газа», «Ядерные энергетические реакторы», «Парогенераторы и теплообменники», «Гидродинамика и тепломассообмен в энергетическом оборудовании».

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Атомные электростанции, Научно-исследовательская работа, преддипломный практикум.

Дисциплина изучается на 4-ом курсе в 7-ом семестре.

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

Вид работы	Семестр	
	№ 7	Всего
	Количество часов на вид работы	
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>		
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	32	32
В том числе:		

<i>лекции (лекции в интерактивной форме)</i>	-	-
<i>практические занятия (практические занятия в интерактивной форме)</i>	32	32
<b>Промежуточная аттестация</b>		
В том числе:		
<i>зачет</i>	-	-
<i>экзамен</i>	-	-
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>		
<b>Самостоятельная работа обучающихся(всего)</b>	<b>76</b>	<b>76</b>
В том числе:		
<i>Проработка учебного (теоретического) материала: конспекта лекций, учебных пособий, учебников</i>	36	36
<i>Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)</i>	40	40
<b>Всего (часы):</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

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

**4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Общая трудоёмкость всего (в часах)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				
			Очная форма обучения				СРО
			Лек	Сем/Пр	Лаб	Внеауд	
			7 семестр				
1.	Основы CFD подхода	36	-	10	-	-	26
1.1.	Введение в методологию CFD.	3	-	1	-	-	2
1.2.	Численное моделирование, знакомство с ANSYS(STAR CCM+)-I	3	-	1	-	-	2
1.3.	Численное моделирование, знакомство с ANSYS(STAR CCM+)-II.	3	-	1	-	-	2
1.4.	Построение плоской и трехмерной геометрии в ANSYS(STAR CCM+)	8	-	2	-	-	6
1.5.	Построение вычислительной сетки и постановка краевых задач.	9	-	2	-	-	7
1.6.	Анализ результатов расчета Настройки решателя	8	-	2	-	-	6
1.7.	Границы применимости CFD подхода	2	-	1	-	-	1

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Общая трудоёмкость всего (в часах)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				
			Очная форма обучения				СРО
			Лек	Сем/Пр	Лаб	Внеауд	
2.	Моделирование в среде ANSYS(STAR CCM+)	46	-	14	-	-	32
2.1.	Модели турбулентности	12	-	4	-	-	8
2.2.	Моделирование теплообмена	14	-	4	-	-	10
2.3.	Моделирование нестационарных течений	14	-	4	-	-	10
2.4.	Использование функций, заданных пользователем	6	-	2	-	-	4
3.	Моделирование сложных физических процессов	26	-	8	-	-	18
3.1.	Сложные физические модели: многофазные течения	12	-	4	-	-	8
2.1.	Сложные физические модели: движущиеся зоны и модель динамических сеток	14	-	4	-	-	10

*Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная работа, СРО – самостоятельная работа обучающихся*

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

*Лекционный курс/Практические/семинарские занятия*

№	Наименование раздела/темы дисциплины	Содержание
1.	<b>Основы CFD подхода</b>	Введение в методологию CFD. Численное моделирование. Построение сеток. Настройка и изучение решателей ANSYS/STAR CCM+. Анализ границ применимости CFD походов.
2.	<b>Моделирование в среде ANSYS/STAR CCM+</b>	Модели турбулентности. Моделирование теплообмена. Моделирование нестационарных течений. Использование функций, заданных пользователем.
3.	<b>Моделирование сложных физических процессов</b>	Сложные физические модели: многофазные течения, движущиеся зоны и модель динамических сеток

*Лабораторные занятия*

Не предусмотрены.

