

**федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»  
(Университет ИТМО)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
\_\_\_\_\_ В.О. Никифоров  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Компьютерное моделирование процессов криогенных систем**

**Группа научной специальности:** 2.4. Энергетика и электротехника

**Научной специальности:** 2.4.8. Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники

**Форма обучения:** Очная

Санкт-Петербург  
2022 г.

Рабочая программа составлена на основании Требований к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО».

<b>Код и наименование направления подготовки</b>	<b>Реквизиты приказа об утверждении Требований Университета ИТМО</b>
2.4. Энергетика и электротехника	Приказ ректора №325-од от 31.03.2022 Решение Научно-Технического совета №12 от 28.03.2022

Программу разработал: Бараненко А.В., д.т.н.

Программа одобрена на заседании НТС Университета ИТМО протокол №12 от 28.03.2022 года.

**Место дисциплины в структуре учебного плана:**

Блок 2, Образовательный компонент

**Форма обучения:** очная

**Год обучения:** 2

**Семестр:** 3

**Форма аттестации:** экзамен

<b>Вид деятельности</b>	<b>Семестр</b>
	<b>3</b>
Занятий в контактной форме, час.	20
из них лекции, час.	8
из них научно-практических занятий, час.	8
из них промежуточной аттестации (включая консультации), час.	4
Самостоятельная работа, час.	124
Всего часов	144
Всего зачетных единиц	4

## Аннотация к рабочей программе дисциплины «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем»

Дисциплина «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по группе научной специальности «Энергетика и электротехника» по очной форме обучения на русском языке.

### Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры.
2. Планируемые результаты обучения по дисциплине.
3. Структура и содержание дисциплины.
4. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины.
7. Фонды оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации.

#### 1. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем» реализуется в третьем семестре в рамках Образовательного компонента Блока 2. Данная дисциплина создает системное научное знание в профессиональной области обучающегося, формирует знание компьютерного моделирования физических процессов и его ограничений, роли компьютерных технологий в моделировании физических процессов, ограничения и возможности современной вычислительной техники, формирует навыки работы с системами автоматизированного компьютерного моделирования, необходимые для профессиональной деятельности.

#### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Дисциплина «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем» направлена на формирование **компетенции УК-1:** способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, **компетенции УК-3:** готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач, **компетенции УК-5:** способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, **компетенции ОПК-1:** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий, **компетенции ОПК-2:** готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования *в части следующих результатов обучения:*

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
--	--

УК-1	Уметь: У5 (УК-1) проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной Владеть: В1 (УК-1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования;
УК-3	Владеть: В2 (УК-3) технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке
УК-5	Уметь: У1 (УК-5) планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности Владеть: В1 (УК-5) приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач
ОПК-1	Уметь: У2 (ОПК-1) планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований
ОПК-2	Знать: З3 (ОПК-2) тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности

### Способы формирования планируемых результатов обучения

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий		
	Лекции	Научно-практические занятия	Самостоятельная работа
<b>УК-1:</b> способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях			
У5 (УК-1) проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной	+	+	+
В1 (УК-1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования		+	+
<b>УК-3:</b> готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач			
В2 (УК-3) технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе		+	+

ведущейся на иностранном языке			
<b>УК-5:</b> способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития			
У1 (УК-5) планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности	+	+	+
В1 (УК-5) приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач		+	+
<b>ОПК-1:</b> Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий			
У2 (ОПК-1) планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований	+	+	+
<b>ОПК-2:</b> готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования			
З3 (ОПК-2) тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности	+		+

### 3. Структура и содержание дисциплины

Изучение курса «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; научно-практические занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и научно-практическим занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на научно-практических занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

#### Структура дисциплины:

№ ра зде	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего контроля
-------------	------------------------------------	--	----------------------------

		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	успеваемости и промежуточной аттестации
1.	Проблемы компьютерного моделирования физических процессов	70	4	4		62	Собеседование
2.	Метод конечных элементов и автоматизированное моделирование	70	4	4		62	
3	Промежуточная аттестация	4	-	-	-	-	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>144</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>124</b>	

