

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико – технический факультет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по ОД

— Е.В. Луков

«28» октября 2022г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности
2.5.15. Тепловые, электроракетные и энергоустановки летательных
аппаратов

Томск – 2022

Программа кандидатского экзамена по научной специальности **2.5.15. Тепловые, электроракетные и энергоустановки летательных аппаратов** рассмотрена и рекомендована к утверждению ученым советом физико – технического факультета
протокол № 11 от 27.10.2022

Авторы-разработчики:

1. Шрагер Э.Р., доктор физ.- мат. наук, доцент, профессор кафедры математической физики
2. Крайнов А.Ю., доктор физ.- мат. наук, профессор, заведующий кафедрой математической физики
3. Миньков Л.Л., доктор физ.- мат. наук, профессор, профессор кафедры математической физики

Руководитель ОП



Шрагер Э.Р.

1. Общие положения

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» кандидатские экзамены сдаются в соответствии с научной специальностью (научными специальностями) и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее – Минобрнауки России), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени к проведению научных исследований по научной специальности **2.5.15. Тепловые, электроракетные и энергоустановки летательных аппаратов** по техническим наукам (далее – кандидатский экзамен).

Программа кандидатского экзамена разработана на основе паспорта научной специальности **2.5.15. Тепловые, электроракетные и энергоустановки летательных аппаратов** (далее – Программа), утвержденного ВАК при Минобрнауки России <https://drive.google.com/drive/folders/IRNYkXhvAzaEF85GqxOH8HhbenJIoUMR7>.

Организация и проведение приема кандидатского экзамена осуществляется в соответствии с установленным в НИ ТГУ порядком.

Подготовка по Программе может осуществляться как самостоятельно, так и в рамках освоения соответствующей программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре НИ ТГУ. Сдача аспирантом кандидатского экзамена является обязательным условием обучения и относится к оценке результатов освоения базовой дисциплины (модуля) образовательного компонента программы, осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

2. Структура кандидатского экзамена и шкала оценивания уровня знаний

Программа кандидатского экзамена разработана на основе программы-минимум разработанной экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по авиационно-космической и ракетной технике при участии МАИ (ТУ) им. С. Орджоникидзе, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского и ЦИАМ им. П.И. Баранова и индивидуальной дополнительной программы, разрабатываемой кафедрой в соответствии с паспортом специальности и курсом «*Тепловые, электроракетные и энергоустановки летательных аппаратов*» для аспирантов.

Кандидатский экзамен проводится в форме устного экзамена по билетам продолжительностью один академический час и состоит из следующих частей:

1. Основные вопросы (не более трёх вопросов из первого раздела).
2. Дополнительные вопросы (не более трёх вопросов из 2-го раздела).

Оценка уровня знаний по каждому вопросу осуществляется по пятибалльной шкале со следующим принципом перерасчета:

- «отлично» – 5 баллов;
- «хорошо» – 4 балла;
- «удовлетворительно» – 3 балла;
- «неудовлетворительно» – 1-2 балла.

При оценивании ответов на каждый из вопросов экзаменационного билета учитываются следующие критерии:

Ответ на вопрос исчерпывающий, продемонстрировано понимание и знание сути вопроса в полном объеме. Замечаний нет.	5 баллов
Ответ на вопрос неполный, но раскрывающий основную суть вопроса, продемонстрировано понимание и знание вопроса в достаточном объеме. Замечания незначительные.	4 балла
Ответ неполный с существенными замечаниями, знания по вопросу фрагментарные и частичные, в том числе и по тематике диссертационного исследования.	3 балла
Ответ на вопрос отсутствует или дан неправильный	1-2 балла

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии:

«отлично» – при наличии не менее 80% 5-балльных ответов и отсутствии 3-2-1-балльных ответов;

«хорошо» – при наличии не менее 80% 4-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«удовлетворительно» – при наличии более 20% 3-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«неудовлетворительно» – при наличии 1-2 балльного ответа (или отказа отвечать на вопрос).

3. Перечень тем и вопросов для подготовки к сдаче экзамена

Раздел 1. Основные вопросы.

Ракетные двигатели (РД).

Общие вопросы теории ракетных двигателей. Типы ракетных двигателей (РД). Классификация РД. Ракетные двигатели на химических топливах: ЖРД, РДТТ, ГРД. Ядерные ракетные двигатели. Лазерные и солнечные двигатели.

Особенности и области применения различных типов РД. Уравнения тяги РД. Коэффициенты полезного действия РД (термический, тяговый, общий). Характеристические параметры РД: удельный импульс, характеристическая скорость, коэффициент тяги сопла, удельная масса. Оценка потерь в камере РД.

Расчет тяги и удельного импульса камеры РД с использованием газодинамических функций. Устройство и оценка совершенства сопел. Режимы недорасширения и перерасширения. Тяга камеры при отрыве потока от стенок сопла. Анализ и оценка потерь в соплах. Высотная характеристика. Регулирование высотности сопла.

Основные сведения о жидких, твердых и гибридных ракетных топливах и их физико-химических характеристиках. Воспламенение топлив. Основы расчетов термохимических свойств топлив.

Особенности конвективного теплообмена в камере сгорания и сопле. Методы расчета конвективных тепловых потоков на основе решения уравнений пограничного слоя. Расчеты конвективного теплообмена на основе теории подобия. Лучистый теплообмен в условиях камеры сгорания и сопла РД. Расчет лучистых тепловых потоков. Теплозащитные покрытия и механизмы их разрушения.

Ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ).

Основные сведения о физико-химических законах горения баллистических и смесевых ТРТ. Зависимости скорости горения ТРТ от давления и начальной температуры. Эрозионное горение. Общие законы изменения формы элемента заряда в процессе горения.

