

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
Ю.Н. Рыжих

Рабочая программа дисциплины

**Методы экспериментального исследования характеристик высокоэнергетических  
материалов**

по направлению подготовки / специальности

**16.04.01 Техническая физика**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:  
**Компьютерный инжиниринг высокоэнергетических систем,**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Инженер-исследователь**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОПОП  
Э.Р. Шрагер

Председатель УМК  
В.А. Скрипняк

Томск – 2025

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

БК-1 Способен действовать самостоятельно в условиях неопределенности при решении профессиональных задач и брать на себя ответственность за последствия принятых решений.

БК-2 Способен использовать научные методы для решения профессиональных задач.

ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследований.

ПК-1 Способен составлять теплофизические модели профессиональных задач по определению теплового режима на практике, находить способы их решения и интерпретировать профессиональный, физический смысл полученного математического результата.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОБК 1.1 Знает основы принятия решений в условиях неопределенности.

РОБК 1.2 Умеет принимать наиболее эффективные решения в условиях ограничения информации и ресурсов; лично решать проблемы вместе с командой, которые возникли в результате принятых решений; прогнозировать варианты развития событий, предлагать методы уменьшения неопределенности в зависимости от ситуации и допустимых ресурсов.

РОБК 2.1 Знает основные методы научных исследований.

РОБК 2.2 Умеет выстраивать систематическую и логическую цепочку анализа и принимаемых решений в контексте задачи профессиональной деятельности.

РООПК 1.1 Знать современные проблемы и задачи профессиональной сферы деятельности, приоритетные направления научных и прикладных работ, подходы и методы формулировки критериев оценки решения задач.

РООПК 1.2 Уметь формулировать цели и задачи исследования при решении приоритетных задач профессиональной сферы деятельности, выбирать и создавать критерии оценки решений задач.

РОПК 1.1 Знать фундаментальные законы теплофизики и их математическое описание применительно к определению тепловых режимов РКТ.

РОПК 1.2 Уметь составлять математические модели профессиональных задач в области теплофизики и находить способы их решения.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить современные методы экспериментального исследования характеристик высокоэнергетических материалов.

– Научиться применять понятийный аппарат дисциплины для выполнения итогового практического задания – «Проект разработки топлива с заданными характеристиками для летательного аппарата».

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Второй семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 24 ч.

-практические занятия: 14 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1 Введение в курс. Современные методы экспериментального исследования характеристик высокоэнергетических материалов (ВЭМ)

Краткое содержание темы. Компоненты ВЭМ. Физико-кинетические характеристики ВЭМ.

Тема 2. Методы исследования дисперсного состава компонентов ВЭМ.

Краткое содержание темы. Определение гранулометрического состава. Определение удельной поверхности порошков методом БЭТ. Определение физико-химических характеристик порошка алюминия. Исследование характеристик термического разложения компонентов ВЭМ.

Тема 3. Методы зажигания ВЭМ:

Краткое содержание темы. Кондуктивный метод зажигания исследуемого вещества. Лучистое зажигание. Лазерное зажигание.

Тема 4. Методы определения стационарной скорости горения в широком диапазоне давлений.

Краткое содержание темы. Скорость горения в вакууме. Скорость горения в атмосфере воздуха. Скорость горения в приборе постоянного давления. Зависимость показателя степени в законе скорости горения от коэффициента избытка окислителя.

Тема 5. Определение законов горения ВЭМ.

Краткое содержание темы. Законы горения. Степенной закон горения. Показатель степени в степенном законе горения.

Тема 6. Диагностика дисперсности и химического состава продуктов сгорания ВЭМ

Краткое содержание темы. Рентгеноструктурный анализ продуктов горения. Дифрактометр XRD-6000. Рентгенофазовый анализ.

Тема 7. Методика расчета компонентного состава ВЭМ.

Краткое содержание темы. Расчет эквивалентной формулы для индивидуальных веществ и расчет коэффициента избытка окислителя этих веществ.

Тема 8. Расчет компонентного состава смесового твердого топлива по заданному коэффициенту избытка окислителя.