**Содержание дисциплины:**

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Содержание	Ссылки на результаты обучения
1	Проблемы компьютерного моделирования физических процессов	1. Понятие компьютерной модели.	У5 (УК-1) В1 (УК-1) В2 (УК-3) У1 (УК-5) В1 (УК-5) У2 (ОПК-1) 33 (ОПК-2)
		2. Виды информационных моделей.	
		3. Модель как философская проблема.	
		4. Вычислительный эксперимент как этап компьютерного моделирования.	
		5. Роль численных методов в компьютерном моделировании.	
		6. Автоматизированное компьютерное моделирование и его связь с производством.	
		7. Структура систем автоматизированного компьютерного моделирования.	
		8. Геометрические модели как основа компьютерных моделей.	
		9. Планирование при создании	

		геометрической модели.	
		10. Планирование при создании геометрических моделей, подходы к их построению.	
		11. Проблемы неоднозначностей при импорте и экспорте геометрических моделей.	
		12. Проблема упорядочивания геометрических объектов в компьютерных моделях.	
2	Метод конечных элементов и автоматизированное моделирование	1. Области применения метода конечных элементов.	
		2. Альтернативные численные методы.	
		3. Приближенные методы решения дифференциальных уравнений Галеркина и Рунге-Кутты как основа метода конечных элементов.	
		4. Проблема обоснования метода конечных элементов.	
		5. Программное обеспечение, реализующее метод конечных элементов.	
		6. Конечно-элементная модель и способы ее генерации.	
		7. Влияние выбора системы единиц измерения.	
		8. Типы сеток конечных элементов.	
		9. Регулярные и нерегулярные сетки.	
		10. Способы построения сеток.	
		11. Проблема автоматизированной генерации сеток.	
		12. Краевые условия в конечно-элементной модели.	
		13. Типы краевых условий.	
		14. Общие рекомендации по построению конечно-элементных моделей.	
		15. Особенности конечно-элементных моделей для задач вычислительной	

		гидродинамики.	
--	--	----------------	--

### Виды учебной и самостоятельной работы

Виды учебной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы
На основе изучения литературы по темам лекционных и научно-практических занятий аспирант готовится к ответу на предложенные вопросы, к участию в дискуссиях, к тестированию по изученному материалу	У5 (УК-1) В1 (УК-1) В2 (УК-3) У1 (УК-5) В1 (УК-5) У2 (ОПК-1) З3 (ОПК-2)	20
Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение
Самостоятельная подготовка к лекционным и научно-практическим занятиям	У5 (УК-1) В1 (УК-1) В2 (УК-3) У1 (УК-5) В1 (УК-5) У2 (ОПК-1) З3 (ОПК-2)	124
Успешное освоение материала, изучаемого в ходе лекционных и научно-практических занятия, требует дополнительного самостоятельного изучения. По каждому разделу учебной дисциплины предусмотрено изучение теоретического материала с использованием компьютерных технологий; самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Internet-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы.		

#### 4. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем» осуществляется на лекциях и научно-практических занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; в форме тестирования оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Компьютерное моделирование процессов криогенных систем» проводится в третьем семестре в форме экзамена. Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием с преподавателем.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

#### 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины



Учебно-методическое обеспечение:  
учебно-методическое обеспечение дисциплины размещено на образовательном портале  
Университета ИТМО

**Профессиональные базы данных, интернет-ресурсы, электронные библиотеки  
и информационные справочные системы:**

<b>№</b>	<b>Ссылка на информационный ресурс</b>	<b>Наименование разработки в электронной форме</b>	<b>Доступность</b>
1.	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>	ЭБС на платформе «Лань». Учебники и учебные пособия для университетов издательства «Лань»	Индивидуальный неограниченный доступ
2.	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>	Библиотека. Единое окно доступа к информационным ресурсам	Индивидуальный неограниченный доступ
3.	<a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>	Научная электронная библиотека	Индивидуальный неограниченный доступ
4.	<a href="http://www.public.ru/">http://www.public.ru/</a>	Публичная Интернет-библиотека	Индивидуальный неограниченный доступ
5.	<a href="http://www.elbib.ru/">http://www.elbib.ru/</a>	Российская электронная библиотека	Индивидуальный неограниченный доступ
6.	<a href="http://lib.ifmo.ru/stat/36/ebs_ifmo.htm">http://lib.ifmo.ru/stat/36/ebs_ifmo.htm</a>	Электронная библиотека НИУ ИТМО	Индивидуальный неограниченный доступ
7.	<a href="http://scilab.org//">http://scilab.org//</a>	1. Scilab. The Free Software for Numerical Computation /Digiteo Foundation	Индивидуальный неограниченный доступ
8.	<a href="http://freefem.org/ff++/index.htm">http://freefem.org/ff++/index.htm</a>	2. Freefem++ Home Page / Olivier Pironneau, Frédéric Hecht, Antoine Le Hyaric, Jacques Morice	Индивидуальный неограниченный доступ
9.	<a href="http://csc.fi/english/pages/elmer">http://csc.fi/english/pages/elmer</a>	3. Elmer. Open Source Finite Element Software for Multiphysical Problems / CSC	Индивидуальный неограниченный

