

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Физико-технический институт



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФТИ

О.Ю. Долматов

« 08 » 02 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ**  
**ПРОЦЕССОВ»**

**НА УЧЕБНЫЙ ГОД**

Направление ООП 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки (специализация) Физика кинетических явлений

Квалификация (степень) академический бакалавр

Базовый учебный план приема 2016 г.

Курс III семестр 6

Количество кредитов 3

Код дисциплины Б1.ВМ5.4.7

Виды учебной деятельности	Временной ресурс
Лекции, ч	16
Практические занятия, ч	–
Лабораторные занятия, ч	16
Аудиторные занятия, ч	32
Самостоятельная работа, ч	76
ИТОГО, ч	108

Вид промежуточной аттестации зачёт

Обеспечивающее подразделение кафедра «Техническая физика»

Заведующий кафедрой  И.В. Шаманин

Руководитель ООП  О.Ю. Долматов

Доцент  Л.И. Дорофеева

2016 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью преподавания дисциплины «**Моделирование и оптимизация разделительных процессов**» является формирование знаний, умений и навыков в области математических методов моделирования процессов разделения и очистки веществ, необходимых для производственной, научно-исследовательской и проектной деятельности.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «**Моделирование и оптимизация разделительных процессов**» относится к вариативной части модуля **Б1** дисциплин бакалавриата по профилю **Б1.В.3 «Физика кинетических явлений»** направления **14.03.02 «Ядерная физика и технологии»**.

**ПРЕРЕКВИЗИТЫ:** Б1.Б8, Б1.Б9, Б1.Б10, Б1.Б11, Б1.В2, Б1.В4, Б1.В5, Б1.В9, Б1.В.3.1.

**КОРЕКВИЗИТЫ:** Б1.В.3.3, Б1.В.3.3, Б1.В11

Дисциплина дает полное представление о математических методах планирования эксперимента, градиентных методах поиска оптимальной области, ортогональном композиционном планировании второго порядка при определении оптимальных условий разделения веществ; методах физического и математического моделирования с применением теории подобия; информационном моделировании.

Для успешного освоения дисциплины студенты должны иметь знания в области математики, информатики, химии, физики, основ ядерных технологий, основ технологии ядерного топливного цикла, термодинамики и теплопередачи, уравнений математической физики, методов разделения стабильных изотопов

Параллельно с данной дисциплиной могут изучаться следующие дисциплины вариативной части бакалаврской подготовки: ионообменные технологии; кинетика физико-химических явлений и процессов, методы их изучения; физика плазмы.

## 3. Результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины бакалавр должен/будет:

*Знать:*

- математические методы планирования эксперимента;
- градиентные методы поиска оптимальной области;
- ортогональное композиционное планирование второго порядка;
- методы физического и математического моделирования с применением теории подобия;
- основы информационного моделирования с применением искусственных нейронных сетей.

*Уметь:*

- составлять адекватные математические модели,
- проводить расчёты оптимальных условий процессов разделения веществ,
- использовать критерии подобия для инженерных расчётов массообменных процессов,
- использовать полученные знания в области моделирования для практической деятельности.

*Владеть (методами, приёмами):*

- проведения расчетов оптимальных режимов работы каскадов по разделению изотопов и тонкой очистке веществ с применением эффективных методов математического моделирования;
- проектирования оборудования разделительных производств с использованием компьютерных технологий моделирования;
- проведения научных исследований, их планирования и анализа результатов.

В процессе освоения дисциплины у студентов развиваются следующие компетенции:

*1. Универсальные (общекультурные) - способность/готовность к*

- обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения<sup>B.1.1</sup>; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства<sup>Y.1.1</sup>; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации<sup>3.1.1</sup> (ОК-1, 6, 10)
- кооперации с коллегами, работе в коллективе<sup>B.3.1</sup> (ОК-3);

*2. Профессиональные - способность/готовность*

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности<sup>Y.7.1</sup>, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования<sup>B.7.1</sup> (ПК-1);
- использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов<sup>Y.12.1</sup>; к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок<sup>B.12.1</sup>; проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований<sup>3.12.1</sup> (ПК-5, 9);
- использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области<sup>B.13.1</sup> (ПК-4).

