

Феномен свободного взаимодействия в теории устойчивости пограничного слоя

В. И. Жук

Вычислительный центр имени А. А. Дородницына РАН

Несмотря на беспрецедентное развитие вычислительных технологий, описание (понимаемое в глубоком смысле) течений вязкой жидкости и газа при больших числах Рейнольдса по-прежнему остается исключительно сложной задачей. Сингулярный характер вхождения числа Рейнольдса в уравнения Навье-Стокса делает иллюзорной не только возможность перейти к более простым уравнениям Эйлера, но и к уравнениям классической теории пограничного слоя Прандтля для решения таких принципиальных вопросов, как отрыв, неустойчивость, ламинарно-турбулентный переход, ближняя и дальняя структура следа, бафтинг (при трансзвуковом обтекании), передача возмущений вверх по потоку при отражении ударных волн и обтекании неровностей поверхности тела. Ряд перечисленных явлений может быть продолжен, их анализ привел к обобщению классических представлений Прандтля и созданию теории пограничного слоя с самоиндуцированным давлением.

Предмет настоящего рассмотрения составляет применение и развитие данной асимптотической теории (называемой также теорией свободного взаимодействия) с точки зрения фундаментальной проблемы анализа трансзвуковых движений при больших (в пределе — стремящихся к бесконечности) числах Рейнольдса. Анализ нацелен на разрешение вопросов о роли вязких эффектов (при исчезающе малой вязкости) и неклассических пограничных слоев на глобальную и локальную структуру потока с учетом механизмов взаимодействия, отрыва, неустойчивости и восприимчивости по отношению к возмущениям различной природы.

Следует отметить, что изучение структуры возмущенного движения классическими методами невозможно в условиях, когда продольные градиенты функций течения уже не являются малыми по сравнению с поперечными градиентами (то есть нарушаются условия применимости теории Прандтля). Но именно такая ситуация имеет место при возникновении различного рода вторичных структур и волновых образований даже при малых возмущающих факторах. Картина поля потока в рассматриваемых режимах взаимодействующего пограничного слоя оказывается столь же сложной, сколь и многообразной; при этом важно подчеркнуть, что несмотря на впечатляющие успехи теоретического анализа сопровождающих данное явление эффектов, в настоящее время появляются новые модификации асимптотических теорий для описания упомянутых процессов. В частности, предлагается вывод интегро-дифференциального уравнения, переходящего в предельных случаях в уравнения Бюргерса и Бенджамина-Оно и содержащего нелинейные периодические, а также солитонные решения.

Список литературы

- [1] В. Я. Нейланд, “К теории отрыва ламинарного пограничного слоя в сверхзвуковом потоке”, *Изв. АН СССР. МЖГ*, 1969, № 4, 53–57.
- [2] В. В. Сычев, “О ламинарном отрыве”, *Изв. АН СССР. МЖГ*, 1972, № 3, 47–59.
- [3] В. И. Жук, *Волны Толлмина–Шлихтинга и солитоны*, Наука, М., 2001, 167 с.