			доступ
--	--	--	--------

### Основная литература:

1. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / М. : ДМК Пресс, 2010 .— 464 с.
2. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа / Москва: Физматлит, 2012 . 468 с. : граф., схемы. Режим доступа: <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59637](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59637)>.
3. Захарова В. Ю. Компьютерные технологии в науке и образовании. Программное обеспечение для решения задач технической физики / М-во образования РФ ; СПбГУ ИТМО, [Каф. КТФиЭМ]. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. - 79 с.
4. Малюх В.Н. Введение в современные САПР : [курс лекций] / М.: ДМК Пресс, 2010. - 190 с.
5. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB / СПб.: Лань, 2011. - 736 с.
6. Ушаков Д.М. Введение в математические основы САПР / М.: ДМК Пресс, 2011. - 208 с. ил. Режим доступа [URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1311](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1311)

### Дополнительная литература:

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник. / Минск : Новое знание, 2013. 584 с. URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/4324/#1>
2. Охорзин В.А. Прикладная математика в системе MATHCAD: Учебное пособие. 3-е изд., стер. СПб. : Издательство 'Лань', 2009. - 352 с.URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/294/#2>

### Средства, обеспечивающие адаптацию электронных и печатных образовательных ресурсов для обучающихся из числа лиц с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья:

- 1) Доступ к изданиям электронно-библиотечной системы «Издательство «Лань» (<https://e.lanbook.com>), в адаптированных форматах для лиц с инвалидностью и ОВЗ.
- 2) Специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования для лиц с инвалидностью и ОВЗ:
  - а) В библиотеке по адресам Кронверкский пр., д.49 и ул. Ломоносова, д.9 обучающимся, имеющим нарушения зрения, предоставляется компьютерное место с клавиатурой, маркированной шрифтом Брайля, и увеличительные лупы нового поколения с подсветкой и семикратным увеличением (лупы настольные с подсветкой PowerLux).
  - 3) Услуги по адаптации учебно-методического материала для лиц с инвалидностью и ОВЗ:
    - а) обучающиеся с нарушениями зрения по запросу могут получить специальную учебную, научную литературу и периодические издания на основании действующего договора о сотрудничестве между Университетом ИТМО и Государственной библиотекой для слепых и слабовидящих; для обучающихся с нарушениями зрения учебные материалы могут быть предложены на шрифте Брайля.
    - б) обучающимся с нарушениями слуха по запросу предоставляются услуги сурдопереводчика на основании договора между Университетом ИТМО и

«Всероссийским обществом глухих» (СПб РО ОООИ ВОГ).

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Программное обеспечение:

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
<b>Занятия лекционного типа:</b>		
мультимедийный класс	аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук)	Операционная система Microsoft Windows (версии от “Windows XP” до “Windows 10”)
<b>Занятия практического типа:</b>		
мультимедийный класс, компьютерный класс	аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук)	Операционная система Microsoft Windows (версии от “Windows XP” до “Windows 10”)
<b>Самостоятельная работа:</b>		
компьютерный класс	15 персональных компьютеров в составе локальной вычислительной сети, подключенной к Internet (30 Мбит/с).	Операционная система Microsoft Windows (версии от “Windows XP” до “Windows 10”)

## 7. Фонды оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации

**Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности по компьютерному моделированию процессов криогенных систем	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по компьютерному моделированию процессов криогенных систем для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области	Требования к порядку проведения собеседования

