**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИШЭ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.С. Матвеев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 г.

**ПРОГРАММА кандидатского экзамена**

ПРИЕМ **2024 г.**

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ **очная**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **1.3.17 ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ,**  **ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА** | | | | |
|  |  | | | |
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации | | | |
| Курс | 2 | | семестр | **4** |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  | |  | | |
| И.о. заведующего кафедрой - руководителя научно-образовательного центра на правах кафедры И.Н. Бутакова | |  | | Т.С. Тайлашева |
| Руководитель программы аспирантуры | |  | | П.А. Стрижак |

2024 г.

1. **Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 1.3.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 1.3.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества составили ключевые проблемы современной теории физико-химического реагирования для веществ и материалов в разном агрегатном состоянии.

1. Атомно-молекулярная структура химических частиц и веществ, механизмы химического превращения, молекулярная, энергетическая, химическая и спиновая динамика элементарных процессов, физика и физические теории химических реакций и экспериментальные методы исследования химической структуры и динамики химических превращений.
2. Пространственное и электронное строение, атомно-молекулярные параметры изолированных атомов, ионов, молекул; структура и свойства вандерваальсовых молекул, комплексов, ритберговских молекул, кластеров, ассоциатов, пленок, адсорбционных слоев, интеркалятов, межфазных границ, мицелл, дефектов; структура и свойства кристаллов, аморфных тел, жидкостей; поведение веществ и структурно-фазовые переходы в экстремальных условиях – в электрических и магнитных полях, в условиях статического и динамического сжатия, в полях лазерного излучения, в плазме и в гравитационных полях, при сверхнизких температурах и в других условиях.
3. Молекулярная динамика, межмолекулярные потенциалы и молекулярная организация веществ; компьютерная молекулярная динамика как метод диагностики структуры и динамики веществ; динамические теории в описании упругости, релаксации, пластической деформации, теплопроводности, реологии; динамика фазовых переходов.
4. Энергетическая динамика и селективное заселение электронных, колебательных и вращательных состояний; обмен и передача энергии между различными состояниями внутри молекулы и межмолекулярный энергетический обмен; релаксация внутренней энергии в кинетическую и в энергию решетки; особенности энергетической динамики в газах, кластерах, жидкостях, твердых телах и межфазных границах; энергетика химических реакций и механизмы запасания энергии в молекулах.
5. Поверхности потенциальной энергии химических реакций и квантовые методы их расчета; динамика движения реагентов на потенциальной поверхности; методы динамических траекторий и статические теории реакций; туннельные эффекты в химической динами-ке; превращение энергии в элементарных процессах и химические лазеры; химические механизмы реакций и управление реакционной способностью; когерентные процессы в химии, когерентная химия – квантовая и классическая; спиновая динамика и спиновая химия; фемтохимия; спектроскопия и химия одиночных молекул и кластеров; экспериментальные методы исследования химической, энергетической и спиновой динамики.
6. Строение, структура и реакционная способность интермедиатов химических реакций; химические механизмы и физика каталитических процессов; динамика, структура и спектроскопия каталитически активных поверхностей.
7. Закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчи-вость волн горения, детонации, взрывных и ударных волн; связь химической и физической природы веществ и систем с их термохимическими параметрами, характеристиками термического разложения, горения, взрывчатого превращения; термодинамика, термохимия и макрокинетика процессов горения и взрывчатого превращения.
8. Процессы аналоги горения, детонации и взрыва; взаимодействие волн горения и взрывчатого превращения со средой, объектами и веществами; явления, порождаемые горением и взрывчатым превращением; процессы горения и взрывчатого превращения в устройствах и аппаратах для производства энергии, работы, получения веществ и продуктов; управление процессами горения и взрывчатого превращения.
9. **Содержание и структура кандидатского экзамена**

**Строение вещества**

Основы квантовой теории многоэлектронных систем. Адиабатическое приближение Борна-Оппенгеймера. Свойства симметрии многоэлектронной волновой функции. Основное и возбужденное состояния атома гелия. Многоэлектронные атомы и периодическая система элементов. Операторы момента импульса. Уровни энергии. Основные принципы теории валентности.

