

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

**24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Баллистика и гидроаэродинамика**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Е.И. Борзенко

К.С. Рогаев

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и инженерных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

ПК-1 Способен проводить сбор, обработку, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний

ПК-2 Способен проводить наблюдения и измерения, составлять их описания и формулировать выводы.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерные технологии для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

РОПК-1.1 Знает методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации

РОПК-1.2 Умеет применять методы анализа научно технической информации

РОПК-2.1 Знает цели и задачи проводимых исследований и разработок

РОПК-2.2 Умеет применять методы проведения экспериментов.

## **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**

Седьмой семестр, зачет

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

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Физика», «Инженерная и компьютерная графика», «Термодинамика», «Химия», «Внутренняя баллистика».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 10 ч.

-практические занятия: 20 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).

Компоненты ВЭМ. Физико-кинетические характеристики ВЭМ.

Тема 2. Методы исследования дисперсного состава компонентов ВЭМ.

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.

Кондуктивный метод зажигания исследуемого вещества. Лучистое зажигание. Лазерное зажигание.

Тема 4. Методы определения стационарной скорости горения энергетических систем (ЭС) в широком диапазоне давлений.

Скорость горения в вакууме. Скорость горения в атмосфере воздуха. Скорость горения в приборе постоянного давления.

Тема 5. Определение законов горения энергетических систем.

Законы горения. Степенной закон горения. Показатель степени в степенном законе горения. Зависимость показателя степени в законе скорости горения от коэффициента избытка окислителя ЭС.

Тема 6. Диагностика дисперсности и химического состава продуктов сгорания энергетической системы.

Рентгеноструктурный анализ продуктов горения. Дифрактометр XRD-6000. Рентгенофазовый анализ.

Тема 7. Методика расчета компонентного состава энергетических систем.

Расчет эквивалентной формулы для индивидуальных веществ и расчет коэффициента избытка окислителя этих веществ. Расчет компонентного состава сложной энергетической системы по заданному коэффициенту избытка окислителя.

Тема 8. Методика термодинамического расчета характеристик горения энергетических систем.

Уравнения сохранения вещества, уравнения диссоциации, закон Дальтона. Метод Ньютона.

## Тема 9. Программный комплекс «TERRA».

Исходные данные для термодинамического расчета. Термодинамический расчет состава продуктов горения при истечении из соплового аппарата. Расчет температуры и энергетических характеристик исследуемых систем при заданном перепаде давлений. Интерпретация результатов термодинамического расчета.

Тема 10. Проект разработки энергетической системы с заданными характеристиками для летательного аппарата.

Этапы выполнения проекта: выбор исходных компонентов энергетической системы, расчет компонентных составов, термодинамическое моделирование и расчет энергетических характеристик системы, определение параметров формальной кинетики и скорости горения энергетической системы, анализ продуктов сгорания ЭС, оценка эффективности энергетических систем.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения домашних заданий по лекционному материалу, доклада, реферата, 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

Зачет в седьмом семестре проводится в устной форме. Экзаменационный билет состоит из трех частей: два теоретических вопроса и задача. Продолжительность зачета 1 час.

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.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 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, 2022. – 608 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168767> (дата обращения: 07.02.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

– Ягодников, Д. А. Горение порошкообразных металлов в газодисперсных средах: монография / Д. А. Ягодников. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. – 448 с. – ISBN 978-5-7038-4807-4. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1964145> (дата обращения: 05.02.2025). – Режим доступа: по подписке.

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

– Белов Г.В., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, – Электронное учебное издание. – 2013. – 96 с. [https://ihed.ras.ru/~thermo/index\\_metod.htm](https://ihed.ras.ru/~thermo/index_metod.htm) .

– 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.

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

Трусов, Б. Г. Программная система моделирования фазовых и химических превращении / Б. Г. Трусов // Инженерный журнал: наука и инноваций. – 2012. – № 1. – С. 21–30.

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>.

– Горбенко Т. И. Методы экспериментального исследования характеристик высокоэнергетических материалов: учебно-методический комплекс / Т. И. Горбенко, М. В. Горбенко ; Том. гос. ун-т. Электронный образовательный ресурс. 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);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

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, оснащенные компьютерной техникой.

Аудитории для проведения занятий практического типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

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, кафедра Автоматизации технологических процессов, Физико-технический факультет, НИ Томский государственный университет, доцент.