## Критерии оценки сформированности компетенций в рамках промежуточной аттестации по модулю

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Не сформировано	Сформировано
УК-1	У5 (УК-1) проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной	Отсутствие умения проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной	Сформированные умения проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной
	В1 (УК-1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	Отсутствие навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	Сформированные навыки сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования
УК-3	В2 (УК-3) технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке	Отсутствие владения технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке	Сформированные владения технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке
УК-5	У1 (УК-5) планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности	Отсутствие умения планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности	Сформированные умения планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности
	В1 (УК-5) приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач	Отсутствие владений приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач	Сформированные владения приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач
ОПК-1	У2 (ОПК-1) планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований	Отсутствие умений планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований	Сформированные умения планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований
ОПК-2	З3 (ОПК-2) тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности	Отсутствие знаний о тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности	Сформированные знания о тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности

## **Требования к структуре и содержанию оценочных средств.**

### Требования к структуре и содержанию тестов

Тестирование проводится с применением тестов открытого и закрытого типа. Тест выполняется письменно. Время выполнения теста 8-15 минут.

### Требования к порядку проведения экзамена в виде письменной работы

Экзамен проводится в форме письменной работы с последующим собеседованием. Письменная работа выполняется по билетам, в билете 2 вопроса. Время выполнения письменной работы 30 минут. Собеседование проводится преподавателем дисциплины по темам билета. Аспиранту могут быть заданы дополнительные вопросы в рамках изученного курса.

## **Критерии выставления оценки:**

Минимальная положительная оценка «удовлетворительно» ставится аспиранту, выполнившему письменное экзаменационное задание и прошедшему устное собеседование с преподавателем по вопросам экзаменационного билета, однако продемонстрировавшему наличие неполных представлений в области компьютерного моделирования процессов криогенных систем; в целом успешное, но не систематическое использование положений и категорий компьютерного моделирования процессов криогенных систем для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной деятельности, в целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа основных проблем компьютерного моделирования процессов криогенных систем.

Оценка «хорошо» ставится аспиранту, успешно выполнившему письменное экзаменационное задание и прошедшему устное собеседование с преподавателем, если он в результате собеседования по вопросам экзаменационного билета демонстрирует наличие сформированных, но содержащих отдельные пробелы представлений о методах исследований в сфере компьютерного моделирования процессов криогенных систем, в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование положений и категорий компьютерного моделирования процессов криогенных систем для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области, в целом успешное, но содержащее отдельные недоработки в применении навыков анализа основных методологических проблем своей профессиональной области.

Оценка «отлично» ставится аспиранту, успешно выполнившему письменное экзаменационное задание и прошедшему устное собеседование с преподавателем, если он в результате собеседования по вопросам экзаменационного билета демонстрирует наличие сформированных систематических представлений о компьютерного моделирования процессов криогенных систем, сформированное умение использовать положения и категории компьютерного моделирования процессов криогенных систем для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области, успешное и систематическое применение навыков анализа основных методологических проблем в своей профессиональной области.

### Перечень экзаменационных вопросов:

1. Моделирование и его виды. Классификация моделей.

2. Этапы компьютерного моделирования процессов криогенных систем.
3. Точность вычислительного эксперимента.
4. Метод половинного деления для нахождения корней функций.
5. Метод простых итераций для нахождения корней функций.
6. Метод Ньютона для нахождения корней функций.
7. Метод Гаусса для решения системы линейных уравнений.
8. Итерационный метод решения систем линейных уравнений.
9. Численные методы поиска экстремумов функции одной переменной.
10. Метод наименьших квадратов.
11. Интерполирование функций.
12. Аппроксимация производных.
13. Численное интегрирование. Метод трапеций.
14. Численное интегрирование. Метод Симпсона.
15. Задача Коши для обыкновенного дифференциального уравнения.
16. Модифицированный метод Эйлера для решения обыкновенных дифференциальных уравнений.
17. Методы Рунге Кутты для решения обыкновенных дифференциальных уравнений.
18. Использование Excel для аппроксимации функций.
19. Использование Excel для поиска корней функций.
20. Принцип структурного программирования.
21. Алгоритм. Блок-схема алгоритма.
22. Структура программы на языке программирования Фортран.
23. Операторы языка программирования Фортран.
24. Моделирование процессов в теплообменном оборудовании.
25. Использование встроенных процедур Фортран для решения технических задач численными методами.
26. Математическая статистика. Вычисление средних. Числовые характеристики случайных величин.
27. Встроенные функции Excel.
28. Статистическая обработка эксперимента.
29. Классификация методов расчёта тепловых и гидравлических процессов.
30. Уравнения в частных производных. Уравнение Лапласа.
31. Уравнения в частных производных. Уравнение теплопроводности.
32. Уравнения в частных производных. Уравнение Бюргерса.
33. Уравнения в частных производных. Уравнение Пуассона.
34. Уравнения в частных производных. Уравнение конвекции и диффузии.
35. Граничные условия.
36. Основные уравнения динамики жидкости и газа и теплообмена. Уравнение неразрывности.
37. Основные уравнения динамики жидкости и газа и теплообмена. Уравнение количества движения.