Электронное строение молекул. Метод молекулярных орбиталей и его применение к двухатомным молекулам. Молекулярный ион водорода и молекула водорода. Молекулярные орбитали гомоядерных двухатомных молекул. Гетероядерные двухатомные молекулы. Правило пересечения потенциальных кривых. Понятие о методе самосогласованного поля. Гибридизация атомных волновых функций. Метод молекулярных орбиталей в приближении Хюккеля применительно к молекулам с сопряженными связями.

Электронное строение координационных соединений. Межмолекулярное взаимодей-ствие. Теория кристаллического поля. Комплексы со слабой и сильной связью. Спин-орбитальное взаимодействие. Применение метода молекулярных орбиталей к координацион-ным соединениям. Эффект Яна-Теллера. Силы Ван-дер-Ваальса. Донорно-акцепторные комплексы. Водородная связь.

Строение и свойства твердого тела. Природа сил взаимодействия в кристаллах. Колебания и волны в одномерной решетке. Колебания атомов трехмерной кристаллической решетки. Нормальные колебания. Электрон в периодическом поле. Приближение слабо и сильно связанных электронов. Зоны Бриллюэна. Структура энергетических зон. Локализованные состояния электронов в кристалле.

Химическая радиоспектроскопия. Условия возникновения ЯМР и ЭПР. Времена релаксации и форма резонансной линии. Гамильтониан магнитных взаимодействий. Химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие в ЯМР. Сверхтонкая структура спектров ЭПР. Интерпретация тензоров сверхтонкого взаимодействия и g-тензора. Возможности методов магнитного резонанса для исследования скоростей молекулярных и химических процессов.

**Основы молекулярной фотоники**

Электронная структура молекул. Возбужденные состояния. Поглощение и испускание света. Спектры поглощения и люминесценции. Флуоресценция и фосфоресценция. Теория и методы расчета электронно-колебательных спектров многоатомных молекул. Приближения Франка-Кондона и Герцберга-Теллера. Потенциальные поверхности электронно-возбужденных состояний. Переходы между состояниями. Матричные элементы переходов. Релаксация. Взаимодействия в возбужденных состояниях, комплексы с переносом заряда, эксимеры и эксиплексы. Безызлучательные электронные переходы. Неадиабатическое взаимодействие. Перенос заряда. Перенос энергии электронного возбуждения. Индуктивно-резонансный механизм. Теория Ферстера-Декстера. Миграция возбуждения по донорам.

Законы фотохимии. Классификация фотохимических реакций. Фотодиссоциация. Фотоприсоединение. Фотозамещение и фотоперегруппировка. Фотохимические окислительно-восстановительные реакции. Фотохимическая кинетика.

Основные принципы конструирования избирательных супрамолекулярных систем. Фотоуправляемое комплексообразование. Фотоинициированные структурные и фазовые превращения. Кинетика тушения флуоресценции в микроэмульсиях. Методы оптической (в том числе нелинейной) спектроскопии: адсорбционные, флуоресцентные, поляризационные, комбинационного рассеяния. Место фотохимии в области развития современных технологий и средств техники.

**Динамика атомов и молекул**

Химическая термодинамика и равновесие. Равновесное распределение молекул идеального газа. Распределение Максвелла и распределение Больцмана. Распределение Бозе и Ферми. Статистика Гиббса. Термодинамические свойства идеальных газов. Флуктуации. Равновесие фаз. Слабые растворы. Химические равновесия. Поверхностные явления.

Элементарные атомно-молекулярные процессы. Упругие столкновения атомов. Полное и дифференциальное сечения рассеяния. Неупругие столкновения. Вероятности переходов, сечения и константы скорости прямых и обратных процессов. Поверхность потенциальной энергии для системы трех атомов. Метод переходного состояния. Неадиабатические процессы.

Мономолекулярные реакции. Механизм активации молекул. Сильные столкновения и ступенчатое возбуждение. Статистическая модель мономолекулярных реакций.

