

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.09.2021 19:24:34  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки

**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

Направленности программы бакалавриата

**Технологическое оборудование химических и нефтехимических производств**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Заочная**

Факультет **Механический**

Кафедра **Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры**

Санкт-Петербург

2016

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчик		доцент А.Ю.Иваненко

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование физико-химических процессов» обсуждена на заседании кафедры Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры

протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 № \_\_  
Заведующий кафедрой

Р.Ш.Абиев

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 № \_\_

Председатель

А.Н.Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Технологические машины и оборудование»		Доцент А.Н.Луцко
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник УМУ		С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.</b>	<b>4</b>
<b>2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.</b>	<b>4</b>
<b>3. Объем дисциплины.</b>	<b>5</b>
<b>4. Содержание дисциплины.</b>	<b>5</b>
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.	5
4.2. Занятия лекционного типа.	6
4.3. Занятия семинарского типа.	7
4.3.1. Семинары, практические занятия.	7
4.4. Самостоятельная работа обучающихся.	7
4.4.1. Темы презентаций для коллективного обсуждения.	8
Расчетно-графическая работа работы «Численный эксперимент – определение коэффициента гидравлического сопротивления».	9
<b>5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.</b>	<b>10</b>
<b>6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации</b>	<b>10</b>
<b>7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.</b>	<b>11</b>
<b>8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.</b>	<b>11</b>
<b>9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.</b>	<b>11</b>
<b>10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.</b>	<b>12</b>
10.1. Информационные технологии.	12
10.2. Программное обеспечение.	12
10.3. Информационные справочные системы.	12
<b>11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.</b>	<b>12</b>
<b>12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.</b>	<b>12</b>
Приложение № 1	13
<b>Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Математическое моделирование физико-химических процессов»</b>	<b>13</b>

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

В результате освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-2	Умение моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, готовностью проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.	<b>Знать:</b> Методы моделирования гидромеханических и тепло-массообменных процессов; <b>Уметь:</b> Поставить задачи численного моделирования трехмерных течений жидкости и газа, анализа процессов тепло- и массопереноса; <b>Владеть:</b> Навыками работы с современными программными комплексами численного моделирования в области прочностного анализа, гидродинамики, тепло-массопереноса

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы<sup>1</sup>.

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору (Б1.В.ДВ.02.02.03) и изучается на 4 курсе в 7 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Информатика», «Автоматизация инженерных расчетов», «Основы гидромеханики. Насосы, компрессоры, вентиляторы», «Основы гидромеханики. Насосы, компрессоры, вентиляторы».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Математическое моделирование физико-химических процессов» знания, умения и навыки могут быть использованы при выполнении выпускной квалификационной работы.

<sup>1</sup> Место дисциплины будет учитываться при заполнении таблицы 1 в Приложении 1 (Фонд оценочных средств)

### 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>3/108</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>58</b>
занятия лекционного типа	18
занятия семинарского типа, в т.ч.	36
семинары, практические занятия	36
лабораторные работы	
курсовое проектирование (КР или КП)	
КСР	4
другие виды контактной работы	
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>50</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	<b>РГР</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Зачет</b>

### 4. Содержание дисциплины.

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Введение в математическое моделирование	4	-		20	ПК-2
2	Системы инженерного анализа	2	2		-	
3	Основные составляющие части программных комплексов численного моделирования	6	10		-	
4	Основные этапы решения вычислительной задачи.	6	18		30	
	<b>ИТОГО</b>	18	36		50	

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Введение в математическое моделирование.</b> Цели и задачи математического моделирования в вычислительной гидродинамике (CFD). Конечно-разностные методы численного интегрирования дифференциальных уравнений. Начальные и граничные условия.</p>	4	
2	<p><b>Системы инженерного анализа.</b> Программные комплексы численного моделирования в области прочностного анализа, гидродинамики, тепло- массопереноса. Классификация современного программного обеспечения. Краткая характеристика на примере ANSYS - многоцелевой программа инженерного анализа и Open Foam - моделирование трёхмерных стационарных и нестационарных течений жидкости и газа, процессов тепло- массопереноса.</p>	4	Слайд-презентация, групповая дискуссия.
3	<p><b>Основные составляющие части программных комплексов численного моделирования</b> и их назначение - препроцессор, блок расчета уравнений, постпроцессор. Построение геометрической основы задачи — расчетной области. Требования к расчетной области, приемы и методы построения геометрической модели в САД-системах.</p>	6	Лекция-беседа с разбором типовых задач моделирования
4	<p><b>Основные этапы решения вычислительной задачи.</b> Виды граничных условий. Управление параметрами решателя. Модели турбулентности их особенности и отличия. Основы моделирования стационарных и нестационарных процессов, сопряжённого теплообмена. Визуализация результатов расчета. Анализ получаемых результатов</p>	2	