38. Основные уравнения динамики жидкости и газа и теплообмена. Уравнение энергии.
39. Основные уравнения динамики жидкости и газа и теплообмена. Уравнение состояния.
40. Основные уравнения динамики жидкости и газа и теплообмена. Уравнение сохранения лучистой энергии.
41. Основные уравнения динамики жидкости и газа и теплообмена. Уравнение диффузии.
42. Аналитические методы расчета. Метод разделения переменных (Фурье).
43. Аналитические методы расчета. Метод интегральных преобразований (Лапласа).
44. Численные методы. Метод конечных разностей. Аппроксимация частных производных.
45. Численные методы. Метод конечных элементов.
46. Численные методы. Метод Монте-Карло.
47. Определение теплофизических свойств рабочих веществ с использованием уравнения состояния и законов термодинамики.
48. Физические модели и методы расчета теплофизических свойств криопродуктов.
49. Алгоритм расчета теплофизических свойств основных криопродуктов (чистых).
50. Расчет теплофизических свойств многокомпонентных смесей.
51. Математическая модель расчета процесса ректификации.
52. Алгоритм расчета процесса ректификации.
53. Принципы моделирования процессов в теплообменном оборудовании.
54. Алгоритмы расчета теплообменного оборудования.
55. Методика расчета параметров теплоносителя при течении в каналах.
56. Инструментальные среды и пакеты прикладных программ для расчета криогенных систем.

Примерные варианты тестов:

#### Вариант 1

1. Какой вид моделирования криогенных систем не связан с применением численных методов?
  - а) имитационное;
  - б) физическое;
  - в) математическое.
2. Ниже какой температуры начинается область криогенных процессов?
  - а) 0 °С;
  - б) 120 К;
  - в) 100 К.



3. Какое уравнение при расчете криогенных процессов не решается интегрированием?
- уравнение движения;
  - уравнение неразрывности;
  - уравнение состояния.
4. Какой метод не относится к численному интегрированию?
- метод треугольников;
  - метод прямоугольников;
  - метод трапеций.
5. К численным методам решения дифференциального уравнения второго порядка в частных производных относится:
- метод разделения переменных Фурье;
  - метод интегральных преобразований Лапласа;
  - метод стохастического моделирования Монте-Карло.
6. Уравнение движения криопродуктов в трубах и каналах отражает закон:
- сохранения массы;
  - сохранения импульса;
  - сохранения энергии.
7. Граничные условия 1 рода (Дирихле) описываются уравнением:
- $F|_S = f(x, y, z);$
  - $\left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_S = f(x, y, z);$
  - $\left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_S + a(x, y, z) F|_S = f(x, y, z).$
8. К уравнениям состояния реальных газов и жидкостей (в том числе криогенных) не относится:
- уравнение Навье-Стокса;
  - уравнение Менделеева-Клапейрона;
  - уравнение Бенедикта-Вебба-Рубина.

9. Представление частной производной первого порядка в точке  $(x, y)$  при конечно-разностной аппроксимации в виде  $\frac{\partial F_{i,j}}{\partial x} = \frac{F_{i+1,j} - F_{i,j}}{\Delta x}$ ;  $\frac{\partial F_{i,j}}{\partial y} = \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j}}{\Delta y}$

называется:

- а) центральной разностью;
- б) разностью вперёд;
- в) разностью назад.