Термический распад двухатомных молекул. Бимолекулярные реакции, идущие через образование промежуточного комплекса. Прямые бимолекулярные реакции: рикошетный механизм, механизм срыва, механизм прямого выбивания. Распределение энергии в бимолекулярных реакциях.

Обмен энергии при молекулярных столкновениях. Превращение поступательной, вращательной и колебательной энергий при столкновениях. Релаксация по поступательным, вращательным и колебательным степеням свободы. Кинетические уравнения для заселенностей уровней энергии (в том числе при наличии химических реакций).

Взаимодействие электронов с атомами и молекулами. Возбуждение атомов и молекул электронным ударом. Ионизация атомов и молекул электронным ударом. Фотоионизация. Рекомбинация электронов и атомов.

**Основы химической кинетики**

Механизм и скорость химической реакции. Закон действующих масс. Порядок реакции. Константа скорости. Закон Аррениуса. Кинетика сложных реакций. Обратимые, последовательные, параллельные процессы. Прямая и обратная кинетическая задача. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующая стадия сложного химического процесса. Кинетика химических реакций в открытых системах. Стационарные режимы.

Химические реакции в жидкой фазе. Роль среды в элементарном акте химической реакции. Влияние диффузии на скорость реакции. Клеточный эффект. Влияние диэлектрической постоянной и ионной силы на скорости химических реакций в растворах. Солевой эффект. Влияние давления на скорость реакции. Объем активации. Соотношения структура – реакционная способность. Уравнения Гаммета и Тафта. Влияние магнитного поля на скорость химической реакции.

Индуцированные и гомогенно-каталитические реакции. Сопряженные реакции. Фотохимические и радиационно-химические реакции. Механизм гомогенного катализа. Кинетика гомогенно-каталитических реакций. Кислотно-основный катализ. Зависимость скорости химической реакции от функции кислотности Гаммета. Ферментативный катализ. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Катализ комплексами и ионами металлов переменной валентности. Автокатализ.

Гетерогенный катализ. Равновесие и кинетика адсорбции на однородных и неоднородных поверхностях. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Хемосорбция. Моно- и полимолекулярные слои адсорбатов на поверхности. Ингибирование и конкуренция реакций на поверхности. Механизмы гетерогенного катализа. Уравнения Лэнгмюра-Хиншельвуда и Ридила.

**Основы синергетики**

Проблема порядка и беспорядка в структуре материи. Динамика и информация. Проблема необратимости. Динамический хаос. Диссипативные динамические системы.

Параметр порядка в критических явлениях и фазовых переходах. Теория фазовых переходов первого и второго рода. Теория Ландау. Флуктуационная теория фазовых переходов. Гипотеза подобия. Скейлинговая теория критических показателей.

Неравновесные фазовые переходы. Вынужденный порядок в открытых физических системах. Принцип Пригожина–Гленсдорфа. Самоорганизация. Пространственные и временные диссипативные структуры. Генерация когерентного излучения в лазере как пример неравновесного фазового перехода.

Пространственно-временные диссипативные структуры в химии. Реакция Белоусова–Жаботинского.

**Химическая физика горения и взрыва**

Теория процессов горения. Уравнения теплопроводности и диффузии в химически реагирующей среде. Теория и критерий теплового взрыва. Цепной взрыв. Пределы цепного взрыва. Воспламенение и зажигание. Зажигание накаленной стенкой. Зажигание искрой. Очаговое воспламенение и минимальная энергия зажигания.

Теория и закономерности стационарного горения газовой смеси. Нормальная скорость распространения пламени. Пределы распространения пламени, предельный диаметр и предельная концентрация компонентов смеси. Диффузионно-тепловая неустойчивость пламени. Представление о турбулентном горении. Холодные пламена. Горение неперемешанных газов.

Горение твердых и жидких веществ в окислительной атмосфере. Зажигание и горение частиц и капель горючего в окислительной среде. Горение летучих и нелетучих взрывчатых веществ, порохов, смесей горючего с окислителем. Физика нестационарного горения.