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Для самостоятельной работы студентам предлагаются не только репродуктивные (выполнение упражнений по образцу, пересказ учебного материала), но и информационно-добывающие (самостоятельная работа с учебными пособиями, аудио и видео материалами, с интернет-ресурсами), проблемно-поисковые (подготовка материалов для презентаций) и творчески-репродуктивные методы работы (подготовка к лабораторным работам). Рекомендуются интернет ресурсы для самостоятельной работы: электронно-библиотечная система <http://elibrary.ru>, электронно-библиотечная система образовательных и просветительских изданий <http://www.IQlib.ru>, электронно-библиотечная система «Издательство Лань» [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com), электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ [www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru).

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### 6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
<b>Текущий контроль, 7 семестр</b>			
1.	Модели турбулентности. Построение сеток. Использование функций, заданных пользователем	Способность использовать и выполнять расчетные методики CFD- класса с применением современных расчетных комплексов, ПСК-1.12, ПСК-1.13	Контрольная работа №1.
2	Модели турбулентности. Моделирование теплообмена. Использование функций, заданных пользователем	Способность использовать и выполнять расчетные методики CFD- класса с применением современных расчетных комплексов, ПСК-1.12, ПСК-1.13	Контрольная работа №1.
<b>Промежуточный контроль, 7 семестр</b>			
	Моделирование нестационарных течений. Зачёт	Способность применять сложные физические модели: многофазные течения, движущиеся зоны и модель динамических сеток ПСК-1.14	По результатам выполнения контрольной работы-зачета
Всего:			

**6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

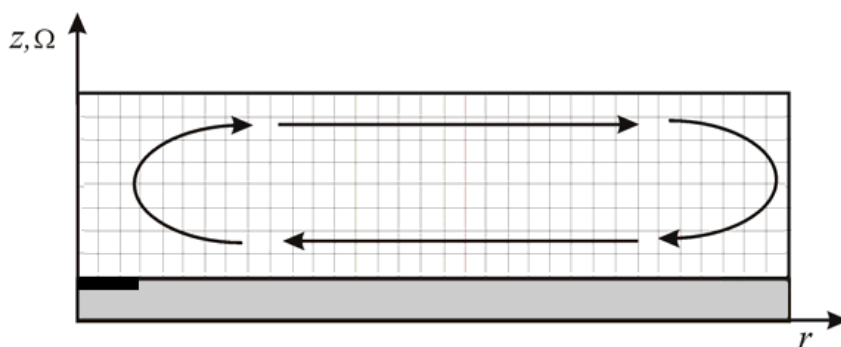
### **6.2.1. Контрольное задание**

#### **1. Контрольная работа №1. Свободная конвекция**

Цель: провести численное исследование конвективных течений в программном комплексе ANSYS, формирующихся вследствие локализованного нагрева в цилиндрическом слое жидкости. Сравнить результаты расчетов для различных режимов течения, сравнить эти результаты с данными, полученными в эксперименте.

Рассматривается цилиндрический слой жидкости. Полагается, что на верхней границе выполняется условие проскальзывания, на боковой стенке и на дне — условие прилипания (схематично исследуемая модель и циркуляция жидкости представлены на рисунке 1)





**Рис. 1.** Схематичное изображение расчетной области и меридиональной циркуляции

В центральной части цилиндра нагревается за счет постоянного теплового потока; область нагрева показана на схеме черным прямоугольником. Отвод тепла осуществляется через свободную верхнюю границу, на которой, кроме проскальзывания, также задается постоянный поток тепла (отрицательный). Количество вводимого в слой тепла задается равным количеству тепла, отводимому с верхней границы.