10. В результате конечно-разностной аппроксимации дифференциальное уравнение заменяется:

- а) алгебраическим уравнением;
- б) уравнением для вычисления суммы ряда;
- в) системой алгебраических уравнений.

11. Какой метод решения задач гидродинамики и теплообмена, используемый при проектировании криогенной техники, заложен в стандартные пакеты прикладных программ типа ANSYS?

- а) метод конечных элементов;
- б) метод конечных разностей;
- в) метод элементарных объемов.

12. При переходе от исходного дифференциального уравнения к сеточной (дискретной) модели в методе конечных элементов производится:

- а) аппроксимация производных искомых функций;
- б) аппроксимация искомых функций;
- в) аппроксимация интегральных законов сохранения.

13. Какое компьютерное приложение не позволяет использовать все возможности языков программирования?

- а) программа для работы с электронными таблицами Excel;
- б) система компьютерной математики Mathcad;
- в) компилятор gfortran.

14. К методам структурного программирования не относится:

- а) цикл;
- б) ветвление;
- в) безусловный переход.

15. При проектировании криогенных систем с применением компьютерных технологий рассчитывают:

- а) градирни;
- б) абсорберы;
- в) адсорберы.

16. Открытый вопрос. Этапы компьютерного моделирования процессов низкотемпературных систем.

17. Открытый вопрос. Сравнение метода конечных разностей и метода конечных элементов.

### **Вариант 2**

1. Какие из программных комплексов и сред позволяют проводить построение и исследование моделей криогенных систем?

- а) среды программирования и математические пакеты;
- б) только среды программирования;
- в) только математические пакеты.

2. Какой из промышленных газов не относится к криопродуктам?

- а) азот;
- б) метан;
- в) ацетилен.

3. Уравнение состояния вещества (системы) не может быть выведено следующим образом:

- а) из постулатов термодинамики;
- б) из экспериментальных исследований;
- в) из результатов моделирования.

4. Какой метод применим для нахождения корней функций?

- а) метод Гаусса;
- б) метод Рунге-Кутты;
- в) метод Ньютона.

5. При проектировании криогенной техники одним из методов приближенного вычисления значений функции является:

- а) интерполяция – это тип аппроксимации;
- б) аппроксимация – это тип интерполяции;
- в) экстраполяция – это тип интерполяции.

6. Скорость не является функцией:

- а) уравнения энергии;  
 б) уравнения состояния;  
 в) уравнения неразрывности.
7. Граничные условия 2 рода (Неймана) описываются уравнением
- а)  $F|_S = f(x, y, z)$  ;  
 б)  $\left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_S = f(x, y, z)$  ;  
 в)  $\left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_S + a(x, y, z) F|_S = f(x, y, z)$  .
8. К уравнениям состояния криогенных веществ не относится:
- а) уравнение Редлиха–Квонга;  
 б) уравнение Пуассона;  
 в) уравнение Ван-дер-Ваальса.
9. Представление частной производной первого порядка в точке  $(x, y)$  при конечно-разностной аппроксимации в виде  $\frac{\partial F_{i,j}}{\partial x} = \frac{F_{i,j} - F_{i-1,j}}{\Delta x}$ ,  $\frac{\partial F_{i,j}}{\partial y} = \frac{F_{i,j} - F_{i,j-1}}{\Delta y}$  называется:
- а) центральной разностью;  
 б) разностью вперед;  
 в) разностью назад.
10. Конечно-разностная модель не является:
- а) сеточной моделью;  
 б) системой уравнений для вычисления сумм рядов;  
 в) дискретной моделью.
11. Какой метод расчета процессов теплообмена и гидродинамики в криогенной технике основан на составлении уравнений баланса энергии, температуры и давления?
- а) метод конечных разностей;  
 б) метод конечных элементов;  
 в) метод элементарных объемов.