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Знакомство с программно-вычислительным комплексом Open Foam – решаемые задачи, возможности, особенности пользовательского интерфейса.	2	
3	Построение геометрической модели задачи — расчетной области с помощью пакетов 3D проектирования (на примере Компас 3D).	6	
	Решение типовой задачи моделирования гидродинамики течения среды в аппарате.	4	Групповая дискуссия.
4	Задание граничных условий. Генерация расчетной сетки. Задание параметров метода численного моделирования Контроль ошибок.	14	
	Установка характеристик визуализации. Оценка точности вычислений	10	

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

Самостоятельная работа включает в себя проработку лекционного материала с использованием учебной литературы и выполнение расчетно-графической работы.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Виды физических и математических моделей, решаемых в системе Open Foam. Модели турбулентности их особенности и отличия. Виды граничных условий и способы их постановки.	10	Устный опрос
4	Постановка задачи численного моделирования химико-технологического аппарата на конкретном примере. Выполнение РГР	20	Решение РГР в письменном виде

#### 4.4.1. Темы презентаций для коллективного обсуждения

№ раздела дисциплины	Содержание слайд-презентации	Вопросы для коллективного обсуждения, коллективного решения технической задачи
2	Примеры решения конкретных работ при проектировании химико-технологической аппаратуры. Обсуждение результатов.	Лекция-беседа с разбором конкретных ситуаций.
3	Этапы постановки задачи и решение типовой задачи моделирования гидродинамики течения среды в аппарате.	Коллективное решение типовой задачи



#### 4.4.2. Примеры задания на РГР

Практические занятия проводятся в компьютерном классе института с помощью установленного программного обеспечения (Open Foam Student Edition).

Расчетно-графическая работа работы «Численный эксперимент – определение коэффициента гидравлического сопротивления».

#### ЗАДАНИЕ для РГР

Рассчитать зависимость гидравлического сопротивления циклона в интервале расходов газа (0.2 – 3)  $v_{опт}$ . Результат представить в виде графика  $\Delta P = F(Q_g)$ .

Кривую аппроксимировать зависимостью вида  $\Delta P = \zeta \frac{\rho U_{пр}^2}{2}$ , определить коэффициент гидравлического сопротивления  $\zeta$ .

Вариант	Циклон	Dy
1.1	ЦН-11	200
1.2	ЦН-15	300
1.3	ЦН-15у	400
1.4	ЦН-24	500
1.5	СДК-ЦН-33	200
1.6	СК-ЦН-34	300
1.7	СК-ЦН-34	600
1.8	ЦН-11	100
1.9	ЦН-15	150
1.10	ЦН-24	200

Соотношение размеров (в долях диаметра D) циклонов НИИОГАЗ и параметры, определяющие их эффективность

Размер (см. рис. 1-2) и параметр	Тип циклона						
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$d_T$	0,60				0,334	0,340	0,220
$d_1$	0,3–0,4					0,229	0,180
$b$	0,20				0,264	0,214	
$a$	0,35				0,42	0,40	0,32
$H_{ц}$	2,08	2,26	1,51	2,11	0,535	0,515	0,40
$H_k$	2,00		1,50	1,75	3,000	2,110	2,60
$H$	4,38	4,56	3,31	4,26	3,800	3,140	—
$h_{фл}$	0,24–0,32				0,1		
$v_{опт}, \text{ м/с}$	3,5			4,5	2,0	1,7	2,0

$v_{опт}$  - условная осевая скорость газа, отнесенная к полному сечению аппарата.

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

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа: <http://media.technolog.edu.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета. К зачету студент допускается на основании выполненных расчетно-графических работ.

При сдаче зачета, студент получает два вопроса по изученным разделам дисциплины.

Пример варианта вопросов к зачету

1. Этапы решения задач ВГ: математическая модель, сеточная модель области.
2. Виды граничных условий для моделей ламинарного течения несжимаемой жидкости

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

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

### **а) основная литература:**

1. Поникаров И.И. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): учебное пособие для вузов по спец. "Машины и аппараты химических производств" направления "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" и спец. "Оборудование и агрегаты нефтегазового производства" / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. - М. : Альфа-М, 2008. - 717 с.

### **б) дополнительная литература:**

2. Высоцкий, Л.И. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости : учебное пособие / Л. И. Высоцкий, Г. Р. Коперник, И. С. Высоцкий. - 2-е изд., испр. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. - 59 с.

### **в) вспомогательная литература:**

3. Абиев, Р.Ш. Вычислительная гидродинамика и теплообмен: введение в метод конечных разностей: Учебное пособие для вузов по спец. Машины и аппараты химических производств / Р. Ш. Абиев. - СПб. : [б. и.], 2002. - 576 с.
4. Математическое моделирование в технике: учебник для втузов / Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. - 495 с..