Граничные условия:

Полагается, что на боковых стенках и дне выполняется условие прилипания

$$U_{wall} = 0,$$

На верхней границе – условие проскальзывания:

$$U_{n,wall} = 0, \quad \tau_w = 0.$$

На верхней границе и в области нагрева также задаются потоки тепла:

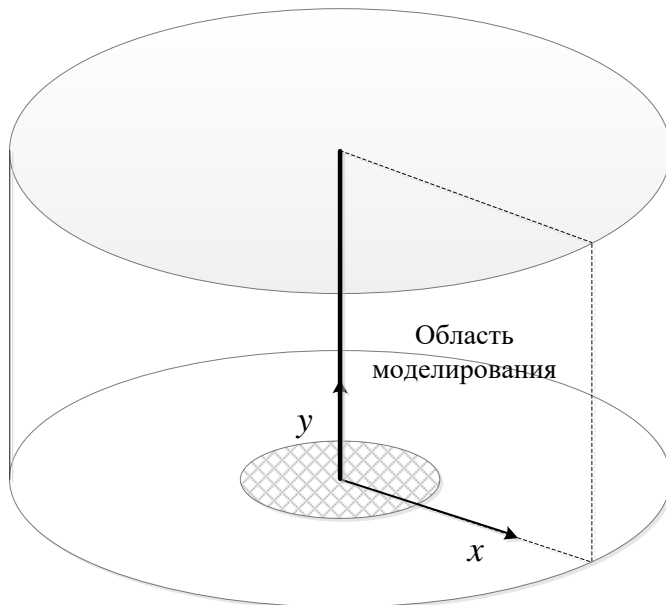
$$q_{surf} = q_1, \quad q_{heat} = q_2$$

Разные варианты задания граничных условий

## 2. Контрольная работа №2. Конвективные течения

Цель: провести расчеты для конвективных течений, формирующихся вследствие стока через центральное отверстие в неподвижном цилиндрическом слое жидкости.

Рассматривается цилиндрический слой жидкости. Полагается, что на боковой стенке и на дне выполняется условие прилипания (схематично исследуемая модель представлена на рисунке 2)



**Рис. 2.** Схематическое изображение расчетной области

Жидкость истекает из цилиндра через донное отверстие в центральной части (заштрихованная область на схеме). Втекает жидкость через свободную верхнюю поверхность, где задается постоянный поток жидкости. Расход втекающей в слой жидкости равен расходу истекающей жидкости.

Граничные условия:

Полагается, что на боковых стенках и дне без стока выполняется условие прилипания

$$U_{wall} = 0, \quad (7)$$

На верхней границе и в области стока задаются значения скорости:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{inlet} = u_{axial} \bar{i} + u_{radial} \bar{j} + u_{swirl} \bar{k} \\ u_{axial} = -u_1 \\ u_{radial} = 0 \\ u_{swirl} = 0 \end{array} \right., \quad \left\{ \begin{array}{l} U_{inlet} = u_{axial} \bar{i} + u_{radial} \bar{j} + u_{swirl} \bar{k} \\ u_{axial} = -u_2 \\ u_{radial} = 0 \\ u_{swirl} = 0 \end{array} \right.$$

