

НЕОТРАЖАЮЩИЕ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ
НА ОТКРЫТЫХ ГРАНИЦАХ ДЛЯ СЖИМАЕМЫХ
И НЕСЖИМАЕМЫХ МНОГОМЕРНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Б. В. Лидский¹, В. С. Посвянский¹, С. М. Фролов¹,
А. А. Скрипник¹, Б. Басара²

¹ИХФ РАН
г. Москва, Россия
²AVL List
г. Грац, Австрия

Проблема неотражающих граничных условий (НГУ) на открытых границах расчетной области — предмет многолетнего интереса в разных областях науки. В вычислительной газодинамике горения постановка НГУ во входных и выходных сечениях камеры сгорания с дозвуковым потоком является необходимым условием адекватности моделирования самого процесса горения. Это связано с тем, что волны давления, генерируемые пламенем, при отражении от искусственных открытых границ могут оказать существенное влияние на форму пламени и на локальную скорость энерговыделения [1]. При использовании НГУ волны давления покидают расчетную область без отражений, и паразитное влияние открытых границ на процесс горения исключается.

Наиболее часто используемые граничные условия на открытых границах — локальные условия постоянного давления (условия Дирихле) и нулевого градиента давления (условия Неймана). Известно, что эти условия отражающие, т. е. их применение может приводить к неправильным результатам, особенно при численном исследовании переходных газодинамических процессов. На практике, чтобы обеспечить НГУ на открытых границах, пользуются разными приемами: присоединяют буферные объемы с крупными расчетными ячейками, применяют эвристические зависимости давления от времени релаксационного типа или используют одномер-

ное характеристическое НГУ. Несмотря на то, что такие приемы часто оказываются достаточно эффективными, они ориентированы на решение конкретной задачи. Общего подхода к постановке НГУ на открытых границах расчетной области с дозвуковым течением в настоящее время нет. Цель данной работы — вывести обобщенные НГУ для трехмерных сжимаемых и несжимаемых невязких течений и разработать алгоритм их численной реализации в газодинамической программе, использующей неструктурированные расчетные сетки произвольной геометрии.

В работе построены обобщенные НГУ для трехмерных течений, мало отличающихся от некоторого стационарного течения. Полученные условия представляют собой интегродифференциальные

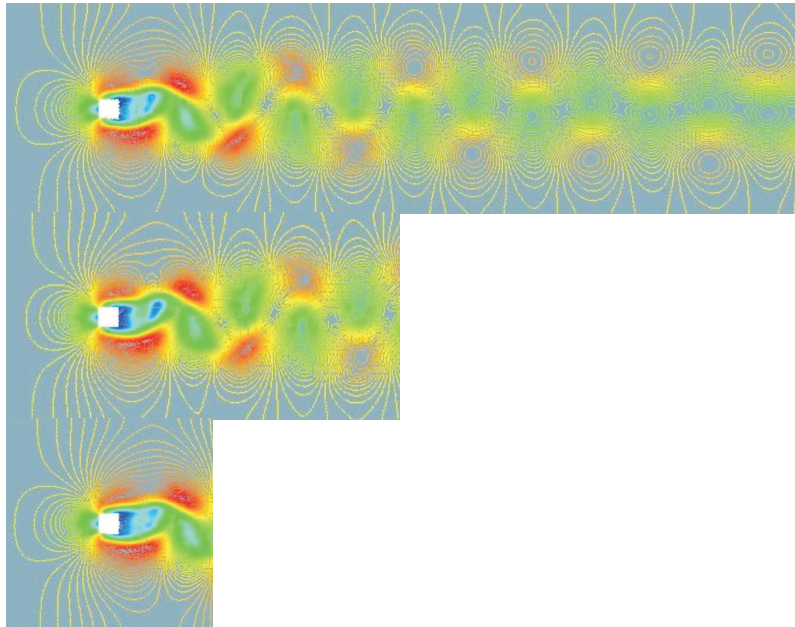


Рис. 1 Сравнение расчетных полей длины вектора скорости при отрывном обтекании тела квадратного сечения 1×1 м, полученных на сетках протяженностью L , $L/2$ и $L/4$ (сверху вниз)

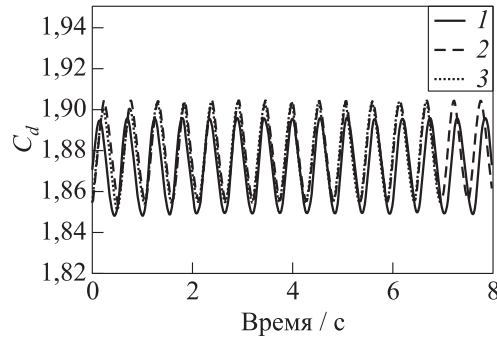


Рис. 2 Сравнение расчетных зависимостей коэффициента сопротивления цилиндрического тела квадратного сечения от времени при использовании сеток протяженностью $L/4$ (1), $L/2$ (2) и L (3)

уравнения и носят нелокальный характер как по времени, так и по пространству: в них входят интегралы по времени и пространству. Для численной реализации выведены приближенные НГУ. С использованием приближенных НГУ нами проведены двумерные расчеты обтекания цилиндрического тела квадратного сечения несжимаемой жидкостью на регулярных сетках разной протяженности в условиях отрывного течения (число Рейнольдса $Re = 390\,000$). На рис. 1 показано сравнение расчетных полей длины вектора скорости, полученных на сетках протяженностью L , $L/2$ и $L/4$ (сверху вниз), а на рис. 2 — сравнение расчетных зависимостей коэффициента сопротивления тела от времени, полученных на тех же сетках. Во всех случаях НГУ ставились только на правой границе расчетной области, а на левой границе ставились условия постоянного расхода газа. Из рис. 1 видно, что расчетное поле течения на всех сетках практически одинаково, несмотря на то, что протяженность расчетной области в кормовой части тела отличается в несколько раз. Такой же вывод следует из рис. 2: расчетный коэффициент сопротивления тела при использовании сеток протяженностью L и $L/2$ практически одинаков, а средний коэффициент сопротивления на сетке $L/4$ всего на десятые доли процента меньше. Следовательно, применение новых НГУ позволяет значительно приблизить

выходное сечение канала к обтекаемому телу без существенного искажения поля течения в аэродинамическом следе.

В дальнейшем новые НГУ планируется применить к расчету перехода горения в детонацию в трубе, заполненной газовой взрывчатой смесью, при зажигании смеси у закрытого конца трубы и ускоренном распространении пламени по направлению к открытому концу трубы. В этом случае НГУ будут применяться на границах буферного объема, прилегающего к открытому концу трубы, чтобы моделировать выход волн давления в окружающее пространство без паразитных отражений.

Таким образом, в работе построены обобщенные НГУ для трехмерных несжимаемых и сжимаемых течений. Применение обобщенных НГУ на открытых границах расчетной области приводит к подавлению паразитных отражений волн давления и к сокращению вычислительных затрат.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 08-08-00068).

Литература

1. Фролов С. М., Басевич В. Я., Беляев А. А., Посвянский В. С., Радвогин Ю. Б. Моделирование стабилизации пламени в турбулентном потоке // Химическая физика, 1999. Т. 18. № 3. С. 86–99.