Тема 9. Методика термодинамического расчета энергетических характеристик ВЭМ.

Краткое содержание темы. Уравнения сохранения вещества, уравнения диссоциации, закон Дальтона. Метод Ньютона.

Тема 10. Программный комплекс «TERRA».

Краткое содержание темы. Исходные данные для термодинамического расчета. Интерпретация результатов термодинамического расчета.

Тема 11. Проект разработки топлива с заданными характеристиками для летательного аппарата.

Краткое содержание темы. Этапы выполнения проекта: выбор компонентов топлива, расчет компонентных составов, термодинамическое моделирование и расчет энергетических характеристик топлива, определение параметров формальной кинетики и скорости горения топлива, анализ продуктов сгорания топлива, оценка эффективности топлива.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

### **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

### **11. Учебно-методическое обеспечение**

а Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «iDO» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=22435>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План практических занятий по дисциплине.

1. Выбор компонентов высокоэнергетического топлива с учетом теплофизических характеристик.

2. Классификация методов экспериментальных исследований физико-химических характеристик ВЭМ.

3. Расчет теплофизических параметров смесевых композиций на основе термодинамических уравнений.

4. Применение программного комплекса «TERRA». Анализ результатов термодинамического расчета энергетических характеристик топлива.

5. Расчет удельного импульса и тяги двигателя.

6. Этапы проектирования топлива с заданными характеристиками.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

При проведении самостоятельной работы предлагается индивидуальное задание.

Написать реферат на основе научных статей из журналов "Физика горения и взрыва", "Химическая физика" на темы:

- 1) Исследование характеристик горения термитных систем.
- 2) Влияние энергетических характеристик топлив на баллистические характеристики летательных систем.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Ерохин, Б. Т. Теория и проектирование ракетных двигателей : учебник / Б. Т. Ерохин. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 608 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168767> (дата обращения: 04.03.2022).

– Гремячкин В. М. Гетерогенное горение частиц твердых топлив / В. М. Гремячкин. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 230 с.

– Физика и химия горения нанопорошков металлов в азотсодержащих газовых средах / Под ред. Громова А.А. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 332 с.

– Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы : учебное пособие для вузов / В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. – Москва : Издательство Юрайт, 2018. – 325 с. – (Университеты России). – ISBN 978-5-534-04377-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/415249> (дата обращения: 05.03.2022)э

– Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Наука-Физматлит, 2007. – 416 с.

б) дополнительная литература:

– Горбенко Т. И. Методы экспериментального исследования характеристик высокоэнергетических материалов : учебно-методический комплекс / Т. И. Горбенко , М. В. Горбенко ; Том. гос. ун-т, [Ин-т дистанционного образования]. - Томск : [ИДО ТГУ], 2012. - . URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000461066>

– Теория горения и взрыва : учеб.-метод. пособие /О.М. Зиновьева [и др.]; под ред. Б.С. Мастрюкова. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. –102 с.

– Жуков Б.П. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь. – М.: Янус–К, 2000. – 596 с.

– Ягодников Д.А. Воспламенение и горение порошкообразных металлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 432 с.

– Ассовский И.Г. Физика горения и внутренняя баллистика. – М.: Наука. 2005, – 357 с.

– Шленский О.Ф. Горение и взрыв материалов. – М.: Машиностроение, 2012. – 216 с.

– Белов Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы.– М.: Научный Мир, 2002. – 184с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Горбенко Т. И. Методы экспериментального исследования характеристик высокоэнергетических материалов : учебно-методический комплекс / Т. И. Горбенко , М. В. Горбенко ; Том. гос. ун-т, [Ин-т дистанционного образования]. – Томск : [ИДО ТГУ], 2012. – . URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000461066>. Интернет сеть ТГУ: <http://edu.tsu.ru/eor/resource/759/tpl/index.html>.

– Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон.дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.ru>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### 15. Информация о разработчиках

Горбенко Татьяна Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент, Томский государственный университет, Физико-технический факультет, кафедра Прикладной газовой динамики и горения, доцент.