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т.ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

**Составляющие результатов обучения,  
которые будут получены при изучении данной дисциплины**

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р1 (ОК-1, 6, 10)	3.1.1	основных методов, способов и средств получения, хранения, переработки информации	У.1.1	самообучаться, повышать свою квалификацию и мастерство	V1.1	обобщения, анализа, восприятия информации, постановки цели и выбора путей ее достижения
					V1.2	работы с компьютером как средством управления информацией
Р3 (ОК-3)					V.3.1	кооперации с коллегами, работе в коллективе
Р7 (ПК-1)	3.7.1	основных законов естественнонаучных дисциплин	У.7.1	использовать основные законы естественнонаучных дисциплин при определении оптимальных условий тонкой очистки и разделения веществ	V.7.1	математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Р12 (ПК-5, 9)	3.12.1	методов математического моделирования массообменных процессов	У.12.1	использовать информационные технологии при разработке и моделировании процессов разделения и тонкой очистки веществ	V.12.1	сбора и анализа информационных исходных данных для создания физических и математических моделей установок
Р13 (ПК-1, 4)			У.7.1	применять методы физического и математического моделирования в профессиональной деятельности	V.13.1	использования научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, современных компьютерных технологий в области разделения и тонкой очистки веществ.

В результате освоения дисциплины «Моделирование и оптимизация разделительных процессов» студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

**Планируемые результаты освоения дисциплины**

№ п/п	Результат
РД1	Составлять адекватные математические модели, проводить расчеты оптимальных режимов работы каскадов по разделению изотопов и тонкой очистке веществ с применением эффективных методов математического моделирования.
РД2	Применять математические методы планирования эксперимента, градиентные методы поиска оптимальной области, ортогональное композиционное планирование второго порядка при определении оптимальных условий разделения веществ.

РД3	Демонстрировать навыки использования компьютерных технологий моделирования с применением теории подобия, критериев подобия в инженерных расчётах массообменных процессов и при проектировании оборудования разделительных производств.
РД4	Использовать методы физического и математического моделирования для проведения научных исследований в области разделения и тонкой очистки веществ, их планирования и анализа результатов.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Содержание разделов дисциплины. Дисциплина содержит 3 модуля.

Таблица 3.

##### Модули дисциплины.

Модуль	
<b>Модуль 1</b>	<b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА</b>
	Разработка регрессионных моделей разделительных процессов. Оценка адекватности математической модели. Методы оптимизации эксперимента. Ортогональное планирование 2-го порядка при поиске оптимальных условий. Моделирование и оптимизация процессов изотопного разделения.
<b>Модуль 2</b>	<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ</b>
	Теория подобия, константы подобия, критерии подобия в тепломассообменных процессах. Критериальные уравнения.
<b>Модуль 3</b>	<b>НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ</b>
	Основы теории нейронных сетей. Искусственный интеллект и нейронные сети. Нейросетевое моделирование.

4.2. Структура дисциплины по разделам и видам учебной деятельности (лекция, лабораторная работа) с указанием временного ресурса в часах.

Таблица 4.

##### Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Название раздела/темы	Аудиторная работа, час		СРС, час	Итого
	лекции	лаборат. работы		
Разработка регрессионных моделей	1	2	6	9

разделительных процессов.				
Методы оптимизации эксперимента.	2	2	10	14
Оценка адекватности математической модели.	1	2	8	11
Ортогональное планирование 2-го порядка при поиске оптимальных условий.	2	4	8	14
Моделирование и оптимизация процессов изотопного разделения.	2	4	10	16
Теория подобия, константы подобия.	2		8	10
Критерии подобия в тепломассообменных процессах.	2		8	10
Критериальные уравнения.	2	2	8	12
Основы теории нейронных сетей. Искусственный интеллект и нейронные сети. Нейросетевое моделирование.	2		10	12
Итого	16	16	76	108

#### 4.3. Распределение компетенций по разделам дисциплины.

Формируемые в ходе изучения дисциплины результаты обучения находятся в соответствии с результатами основной образовательной программы и требованиями ФГОС ВПО по направлению 14.03.02 «Ядерная физика и технологии».