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

1. учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>
2. Сайт Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) : Информационно-поисковая система - [http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content\\_ru/ru/inform\\_resources/inform\\_retrieval\\_system/](http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/)

### **электронно-библиотечные системы:**

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;  
«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

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

Все виды занятий по дисциплине «Математическое моделирование физико-химических процессов» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКВД. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов

является:

плановость в организации учебной работы;  
серьезное отношение к изучению материала;  
постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;  
учебные видеоматериалы;  
взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

1. САПР Компас 3D
2. Программный комплекс Open Foam.
3. MathCad 14.

### **10.3. Информационные справочные системы.**

1. Справочно-информационная система поиска нормативных документов <http://gostrf.com/>
2. Строительные нормы и правила - СНИП.РФ. - <http://снип.рф/snip/>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для ведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники, на 15 посадочных мест.

Для проведения лабораторных занятий используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Математическое моделирование физико-химических процессов»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка<sup>2</sup></b>	<b>Этап формирования<sup>3</sup></b>
<b>ПК-2</b>	<b>Умение моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, готовностью проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.</b>	Промежуточный

**2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.**

<b>Показатели оценки результатов освоения дисциплины</b>	<b>Планируемые результаты</b>	<b>Критерий оценивания</b>	<b>Компетенции</b>
Освоение раздела № 1	Знает теоретические основы математического моделирования в химической технологии; Владеет навыками работы с современными специализированными программно-вычислительными комплексами.	Правильные ответы на вопросы № 1-3	ПК-2

<sup>2</sup> **жирным шрифтом** выделена та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты)

<sup>3</sup> этап формирования компетенции выбирается по п.2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие.)

Освоение раздела № 2	Знаком с современными специализированными программно-вычислительными комплексами, предназначенными для решения задач моделирования химико- технологической аппаратуры;	Правильные ответы на вопросы № 4-5	ПК-2
Освоение раздела № 3	Знает сновные составляющие части программных комплексов численного моделирования и их назначение; Умеет построить геометрическую основу задачи — расчетную область; Владеет приемами и методами построения геометрической модели в CAD-системах.	Выполнение РГР; Правильные ответы на вопросы № 6-12	ПК-2
Освоение раздела № 4	Знает основные этапы решения вычислительных задач; Умеет поставить задачу вычислительной гидродинамики – выбрать модель, поставить граничные условия, установить параметры визуализации Владеет навыками работы с современным специализированном программно-вычислительным комплексом.	Правильные ответы на вопросы № 12-23	ПК-2

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачета, результат оценивания – «зачтено», «не зачтено».

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.**

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2:**

1. Понятие математической модели физического процесса. Виды моделей в пакете Open Foam.
2. Численное моделирование (симуляция) сложных термо- и гидродинамических процессов.
3. Внешние и внутренние, ламинарные и турбулентные течения жидкости.
4. Классификация современного программного обеспечения для решения задач инженерного анализа.
5. Назначение и возможности пакета Open Foam для моделирования трёхмерных стационарных и нестационарных течений жидкости и газа, процессов тепло- массопереноса.
6. Этапы решения задач ВГ: математическая модель, сеточная модель области.
7. Конечно-разностные методы численного интегрирования дифференциальных уравнений.
8. Начальные и граничные условия – виды и способы задания.
9. Назначение и общая характеристика вычислительных возможностей пакетов прикладных программ для моделирования механики жидкости и газа (на примере Open Foam)

10. Базовые модели Open Foam – ламинарное и турбулентное течение несжимаемых и сжимаемых сред, модели теплопередачи.
11. Специальные модели Open Foam – модель зазора
12. Специальные модели Open Foam – модель пористого тела.
13. Понятие математической модели процесса. Основные этапы решения вычислительной задачи
14. Построение геометрической модели рабочей области. Требования к геометрической модели.
15. Виды граничных условий для моделей ламинарного течения несжимаемой жидкости
16. Виды граничных условий для моделей турбулентного течения несжимаемой жидкости.
17. Виды граничных условий для течений сжимаемого газа.
18. Виды граничных условий для моделей теплообмена и массообмена.
19. Связывание граничных условий для сопряженных задач гидродинамики и теплообмена.
20. Построение расчетной сетки. Требования к расчетной сетке.
21. Визуализация скалярных переменных. Метод заливки, двумерный график, построение изоповерхности.
22. Визуализация векторных величин. Слои визуализации с анимацией.
23. Анализ численного решения, оценка погрешностей.

К зачету допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб ГТИ (ТУ) 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.