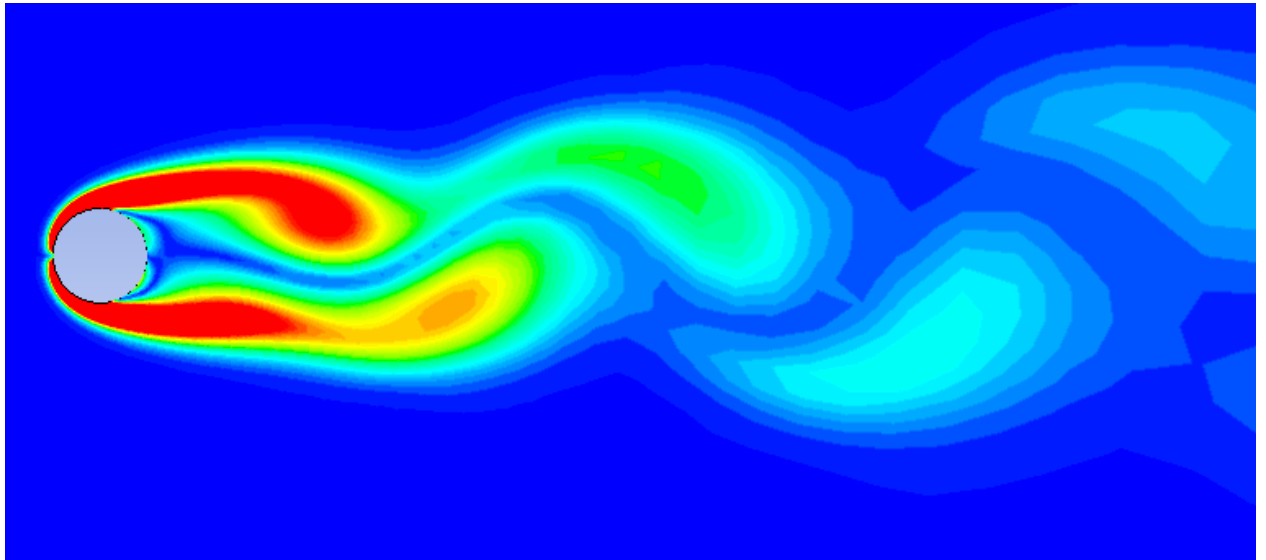
Различные варианты граничных условий

### **Контрольная работа- зачет. Визуализация поперечного обтекание бесконечного цилиндра ламинарным нестационарным потоком газа**

Исходные данные: диаметр цилиндра, скорость газа.

Рассмотреть и проанализировать стационарное и нестационарное решение.

Вариант получения контуров завихрения



Различные варианты геометрии задачи.

### 6.2.2. Критерии и шкала оценивания (контрольные работы)

Оценка	Критерии оценки
Отлично 90-100	<ul style="list-style-type: none"> <li>– материал рассматриваемого вопроса раскрыт полностью;</li> <li>– материал представлен грамотно, в ясной логической последовательности;</li> <li>– точно и профессионально используется терминология;</li> <li>– продемонстрировано умение основные подходы CFD-моделирования;</li> <li>– продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих материалов;</li> <li>– работа подготовлена в отведенное время, с необходимыми пояснениями;</li> <li>– продемонстрировано знание современной учебной и научной литературы;</li> <li>– допущены одна – две неточности, не искажающие сути ответа на рассматриваемые вопросы.</li> </ul>
Хорошо 75-89	<ul style="list-style-type: none"> <li>– материал рассматриваемого вопроса изложен систематизированно и последовательно;</li> <li>– продемонстрировано умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер;</li> <li>– продемонстрировано усвоение основной литературы;</li> <li>– работа удовлетворяет в основном требованиям на оценку «5», но при этом имеет место один из недостатков:</li> <li>– в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание работы;</li> </ul>

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценки</b>
	– допущены один – два недочета при освещении основного материала вопроса
Удовлетворительно 60-74	– неполно или непоследовательно изложено содержание материала рассматриваемого вопроса, но продемонстрировано общее понимание вопросов, продемонстрированы навыки и умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала; – допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии; – выявлены пробелы в знаниях по основным системам и оборудованию АЭС; – продемонстрировано усвоение основной литературы.
Неудовлетворительно Менее 60	– ответ представлен неполно или не по сути рассматриваемого вопроса; – обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала, требуемого при формировании контролируемой компетенции учебного курса; – лекционный материал и материалы основной литературы по курсу не усвоены.

### ***6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций***

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

<b>Вид контроля</b>	<b>Этап рейтинговой системы Оценочное средство</b>	<b>Балл</b>	
		<b>Минимум</b>	<b>Максимум</b>
<b>Текущий</b>	<b>Контрольная точка № 1</b>		
	Контрольная работа № 1	15	25
	<b>Контрольная точка № 2</b>		

	Контрольная работа № 2	15	25
<b>Промежуточный</b>	<b>Зачет</b>		
	Контрольная работа-зачет	30	50
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания:

Процедура оценивания знаний, умений, владений по дисциплине включает учет успешности по всем видам заявленных оценочных средств.