Горение жидких взрывчатых веществ. Горение пористых зарядов взрывчатых веществ и порохов. Фильтрационное горение. Условия перехода послойного горения на конвективный режим и во взрыв.

Ударные волны и детонация. Система уравнений газовой динамики для одномерных движений в координатах Лагранжа и Эйлера. Характеристики, инварианты Римана. Понятие простой волны. Ударные волны. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии на фронте ударной волны. Уравнения состояния газа и конденсированных сред. Ударная адиабата, изоэнтропы, их взаимное расположение. Ударные волны в реагирующих и релаксирующих средах. Взаимодействие волн – распады разрывов, затухание ударных волн.

Современная теория детонации. Правило отбора скорости стационарной детонации. Структура детонационной волны. Устойчивость детонационных волн. Пределы детонации. Пределы возбуждения детонации. Принцип Харитона. Особенности механизма энерговыделения в гомогенных и гетерогенных конденсированных веществах. Методы измерения основных параметров детонации. Современные методы решения задач физики горения и взрыва.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена, включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируется аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

**1. Теория и практика использования композиционных и смесевых топлив в энергетике.**

Методы экспериментального исследования процессов зажигания и горения композиционных жидких (водоугольных, органоводоугольных) и смесевых топлив в условиях, соответствующих камерам сгорания паровых и водогрейных котлов. Установление механизмов и основных закономерностей процессов зажигания и горения композиционных жидких топлив и топлив на основе угля и древесины. Разработка математических моделей и методов решения соответствующих краевых задач математической физики применительно к процессам зажигания одиночных частиц водоугольных и органоводоугольных топлив, а также групп частиц, в условиях интенсивного нагрева. Установление по результатам теоретических исследований зависимостей основных характеристик процессов зажигания и горения частиц водоугольных и органоводоугольных топлив от основных значимых факторов. Исследования влияния компонентного состава смесевых топлив на характеристики их зажигания и горения.

**2. Физические и теоретические основы процессов зажигания дисперсных сред и гелеобразных топлив локальными источниками энергии.**

Экспериментальные методики исследования основных характеристик зажигания дисперсных сред и гелеобразных топлив при локальном нагреве (одиночными нагретыми до высоких температур частицами и лазерным излучением). Установление связей времен задержки зажигания конденсированных веществ и численных значений основных значимых факторов (тепловых потоков, температур, размеров частиц и областей нагрева, свойств материалов и веществ, условий взаимодействия). Разработка математических моделей процессов зажигания дисперсных сред и гелеобразных топлив локальными источниками нагрева. Решение задач зажигания применительно к условиям работы специальных энергоустановок и двигателей.

**3. Разработка методов математического моделирования процессов полимеризации изделий из композиционных полимерных материалов в технологиях машиностроения, электротехнических и радиотехнических материалов, производства специальных конструкционных и строительных материалов.**

Создание математических моделей тепломассопереноса и химического реагирования (полимеризации) при нагреве изделий из композиционных полимерных материалов в термокамерах в условиях конвективного и радиационного нагрева. Разработка методов решения задач, алгоритмов и программ расчета характеристик процессов отверждения полимерных материалов. Моделирование технологических процессов производства изделий из композиционных полимерных материалов различного назначения (в том числе крупногабаритных, сложной конфигурации). Экспериментальное определение термокинетических параметров и процессов полимеризации для группы типичных полимерных композитов (стеклопластиков, углепластиков, аморфных и кристаллических наполненных полимеров).

