

ГЛОБАЛЬНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СВОБОДНЫХ СДВИГОВЫХ ТЕЧЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО ГАЗА

© Ю. Н. Григорьев *, И. В. Ершов **

* grigor@ict.nsc.ru, ** i_ershov@ngs.ru

* *Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск;*

** *Новосибирская государственная академия водного транспорта, Новосибирск*

Известно, что любые течения жидкостей и газов при достижении числом Рейнольдса некоторых критических значений теряют устойчивость и становятся турбулентными. Для течений типа пристенных пограничных слоев эти значения рассчитываются в рамках линейной теории устойчивости. Вместе с тем есть ряд примеров, для которых линейная теория не дает удовлетворительных результатов. В частности, течения Гагена – Пуазейля в трубах и плоское течение Куэтта в приближении линейной теории оказываются устойчивыми к любым малым возмущениям.

В подобных случаях альтернативой линейной теории является энергетическая теория глобальной гидродинамической устойчивости [1]. Здесь под глобальностью понимается неограниченность амплитуд рассматриваемых возмущений. В основе энергетического подхода к задаче устойчивости лежит уравнение энергетического баланса, которое приводит к вариационной задаче для некоторого функционала, характеризующего эволюцию энергии возмущений. Следует заметить, что полученные на ее основе значения критериев устойчивости далеко не всегда близки к экспериментальным данным. Однако этот подход дает в настоящее время единственную возможность хотя бы в обобщенном виде учесть нелинейную стадию потери устойчивости.

Наш интерес к нелинейной теории устойчивости связан с проблемой влияния релаксационных процессов на ламинарно-турбулентный переход (ЛТП) и генерацию турбулентности в сжимаемых течениях молекулярных газов. В рамках модели Навье – Стокса при небольших отклонениях от равновесия эффект релаксации учитывается коэффициентом объемной вязкости в дивергентной части тензора напряжений. В работах [2–4] на основе численных расчетов простой нелинейной модели было показано, что дополнительный диссипативный эффект, связанный с объемной вязкостью (релаксацией), может оказать заметное влияние на затухание энергии возмущений. Однако эти результаты не позволяют прямо оценить соответствующее изменение числа Рейнольдса ЛТП Re_c .

Вместе с тем надо констатировать, что энергетическая теория для сжимаемых жидкостей остается практически неразвитой, что связано с существенной нелинейностью полных уравнений Навье – Стокса сжимаемого вязкого теплопроводного газа. Все известные результаты данной теории относятся к течениям несжимаемых и неоднородных жидкостей и опираются на соленоидальность допустимых полей скорости, которая отсутствует в сжимаемых течениях. Возникающие из-за этого трудности математического характера до настоящего времени преодолеть не удавалось.

В данной работе в рамках энергетической теории рассматривается устойчивость сжимаемого течения Куэтта с линейным профилем скорости. Ценой определенных упрощений для него удастся до конца аналитически решить соответствующую вариационную задачу и найти явную зависимость Re_c от объемной вязкости. Получены асимптотические оценки устойчивости различных мод, содержащие в главном порядке характерную зависимость $Re_c \sim (\alpha + 4/3)^{1/2}$. Это означает, что в реальном для двухатомных газов диапазоне отношений объемной вязкости к сдвиговой (параметра α) с ростом объемной вязкости критическое число Рейнольдса может заметно возрасти. Рассмотренные асимптотики являются длинноволновыми приближениями,

что позволяет отнести полученную зависимость к воздействию объемной вязкости на крупномасштабные вихревые структуры, характерные для развития неустойчивости Кельвина – Гельмгольца в свободных сдвиговых течениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 05-01-00359).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джозеф Д. Устойчивость движений жидкости. М.: Мир, 1981.
2. Григорьев Ю. Н., Ершов И. В. Подавление вихревых возмущений релаксационным процессом в молекулярном газе // ПМТФ. 2003. Т. 44, № 4. С. 22–34.
3. Григорьев Ю. Н., Ершов И. В., Ершова Е. Е. Влияние колебательной релаксации на пульсационную активность в течениях возбужденного двухатомного газа // ПМТФ. 2004. Т. 45, № 3. С. 15–23.
4. Григорьев Ю. Н., Ершов И. В., Зырянов К. И., Синяя А. В. Численное моделирование эффекта объемной вязкости на последовательности вложенных сеток // Вычислительные технологии. 2006. Т. 11, № 3. С. 36–49.