Таблица 5.

#### Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения.

№	Формируемые компетенции	Разделы дисциплины		
		1	2	3
1.	3.1.1	+	+	+
2.	3.7.1	+	+	+
3.	3.12.1	+		+
4.	У.1.1	+	+	+
5.	У.7.1	+	+	+
6.	У.12.1	+	+	+
7.	В.1.1	+	+	+
8.	В.1.2	+	+	+
9.	В.3.1	+		
10.	В.7.1	+	+	+
11.	В.12.1	+	+	+
12.	В.13.1	+	+	+

## 5. Образовательные технологии

Достижение планируемых результатов освоения дисциплины обеспечивается:

- повышением качества образования путем его фундаментализации, информирования бакалавра о современных достижениях в науке, технике и технологиях;
- нацеленностью обучения на новые, в первую очередь, на информационно-коммуникационные технологии;
- повышение творческого начала в образовании.

Специфика сочетания методов и форм организации обучения отражена в таблице 6.

Таблица 6.

### Методы и формы организации обучения (ФОО)

ФОО	лекции	лабораторные работы	СРМ
Методы			
Работа в команде		+	
<i>Case-study</i>	+		+
Методы проблемного обучения	+		+
Опережающая самостоятельная работа	+	+	+
Исследовательский метод		+	+

## 6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### 6.1. Виды самостоятельной работы:

текущая и творческая/исследовательская деятельность студентов.

**Текущая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений.

- работа с лекционным материалом, поиск, обзор литературы и электронных источников информации в сети интернет по индивидуально заданной проблеме курса,
- опережающая самостоятельная работа по проблеме курса,
- перевод текстов с иностранных языков по проблеме курса,
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- подготовка к лабораторным работам;
- подготовка к зачёту.

### **Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа**

(ТСР), ориентирована на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов.

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации по основным проблемам курса,
- выполнение расчетно-графических работ;
- исследовательская работа и участие в научных конференциях по основным проблемам курса;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

## **6.2. Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине.**

Самостоятельная работа включает подготовку к лабораторным занятиям, к зачёту и изучение отдельных тем, отнесенных к самостоятельному освоению студентами с использованием литературных источников, представленных в учебной программе дисциплины. В число часов для самостоятельной работы включено необходимое время для подготовки к текущему контролю, проводимому в течение семестра.

### **Темы, выносимые на самостоятельную проработку.**

1. Критерии классификации ионообменников и их характеристики.
2. Выделение веществ из газовой фазы в водные растворы.
3. Системы мембранного ввода проб в масс-спектрометр.
4. Виды мембран, их преимущества и недостатки.
5. Аппараты на основе обратноосмотических мембран.
6. Определение значений  $\beta$ -факторов в фазе ионообменника, их взаимосвязь с коэффициентами разделения в двухфазной системе.
7. Критерии подобия в массообменных процессах.
8. Скорость фильтрации на анионитовых фильтрах.

## **6.3 Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

## **6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Для дополнительного самостоятельного изучения дисциплины могут быть использованы следующие электронные ресурсы:

<http://www.intuit.ru/department/database/dataanalysis/>,  
[http://pmi.ulstu.ru/new\\_project/index.htm](http://pmi.ulstu.ru/new_project/index.htm),  
<http://www.lib.tpu.ru>,  
<http://window.edu.ru>



## 7. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролирующих мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине, рейтинговые баллы
Выполнение и защита лабораторных работ	Отчёты, 22
Тестирование	13
Выполнение практических заданий	15
Выполнение и защита индивидуальных заданий по тематике исследований во время проведения конференц-недели или участие студентов в научной дискуссии	Отчёт, 10
Выполнение зачётной работы	40

Средства оценки текущей успеваемости и промежуточной аттестации студентов по итогам освоения дисциплины – перечень вопросов, ответы на которые позволяют оценить степень усвоения теоретических знаний; проблем, позволяющих оценить профессиональные и универсальные (общекультурные) компетенции бакалавров.

