

ВЛИЯНИЕ РАЗРЯДОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ЭНЕРГИЕЙ ИМПУЛЬСА НА ПРОЦЕСС ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ТУРБУЛЕНТНЫЙ КАСКАД

Тропина А.А., Вовк Е.Г.

ХНАДУ, Харьков, Украина

Вопросам, связанным с управлением потоками, посвящено огромное количество работ. Можно отметить, что в последние десятилетия стали интенсивно развиваться, так называемые, плазменные методы контроля течения и сформировалось новое направление в аэродинамике - плазменная аэродинамика [1]. Новое направление развивается параллельно с новым направлением в теории процессов горения, также связанным с методами контроля и управления процессами горения с помощью разрядной плазмы [2].

Вопросом, который вызывает большой интерес в данном случае, является вопрос о влиянии неравномерного ввода энергии, например, наносекундным импульсным разрядом с переменной энергией импульса и переменным числом импульсов в пачке, на турбулентный спектр и на процесс воспламенения. Известно, что в процессе эволюции плазменного канала в зависимости от величины вкладываемой энергии, можно получить различные значения величины интенсивности турбулентности, вызванные различными значениями ускорения газа в разных точках среды, и приводящими к локальному увеличению средней скорости сдвига. Говоря о процессе воспламенения, переменная энергия импульса позволяет контролировать этот процесс путем организации первоначального пробоя и формирования плазменного канала с последующим контролируемым вводом энергии в зависимости от состава смеси и характера движения газа.

Математическая постановка задачи может быть разделена на две части. Первая часть представляет собой систему уравнений для турбулентного спектра в рамках Фурье-анализа поля скоростей с учетом внешней силы, локализованной в различных гармониках. Вторая часть задачи относится к анализу процесса воспламенения системой импульсов с переменной энергией с учетом детальной кинетики реакций горения и плазменных реакций генерации электронно- и колебательно-возбужденных компонент. Математическая модель для второй части задачи включает в себя одномерные уравнения нестационарного течения сжимаемого газа, записанные в лагранжевых координатах, уравнения химической кинетики для заряженных и нейтральных компонент и уравнение Больцмана для функции распределения электронов по энергиям. Часть энергии импульса, переданная в колебательные степени свободы, вычислялась с учетом зависимости от приведенного электрического поля разряда.

После решения первой части задачи было получено, что влияние внешней силы на турбулентный каскад существенно зависит от номера гармоники, где вкладывается сила (рис.1). Помещая внешнюю силу в различные гармоники, можно потенциально влиять на длину сегмента с Колмогоровским спектром. Однако наличие несолоноидальной части внешней силы не меняет качественного характера эволюции турбулентного спектра, а только увеличивает максимальные значения пульсаций скорости.

При рассмотрении разряда, как источника энергии (при отсутствии значительных токов, приводящих к появлению силы Лоренца), было получено, что характер и механизмы воспламенения существенно различаются в зависимости от энергии первого и второго импульса. При достаточно высокой энергии первого импульса действие разряда сводится к значительному нагреву газа с реализацией теплового механизма воспламенения. В этом случае, второй импульс выполняет вспомогательную роль стабилизации возникающего пламени с помощью генерации возбужденных частиц. При достаточно низкой энергии первого импульса в смеси создаются затравочные частицы, а последующие импульсы создают контролируемый ввод энергии, необходимой для процесса воспламенения.

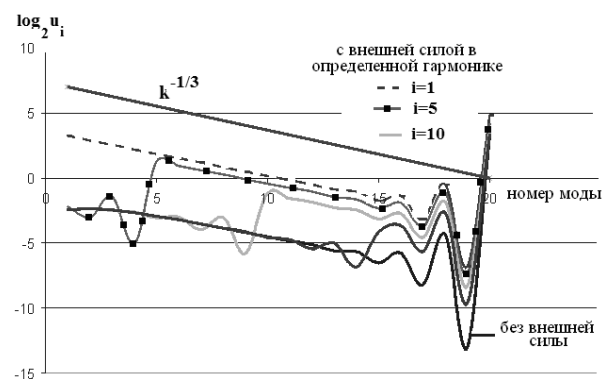


Рис.1. Турбулентный спектр при $t = 2,5$ с для потока с соленоидальной внешней силой, приложенной в разных гармониках.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.Leonov, A. Kuryachii, D. Yarantsev, A.Yuriev. Study of friction and separation control by surface plasma// Paper AIAA-2004-0512, 42th AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, 05-08 January 2004, Reno, Nevada.
2. A. A. Troпина, M. Uddi, Y. Ju. Non-equilibrium plasma influence on the minimum ignition energy. Part 1: Discharge model// IEEE Trans. on Plasma Sci. – 2011. – v.39, № 1. – P.615-623.