1. **Методические указания по процедуре проведения**

**и оценивания кандидатского экзамена**

**Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена**

К кандидатскому экзамену допускаются:

* аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
* соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами НОЦ И.Н. Бутакова, на базе которого ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 1.3.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению*. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата включает* титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной* *части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

**Проведение кандидатского экзамена**

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 1.3.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **% выполнения заданий**  **экзамена** | **Экзамен, балл** | **Соответствие**  **традиционной оценке** | **Определение оценки** |
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

1. **Рекомендуемая литература**

**Основная литература**

1. Williams F.A. Combustion Theory: The Fundamental Theory of Chemically Reacting Flow Systems, Second Edition. USA, Princeton University, 2018. – 680 p. https://doi.org/10.1201/9780429494055
2. Robl T., Oberlink A., Jones R. Coal Combustion Products (CCPs): Characteristics, Utilization and Beneficiation. University of Kentucky, Lexington, KY, United States; University of Dundee, Dundee, Scotland, United Kingdom, 2017. – 564. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100945-1.09991-3
3. Chhabra R.P. CRC handbook of thermal engineering, Second edition. Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur, India, 2017. – 1649. https://doi.org/10.4324/9781315119717
4. Mishra D.P. Experimental combustion: An introduction. Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur, India, 2014. – 344 p. https://doi.org/10.2514/1.J054500
5. McAllister S., Chen J-Y., Fernandez-Pello A.C. Fundamentals of Combustion Processes. New York (USA): Springer, 2011. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7943-8
6. Франк-Каменецкий, Д. А. Франк- Каменецкий, Д. А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике : учебник-монография / Д. А. Франк-Каменецкий. - 4-е изд. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. — 408 с. - ISBN 978-5-91559-004-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/199044 (дата обращения: 11.06.2025). – Режим доступа: по подписке.
7. Варнатц Ю.М. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М.: Физматлит, 2006. – 352 с.
8. Ассовский И.Г. Физика горения и внутренняя баллистика. М.: Наука, 2005. – 357 с.
9. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Зажигание органоводоугольных топливных композиций. Отв. ред. А.Р. Богомолов; Мин-во образования и науки РФ, Национальный исследовательский Томский политехнический ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 460 с.
10. Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Зажигание конденсированных веществ при локальном нагреве. Мин-во образования и науки РФ, Национальный исследовательский Томский политехнический ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 269 с.
11. Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А., Феоктистов Д.В. Гелеобразные топлива: приготовление, реология, распыление, горение. Отв. ред. Н.А. Прибатурин; Мин-во науки и высшего образования РФ, Национальный исследовательский Томский политехнический ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020. – 268 с.

**Дополнительная литература**

1. Vilyunov V.N., Zarko V.E. Ignition of Solids. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. – 442 p. https://doi.org/10.1007/BF01914286
2. Химия горения / Под ред. У. Гардинера. – М.: Мир, 1988. – 461 с.
3. Эквист, Б. В. Теория детонации взрывчатых веществ : учебное пособие / Б. В. Эквист. - Москва : Изд. Дом МИСиС, 2016. - 24 с. - ISBN 978-5-906846-18-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1221379 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.
4. Девисилов, В. А. Теория горения и взрыва : учебник / В. А. Девисилов, Т. И. Дроздова, А. И. Скушникова. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 262 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/7763. - ISBN 978-5-16-010477-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/1914107 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.
5. Ермолин, Н. Е. Горение газофазных и конденсированных систем. Методы расчета. Структура пламен : монография / Н. Е. Ермолин, В. М. Фомин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2022. - 520 с. - ISBN 978-5-9221-1923-8. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2124276 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.
6. Нуруляаев, Э. М. Основные характеристики смесевых ракетных твердых топлив и области их применения : учебное пособие / Э. М. Нуруляаев. - 2-е изд.. испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 364 с. - ISBN 978-5-9729-0651-2. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1832012 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.
7. Архипов, В. А. Нестационарные режимы горения конденсированных систем : учебное пособие / В. А. Архипов, С. С. Бондарчук, А. С. Жуков. - Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. - 252 с. - ISBN 978-5-94621-624-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1699021 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.
8. Кудинов, А. А. Горение органического топлива : учебное пособие / А.А. Кудинов. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 390 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/2886. - ISBN 978-5-16-009439-7. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1974344 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.
9. Чернов, К. В. Теория горения и взрыва в техносфере : учебное пособие / К. В. Чернов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. - 128 с. - ISBN 978-5-9729-1829-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2171156 (дата обращения: 30.08.2024). – Режим доступа: по подписке.