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролирующих мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств):

Модуль	Контрольные вопросы и задания.
Математические методы планирования эксперимента	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назовите известные вам методы оптимизации эксперимента, объясните их суть.</li> <li>2. Запишите формулы, определяющие величину дисперсии адекватности и дисперсии воспроизводимости опытов.</li> <li>3. Какие критерии адекватности Вам известны, чем они отличаются?</li> <li>4. Составьте линейную математическую модель обменного разделительного процесса методом планирования экспериментов, определите величину степени разделения (<math>J = 0,224</math> мг/с), проведите анализ влияния каждого фактора на функцию отклика.</li> <li>5. Какими свойствами должны обладать планы, чтобы оценки коэффициентов полученного по ним линейного уравнения не зависели друг от друга?</li> <li>6. Постройте план ПФЭ типа <math>2^3</math> в безразмерном выражении и в натуральной размерности факторов по следующим параметрам плана: <math>z_{10} = 0,07</math> см/с, <math>z_{20} = 0,025</math> см/с, <math>z_{30} = 0,025</math> см, <math>\delta_1 = 0,01</math>, <math>\delta_2 = 0,015</math>, <math>\delta_3 = 0,005</math>,</li> </ol>

	<p><math>y_i = (3,35; 4,47; 2,60; 3,69; 6,36; 8,47; 5,61; 7,69)</math> [см] – в соответствии с планом эксперимента таблицы 1.2.</p> <p>7. Рассчитайте коэффициенты уравнения регрессии по плану эксперимента, построенному на условиях п.6 (учебного пособия), в безразмерном выражении и натуральной размерности факторов.</p> <p>8. Каким образом проводится статистическая оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии (покажите на примере математических моделей, полученных по условиям п.4 и п.6 учебного пособия)? Результаты ранжировки факторов представьте графически.</p> <p>9. Как можно определить насколько полученная математическая модель соответствует реально протекающим процессам? Покажите на примере математических моделей, полученных в п.4 и п.6. учебного пособия.</p> <p>10. Когда переход от планов первого порядка к планам второго порядка является целесообразным?</p> <p>11. Структура композиционных планов второго порядка.</p> <p>12. Чем отличаются D- и G-оптимальные планы?</p> <p>13. Что собой представляют ротатабельные и униформ-ротатабельные планы эксперимента?</p> <p>14. Каким образом достигается ортогонализация центральных композиционных планов?</p> <p>15. Определите оптимальные условия протекания процесса изотопного обмена (по условиям п. 4 учебного пособия) и составьте математическую модель для стационарной области. Постройте поверхность отклика <math>q = f(P, J)</math>.</p> <p>16. Каким образом можно привести к канонической форме уравнение регрессии, если оно описывает: а) центральную поверхность, б) нецентральную поверхность?</p>
<p>Математическое моделирование с применением методов теории подобия</p>	<p>17. Какие критерии подобия применяются в расчётах тепломассообменных процессов?</p> <p>18. Что характеризует критическое число Рейнольдса? Приведите расчётные формулы, от чего зависит величина <math>Re_{кр}</math>.</p> <p>19. Покажите взаимосвязь числа Архимеда и порозности слоя частиц.</p> <p>20. Определите скорость частицы, равномерно движущейся в жидкости при <math>d_c = 0,2</math> см, <math>\rho_c = 1,95</math> г/см<sup>3</sup>, <math>\rho_{ж} = 1,02</math> г/см<sup>3</sup> и <math>Re = 150</math>.</p> <p>21. Назовите критерии гидродинамического подобия.</p>

