

## Программа по специальному курсу на английском языке

### «Горение и детонация»

Лектор проф. Смирнов Н.Н.

1. Основные характеристики горения. Предварительно перемешанные и не перемешанные системы, гомогенные и гетерогенные смеси. Горение и «фальшивое» горение. Теория Михельсона-Чепмена-Жуге.
2. Основные соотношения на фронте реакции в гомогенных газовых смесях, рассматриваемом как поверхность разрыва. Рассмотрение течений, содержащих волны горения и детонации, как областей неустановившегося непрерывного течения газов, разделенных поверхностями сильного разрыва, на которых происходит энерговыделение вследствие химических реакций.
3. Уравнения неустановившегося одномерного движения сжимаемой двухпараметрической среды и их характеристическая форма. Понятия нормального и исключительного газа. Простые волны. Существование простых волн разрежения в нормальном газе и невозможность длительного существования волн сжатия без образования ударной волны.
4. Ударные волны. Адиабата Гюгонио. Невозможность ударных волн разрежения в нормальном газе (теорема Цемплена). Задача о сильном взрыве. Распад произвольного разрыва в газе. Кривая Гюгонио в средах с энерговыделением. Дефлаграция как скачек разрежения. Детонация и дефлаграция Чепмена-Жуге. Основные свойства фронта реакции.
5. Основные характеристики сильной (пересжатой) и слабой (недосжатой) детонации, сильной (быстрой) и слабой (медленной) дефлаграции. Степень определенности течения при детонации и горении. О корректности постановки задач, содержащих поверхности разрыва с химическими реакциями. Автомодельные течения, содержащие фронт детонации или дефлаграции. Определение скорости распространения детонационных волн. Гипотеза Жуге.
6. Модели течений, учитывающие конечный размер зоны детонации (Модели Гриба-Зельдовича-Неймана-Деринга). Детонация как дефлаграция, введенная ударной волной. Случаи немонотонного энерговыделения в зоне реакции за ударной волной. Псевдонедосжатая детонация. Структура течения в стационарной зоне детонации (модель с одной обобщенной брутто реакцией). Устойчивость решения для сильной детонации и неустойчивость решения для слабой детонации.
7. Расчет структуры зоны детонации с учетом внешних воздействий: трения на стенках трубы, теплопотерь, притока или оттока массы, изменения площади сечения. Закон обращения воздействий. Условие самоподдерживающегося распространения головной ударной волны как условие существования звуковой поверхности (плоскости Чепмена-Жуге) в течении за волной. Множественность скоростей звука. Определение скорости самоподдерживающейся детонации.
8. Определение скорости нормального горения гомогенных смесей. Экспериментальное определение, основанное на законе В.А. Михельсона. Модель и определяющие уравнения тепловой теории распространения пламени. Приближенное определение

скорости горения по Малляру-Ле Шателье, по Зельдовичу-Франк-Каменецкому, и с учетом потерь в рамках модели конечной длины зоны реакции.

9. Исследование уравнений классической теории горения в постановке Колмогорова-Петровского-Пискунова.
10. Твердопламенное безгазовое горение - волновая локализация твердофазных реакций Мержанова-Боровинской-Шкиро. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез как область приложения твердопламенного горения.
11. Влияние крупномасштабной и мелкомасштабной турбулентности на распространение фронта горения. Неустойчивость фронта горения в газах, явление автотурбулизации. Ускорение турбулентного пламени. Контроль скорости турбулентного горения при избирательном внешнем подводе энергии.
12. Промежуточная аттестация: коллоквиум
13. Переход горения в детонацию в газах. Различие сценариев переходных процессов. Возникновение детонационных волн на контактных неоднородностях потока перед ускоряющимся фронтом пламени.
14. Развитие моделей переходных процессов. Модель спонтанного перехода Зельдовича. Модель «взрыва во взрыве» Оппенгейма. Модель формирования очагов детонации в «горячих точках».
15. Взаимодействие ударной волны с фронтом пламени. Эксперименты Томаса. Прямое численное моделирование Оран.
16. Волны детонации и дефлаграции со сферической и цилиндрической симметрией. Решение Л.И.Седова.
17. Спиновая детонация в газах. Структура детонационного фронта. Схема Зельдовича. Модель Войцеховского-Митрофанова-Топчияна. Две схемы сопряжения поперечной волны с головной.
18. Ячеистая структура детонации. Численное моделирование формирования двумерных ячеек в плоском канале при задании начального возмущения. Возможные трехмерные структуры детонационных ячеек. Спиновая детонация как предел ячеистой, когда размер одной ячейки становится сравнимым с размером трубы. Связь неустойчивости плоского одномерного фронта с ячеистой структурой в многомерном случае. Модель Коробейникова-Левина-Маркова-Черного
19. Вычислительное моделирование переходных процессов при развитии детонации в каналах сложной геометрии, содержащих более широкие каверны различных диаметров. Промотирование и ингибирование переходных процессов с помощью геометрических характеристик, температуры и состава исходной смеси.
20. Возникновение режимов низкоскоростной детонации и быстрого горения. Применение управляемой детонации в детонационных двигателях различных типов. Пульсирующие детонационные устройства.
21. Моделирование процессов горения в камере ракетного двигателя на многопроцессорных супер-ЭВМ. Накопление ошибок при решении нестационарных задач. Сравнительный анализ результатов, полученных с помощью различных вычислительных пакетов и данных экспериментов.
22. Понятие о детонации в гетерогенных системах.

## Литература

1. Зверев И.Н., Смирнов Н.Н. Газодинамика горения. Москва. Изд-во МГУ, 1987.
2. Смирнов Н.Н., Зверев И.Н. Гетерогенное горение. Москва. Изд-во МГУ, 1992.
3. Душин В.Р., Смирнова М.Н., Тюренкова В.В. Распространение волн в сплошных средах. Часть 1. Москва, изд-во НИИСИ РАН, 2016.
4. Черный Г.Г., Газовая динамика. М.: изд. Наука. 1988.