По окончании освоения дисциплины проводится промежуточная аттестация в виде зачета, что позволяет оценить совокупность приобретенных в процессе обучения компетенций. При выставлении итоговой оценки применяется балльно-рейтинговая система оценки результатов обучения.

Зачет предназначен для оценки работы обучающегося в течение всего срока изучения дисциплины и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных обучающимся теоретических знаний и умений приводить примеры практического использования знаний (например, применять их в решении практических задач), приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления.

Оценка сформированности компетенций на зачете для тех обучающихся, которые пропускали занятия и не участвовали в проверке компетенций во время изучения дисциплины, проводится после индивидуального собеседования с преподавателем по пропущенным или не усвоенным обучающимся темам с последующей оценкой самостоятельно усвоенных знаний на зачете.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

ANSYS FLUENT(CFX) tutorial, [www.ansys.com](http://www.ansys.com)

STAR CCM+ tutorial, <https://www.cfd-online.com/>

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины**

Рекомендуемые интернет ресурсы для освоения дисциплины: электронно-библиотечная система <http://elibrary.ru>, электронно-библиотечная система образовательных и просветительских изданий <http://www.IQlib.ru>, электронно-библиотечная система «Издательство Лань» [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com), электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ [www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru).

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Курс «Компьютерный практикум» рассчитан на один семестр –7-ой. В 7-ом семестрах учебным планом предусмотрены лекционно- практические занятия, форма контроля – зачет.

При подготовке к лекционным занятиям студентам следует использовать материалы презентаций, которые должны выдаваться преподавателем на первой неделе текущего семестра. Кроме этого, для каждой темы лекционного курса указана литература, которую могут использовать студенты при подготовке к лекционным аудиторным занятиям. Для более эффективного использования времени, отведенного на лекционные занятия, целесообразно подготовить также конспект лекций. Он может быть как в распечатанном виде, так и в электронной форме. Электронная форма предпочтительнее, т.к. позволяет оперативно вносить изменения в соответствии с новыми материалами, появляющимися у преподавателя.

Дополнительно на кафедре имеются установленные программные средства ANSYS и STAR CCM+. Для контроля освоения лекционного курса предусмотрен текущий контроль в виде контрольных работ.

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

1. Проведение лекционных занятий с использованием мультимедийных презентаций.
2. Просмотр видео материалов.
3. Консультирование посредством электронной почты.
4. Использование интернет-источников и поисковых систем Интернет для поиска примеров, поиска дополнительных к лекционным и лабораторным занятиям материалов.

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

Для более удобного и наглядного представления лекционного материала используется компьютерная презентация по всем темам рабочей программы дисциплины.

## **12. Иные сведения и (или) материалы**

### ***12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине***

Для успешного освоения дисциплины сочетаются традиционные и инновационные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов обучения по ООП. Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе интерактивных форм проведения занятий.

Основными образовательными технологиями, используемыми в обучении по дисциплине «Компьютерный практикум», являются:

- технологии активного и интерактивного обучения – дискуссии, просмотр и

- обсуждение видеофильмов, обсуждение материалов на лекционных занятиях;
- технологии проблемного обучения - задания на практических занятиях и вопросы проблемного характера;
  - технология дифференцированного обучения - обеспечение адресного построения учебного процесса, учет способностей студента к тому или иному роду деятельности.

### ***12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)***

Самостоятельная работа выполняется по темам лекционно-практического курса, изложенным в подразделе 4.2.

### ***12.3. Краткий терминологический словарь***

АЭС – атомная электростанция

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

CFD- computational fluid dynamics(вычислительная гидродинамика)

НЭ- нормальная эксплуатация

ННЭ- нарушение нормальной эксплуатации

Программу составил:

\_\_\_\_\_ Авдеенков А.В., доцент, к. ф.-м. н.

Рецензент:

\_\_\_\_\_ Шелегов А.С., доцент, к. т. н.