

Программа по специальному курсу.

«Распространение волн в реагирующих средах»

Лектор проф. Смирнов Н.Н.

1. Волны с энергосвободением. Детонация и горение. Сильная и слабая детонация, сильная и слабая дефлаграция (горение).
2. Процессы Чепмена-Жуге (минимальная скорость стационарной детонации, максимальная скорость стационарной дефлаграции). Стационарность изменения энтропии вдоль кривой Гюгонио и прямых Михельсона в точках Чепмена-Жуге.
3. Изменение энтропии вдоль адиабаты Гюгонио с энергосвободением и вдоль прямых Михельсона.
4. Степень определенности решения задач о поршне при наличии волн детонации или горения.
5. Примеры решения задач о распространении волн сильной и слабой детонации или дефлаграции в трубе при движении в ней поршня с положительной или отрицательной скоростью.
6. Переходные режимы задач распространения волн с энергосвободением. Переход горения в детонацию, расщепление детонационной волны на ударную и отстающую от нее волну горения. Галоппирующие режимы. Пульсирующая и спиновая детонация.
7. Полная система уравнений физико-химической газовой динамики многокомпонентных сред с учетом теплообмена, диффузии и физико-химических превращений. Осредненные модели турбулентности и необходимость их применения при численном решении задачи. Подсеточная турбулентность. Постановка граничных условий.
8. Моделирование кинетики химических реакций. Сокращенные кинетические механизмы. Роль цепных реакций при возникновении детонации.
9. Численное моделирование задач распространения турбулентного горения и перехода горения в детонацию. Роль геометрических факторов при возникновении переходных режимов и расщеплении детонационных волн. Возникновение низкоскоростной детонации и высокоскоростного горения. Влияние состава и температуры смеси на переходные режимы.
10. Иницирование детонации при отражении ударных волн и их фокусировки в конических и клиновидных кавернах. Сравнение вычислительного моделирования и экспериментов в ударных трубах.
11. Промежуточная аттестация: коллоквиум (указывается форма проведения)
12. Применение детонации в двигателях, использующих принципы детонационного горения. Устройства с пульсирующей детонационной волной и с непрерывно вращающейся детонационной волной.
13. Детонация и горение в гетерогенных средах. Процессы внутри зоны реакции. Основные уравнения для описания химически реагирующих течений в многофазных средах. Параметры межфазных взаимодействий. Применение метода Эйлера для описания движения газовой фазы и метода Лагранжа для описания движения диспергированной фазы.
14. Аэровзвеси. Горение капли горючего в атмосфере окислителя. Задачи диффузионного горения. Равновесные и неравновесные модели испарения.

15. Учет многостадийности химических реакций в рамках решения задач диффузионного горения. Примеры горения капель в режиме «холодного» пламени. Результаты экспериментов в условиях микрогравитации.
16. Взаимодействие капель жидкости с газовым потоком, два режима испарения. Вычислительное моделирование распространения пламени в аэровзвеси, перехода горения в детонацию, воспламенения струи при попадании в камеру сгорания, воспламенение облака частиц при падении на него ударной волны.
17. Горение частиц, содержащих твердые и жидкие горючие компоненты в атмосфере окислителя. Гетерогенные реакции. Динамика выгорания частиц. Распространение турбулентного горения в аэровзвеси в замкнутом объеме. Роль начальной турбуликации при определении времени и энергии зажигания, а также скорости распространения турбулентного пламени. Влияние неоднородности аэровзвеси на пределы зажигания.
18. Горение поверхности горючего в потоке окислителя. Решение задачи в рамках приближений плоского пограничного слоя. Распространение пламени навстречу потоку.
19. Результаты вычислительного моделирования распространения пламени над поверхностью горючего материала в спутном потоке, сравнение с точными решениями пограничного слоя. Неустойчивость фронта горения. Моделирование неустановившихся процессов запуска гибридного двигателя.

Литература

1. Smirnov N.N., Betelin V.B., Nikitin V.F., Phylippov Y.G., Koo J. Detonation engine fed by acetylene-oxygen mixture. *Acta Astronaut.* 2014.
2. N.N. Smirnov, V.F. Nikitin, Yu.G. Phylippov. Deflagration to detonation transition in gases in tubes with cavities. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 83, 6 (2010), pp. 1287-1316
3. N. N. Smirnov, O. G. Penyazkov, K. L. Sevrouk, V. F. Nikitin, L. I. Stamov, V. V. Tyurenkova. Onset of detonation in hydrogen-air mixtures due to shock wave reflection inside a combustion chamber. *Acta Astronautica*, 149:77–92, 2018.
4. V.B. Betelin, V.F. Nikitin, V.R. Dushin, A.G. Kushnirenko, V.A. Nerchenko, Evaporation and ignition of droplets in combustion chambers modeling and simulation, *Acta Astronaut.* 70 (2012) 23–35.
5. V.M. Guendugov, N.N. Smirnov, V.V. Tyurenkova, Solving the problem of diffusion combustion of a droplet with allowance for several independent reactions, *Combust. Explos. Shock Waves* 49 (6) (2013) 648–656.
6. V.V. Tyurenkova, Non-equilibrium diffusion combustion of a fuel droplet, *Acta Astronaut.* 75 (2012) 78–84.
7. V.V. Tyurenkova, N.N. Smirnov, V.M. Guendugov, Analytical solution for a single droplet diffusion combustion problem accounting for several chain reaction stages, *Acta Astronaut.* 83 (2013) 208–215.
8. N.N. Smirnov, V.B. Betelin, A.G. Kushnirenko, V.F. Nikitin, V.R. Dushin, V.A. Nerchenko. Ignition of fuel sprays by shock wave mathematical modeling and numerical simulation. *Acta Astronautica* 87 (2013) 14–29.
9. Nikolay N. Smirnov, Valeriy F. Nikitin, Vladislav R. Dushin, Yurii G. Filippov, Valentina A. Nerchenko, Javad Khadem Combustion onset in non-uniform dispersed mixtures. *Acta Astronautica* (2015), 115, 94-101.

10. N.N.Smirnov, V.V. Tyurenkova, M.N. Smirnova, Laminar diffusion flame propagation over thermally destructing material, *Acta Astronautica* (2015), 109, 217-224.
11. V. B. Betelin, A. G. Kushnirenko, N. N. Smirnov, V. F. Nikitin, V. V. Tyurenkova, L. I. Stamov. Numerical investigations of hybrid rocket engines. *Acta Astronautica*, 144:363–370, 2018.
12. N.N. Smirnov, V.F. Nikitin, L.I. Stamov, E.V. Mikhailchenko, V.V. Tyurenkova. Rotating detonation in a ramjet engine three-dimensional modelling. *Aerospace Science and Technology*. 81: 213-224, (2018).