12. При переходе от исходного дифференциального уравнения к сеточной (дискретной) модели в методе конечных объемов производится:
- а) аппроксимация производных искомых функций;
  - б) аппроксимация искомых функций;
  - в) аппроксимация интегральных законов сохранения.
13. Какое компьютерное приложение не является языком программирования?
- а) Maple;
  - б) Mathcad;
  - в) Matlab.
14. Какой язык не удовлетворяет принципам структурного программирования?
- а) ассемблер;
  - б) Паскаль;
  - в) СИ.
15. Холодопроизводительность криогенных систем обеспечивается в частности:
- а) детандером;
  - б) дросселем;
  - в) теплообменником.
16. Открытый вопрос. Процессы низкотемпературных систем, моделируемые с применением компьютеров.
17. Открытый вопрос. Система уравнений для расчета процессов теплообмена и гидродинамики в криогенных системах.

### Вариант 3

1. Какие из программных комплексов и сред позволяют проводить построение и исследование моделей криогенных систем?
  - а) электронные таблицы и СУБД;
  - б) только электронные таблицы;
  - в) только СУБД.
  
2. Какой из промышленных газов не относится к криопродуктам?
  - а) гелий;
  - б) пропан;
  - в) водород.
  
3. Уравнение состояния вещества связывает между собой:
  - а) термодинамические параметры системы;
  - б) теплофизические параметры системы;
  - в) термические и калорические параметры системы.
  
4. 4. Какой метод используется для решения системы линейных уравнений?
  - а) метод Гаусса;
  - б) метод наименьших квадратов;
  - в) метод Ньютона.
  
5. Метод наименьших квадратов не используется непосредственно:
  - а) для аппроксимации данных;
  - б) для решения систем нелинейных уравнений;
  - в) для интегрирования функции.
  
6. Итерационная обработка данных, при которой действия повторяются многократно, не приводя при этом к вызовам самих себя, относится:
  - а) к аналитическим методам моделирования;
  - б) к численным методам моделирования;
  - в) к аналитическим и численным методам моделирования.
  
7. Граничные условия 3 рода (Робина) описываются уравнением:
  - а)  $F|_S = f(x, y, z)$ ;

$$\text{б) } \left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_S = f(x, y, z);$$

$$\text{в) } \left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_S + a(x, y, z) F|_S = f(x, y, z).$$

8. К уравнениям состояния веществ не относится:
- уравнение Ван-дер-Ваальса;
  - уравнение Пенга–Робертсона;
  - уравнение Лапласа.
9. Представление частной производной первого порядка в точке  $(x, y)$  при конечно-разностной аппроксимации в виде  $\frac{\partial F_{i,j}}{\partial x} = \frac{F_{i+1,j} - F_{i-1,j}}{2\Delta x}$ ;  $\frac{\partial F_{i,j}}{\partial y} = \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j-1}}{2\Delta y}$  называется:
- центральной разностью;
  - разностью вперед;
  - разностью назад.
10. При расчете криогенных процессов в результате конечно-разностной аппроксимации система дифференциальных уравнений заменяется:
- системой алгебраических уравнений той же размерности;
  - системой уравнений для вычисления сумм рядов;
  - системой алгебраических уравнений большей размерности.
11. Какой метод вычислительной гидромеханики исторически появился первым и предопределил развитие других методов?
- метод конечных элементов;
  - метод конечных разностей;
  - метод элементарных объемов.
12. При переходе от исходного дифференциального уравнения к сеточной (дискретной) модели в методе конечных разностей производится:
- аппроксимация производных искомых функций;
  - аппроксимация искомых функций;
  - аппроксимация интегральных законов сохранения.
13. Какое компьютерное приложение не позволяет получать результаты расчетов в виде графической информации?
- программа для работы с электронными таблицами Excel;

- б) компилятор gfortran языка программирования Фортран;
- в) система компьютерной математики Mathcad.

14. Сколько базовых управляющих структур определяют принцип структурного программирования?

- а) две;
- б) три;
- в) четыре.

15. Холодопроизводительность криогенных систем обеспечивается в частности:

- а) насосом;
- б) дросселем;
- в) компрессором.

16. Открытый вопрос. Классификация методов моделирования процессов низкотемпературных систем.

17. Открытый вопрос. Компьютерные приложения и вычислительные системы, используемые при моделировании процессов криогенных систем.



### Правильные ответы

№ вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вариант 1	б	б	в	а	в	б	а	а	б	в	а	б	а	в	в
Вариант 2	а	в	а	в	а	б	б	б	в	б	в	в	б	а	а
Вариант 3	а	б	а	а	в	б	в	в	а	в	б	а	б	б	в