Типы зарядов ТРТ. Плотность заряжения камеры сгорания, основные ограничения плотности заряжения. Расчет основных типов зарядов ТРТ. Расчет течения газов при различных формах зарядов ТРТ. Течение газа в предсопловом объеме камеры. Течение газа через местные сопротивления. Процесс воспламенения основного заряда ТРТ. Выбор типа и массы заряда воспламенительного устройства. Приближенный расчет изменения давления в камере при запуске двигателя. Способы регулирования тяги РДТТ по величине: предстартовое регулирование и регулирование в полетных условиях. Способы отсечки тяги. Пути создания РДТТ с многократным включением. Неустойчивость рабочего процесса в РДТТ. Принципиальные схемы гибридных ракетных двигателей, модели горения в них. Расчет основных параметров рабочего процесса ГРД. Перспективы развития РДТТ.

Раздел 2. Дополнительные вопросы.

Направления исследований:

1. Разработка методов расчета термогазодинамических и теплофизических процессов в двигателях и энергосиловых установках летательных аппаратов, их элементах.

Понятие сплошной среды. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения

для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.

Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.

Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Задача о структуре сильного разрыва, качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля.

Методы построения разностных схем. Понятие консервативности, однородные разностные схемы. Постановка разностных краевых задач. Исследование устойчивости разностных схем, применяемых в механике жидкостей, газа и плазмы, методы исследования устойчивости. Анализ распространённых разностных схем для решения систем уравнений гиперболического типа.

2. Разработка методов решения сопряженных задач газовой динамики, теплообмена, взаимодействия потоков высокой энергии с материалами деталей и узлов ракетных двигателей.

Законы термодинамики. Термодинамические функции. Способы передачи тепла. Поле температур и тепловых потоков. Физическая картина теплообмена между телом и окружающей средой. Внутренняя задача. Краевые условия. Коэффициент теплоотдачи. Кондуктивный механизм теплоотдачи. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Виды источников тепла. Решение стационарного уравнения теплопроводности в некоторых простейших случаях. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Тепловое излучение. Абсолютно черное тело. Закон Стефана - Больцмана. Закон поглощения излучения.

Ударные волны. Законы сохранения на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Структура ударной волны в газах. Истечение газа через сопло. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Сжимаемость. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия. Сопротивление и теплопередача в ламинарном потоке. Конвективный теплообмен. Турбулентное движение и турбулентный теплообмен. Модели турбулентности. Методы расчета турбулентных явлений в газе, жидкости и плазме. Теплообмен и сопротивление в многофазных средах. Численные и асимптотические методы решения задач тепло и массопереноса. Методы построения разностных схем. Понятие консервативности, однородные разностные схемы. Постановка разностных краевых задач. Исследование устойчивости разностных схем. Основы

организации пакетов прикладных задач. Технология разработки комплекса программ. Принципы организации блоков данных, хранение и поиск информации. Численный эксперимент в теплофизике.

Основная литература

1. Милёхин Ю.М., Бурский Г.В., Лавров Г.С., Попов В.С., Садовничий Д.Н. Энергетика и внутренняя баллистика ракетных двигателей на твердом топливе / Под ред. Ю.М. Милёхина. М.: Наука, 2018. 359 с.

2. Милёхин Ю.М., Ключников А.Н., Бурский Г.В., Лавров Г.С. Энергетика ракетных двигателей на твердом топливе / Под ред. Ю.М. Милёхина. М.: Наука, 2013. 207 с.

4. Сорокин В.А., Яновский Л.С., Козлов В.А. и др. Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах. Основы проектирования и экспериментальной отработки / Под ред. Ю.М. Милёхина, В.А. Сорокина. М.: Физматлит, 2010. 320 с.

5. Внутренняя баллистика РДТТ. Справочник / Под ред. А.М. Липанова, Ю.М. Милёхина. М.: Машиностроение, 2007. 504 с.

6. Губертов А.Н., Миронов В.В., Борисов Д.М. Газотермодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива / Под ред. А.С. Коротева. М.: Машиностроение, 2004. 512 с.

7. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Под ред. В.П. Глушко. М.: Машиностроение, 1989. 463 с.

8. Шишков А.А., Панин С.Д., Румянцев Б.В. Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 240 с.

9. Соркин Р.Е. Теория внутрикамерных процессов в ракетных системах на твердом топливе. М.: Наука, 1983. 288 с.

Дополнительная литература:

1. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 468 с.

2. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 464 с.

3. Луканин В.Н., Шатров М.Г. и др. Теплотехника: Учебник Высшая школа. 2009, 671

4. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.М. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008

5. П.Роуч Вычислительная гидродинамика. М.: Мир., 1980г..

6. Численное решение многомерных задач газовой динамики под ред. Годунова С.К.

7. Луканин В.Н., Шатров М.Г. и др. Теплотехника: Учебник Высшая школа. 2009, 671 с.

8. Петухов Б.С. Вопросы теплообмена. М.: Наука.-1987.-280 с.

3. Пример экзаменационного билета

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кандидатский экзамен по специальности
2.5.15. Тепловые, электроракетные и энергоустановки летательных
аппаратов

Экзаменационный билет № 1

Основные вопросы

1. Анализ и оценка потерь в соплах РД.
2. Эрозионное горение.
3. Общие законы изменения формы элемента заряда в процессе горения.

Дополнительные вопросы

1. Задача о структуре сильного разрыва.
2. Постановка разностных краевых задач.
3. Конвективный теплообмен.

Председатель экзаменационной комиссии



Э.Р. Шрагин