	<p>22. Охарактеризуйте критерии теплового подобия.</p> <p>23. Запишите выражения, определяющие критерии диффузионного подобия.</p> <p>24. Чем отличаются тепловой и диффузионный критерий Нуссельта? Приведите пример использования данных величин.</p> <p>25. Какие значения может принимать тепловое число Прандтля для одноатомных, двухатомных, многоатомных газов? В каком диапазоне изменяется величина <math>Pr</math> для жидких лития, натрия?</p> <p>26. Объясните, с помощью какого критерия проводится оценка механизма ионного обмена, приведите диапазоны изменения критерия и вид кинетики при этом.</p> <p>27. Может ли критерий подобия быть представлен в виде произведения критериев? Приведите примеры.</p> <p>28. С помощью какого критерия определяется ВЕП?</p> <p>29. Функцией, каких критериев подобия, является величина эффективной толщины диффузионного пограничного слоя?</p> <p>30. Какие обобщающие критериальные уравнения Вы знаете? Приведите примеры.</p>
Информационное моделирование на основе искусственных нейронных сетей	<p>31. Назовите основные элементы модели искусственного нейрона и их назначение.</p> <p>32. Как можно математически описать функционирование нейрона?</p> <p>33. Что собой представляет функция активации, её типы? Запишите математически.</p> <p>34. Чем отличаются детерминистская и стохастические нейросетевые модели? Какая из этих моделей и когда предпочтительнее?</p> <p>35. Что называется нейронной сетью? Какие типы нейронных сетей Вам известны?</p> <p>36. Что Вам известно об алгоритмах обучения нейронной сети? Объясните на примере.</p> <p>37. Охарактеризуйте особенности RBF-сетей, назовите их преимущества и недостатки.</p> <p>38. Что собой представляют обобщенно-регрессионные нейронные сети?</p> <p>39. Назовите задачи и этапы исследований при нейросетевом моделировании.</p> <p>40. Назовите преимущества и недостатки в использовании нейронных сетей.</p> <p>41. Охарактеризуйте ключевые функции систем искусственного интеллекта.</p>

	<p>42. В чём отличие символьных моделей искусственного интеллекта и нейросетевых моделей, как они взаимодействуют?</p> <p>43. Охарактеризуйте область применения искусственных нейронных сетей и пути их дальнейшего развития.</p>
--	--

## **8. Рейтинг качества освоения дисциплины**

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (зачёт) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на зачёте студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

## **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **• основная литература:**

1. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. — М.: Высш. шк., 1985.—327 с.
2. Грачёв Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования эксперимента – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
3. Дорофеева Л.И. Моделирование и оптимизация разделительных процессов: учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008 – 126 с.
4. Луканин В.Н. Теплотехника. – М.: Высш. школа, 1999. – 671 с.
5. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечётная логика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 143 с.
6. Хайкин Саймон. Нейронные сети. – М.: Вильямс, 2006. – 1103 с.

• **дополнительная литература:**

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.
2. Луговской В.И. Синявский К.С. Дубс Р.В. Математическое моделирование химико-технологических процессов. – Одесса: ОПУ, 2004. – 35 с.
3. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов. /Холоднов В.А., Дьяконов В.П., Иванова Е.Н., Кирьянова Л.С.. – СПб.: Профессионал, 2003. – 478 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, 1992. – 184 с.

**Internet-ресурсы:** <http://www.water.ru>, <http://www.chemnet.ru/rus/elibrary>,  
[http://science.ncstu.ru/nii/elbt\\_lab](http://science.ncstu.ru/nii/elbt_lab), <http://kfcentr.ru>,  
<http://www.lib.tpu.ru>, <http://window.edu.ru>


**10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

При проведении лабораторных занятий и чтении лекций используются оборудование, компьютеры, мультимедиа проигрыватели, корпоративная компьютерная сеть и ИНТЕРНЕТ.

№ п/п	Наименование	Аудитория, корпус
1.	Учебно-научная лаборатория	001В, 10
2.	Компьютерный класс	242, 10
3.	Лекционные аудитории	433, 10, 303, 11

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС и ООП по направлению 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» и профилю подготовки «Физика кинетических явлений»

Программа одобрена на заседании кафедры ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ФТИ ТПУ (протокол № 21 от «21» 01 2016 г.).

Доцент кафедры ТФ ФТИ  Л.И. Дорофеева

Рецензент  А.П. Вергун