**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ**

# A.H.Семенов, С.А. Гапонов

***Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 , Новосибирск***

Решение задач устойчивости параллельных течений сводится к нахождению собственных значений системы однородных обыкновенных дифференциальных уравнений с однородными граничными условиями. Одна из проблем классической теории устойчивости состоит в локализации собственных значений, соответствующих неустойчивому состоянию ламинарного течения. Поиск собственных значений, отвечающих наиболее неустойчивым частотам, достаточно сложен из-за большого их количества.

Поэтому ставится задача численного моделирования развития возмущений во времени. В этом случае на достаточно больших временах поведение возмущений определяется единственной волной с наибольшим инкрементом.

Линеаризованная нестационарная система уравнений возмущений в плоско-параллельном стационарном потоке, типа , в приближении Дана-Линя может быть записана в виде[1]:

(1)

**©** **Семенов А.Н., Гапонов С.А. , 2014**

Здесь - осредненные скорость, плотность, температура, вязкость, давление; - амплитуды возмущения компонент скорости(продольной, нормальной, боковой), - амплитуды возмущения давления, температуры, плотности; - число Маха на внешней границе пограничного слоя; - число Рейнольдса; - показатель адиабаты, -число Прандтля. Штрих обозначает дифференцирование по координате ; - волновое число. Все величины обезразмерены по толщине пограничного слоя и по физическим величинам на внешней границе пограничного слоя.

Кроме условий монохроматичности по боковой координате *,* задача решается для периодических возмущений по координате*,* то есть *.* Кроме того, уравнения (1) решаются с граничными условиями:

Вся идея подхода состоит в том, что при произвольных начальных данных на достаточно больших временах будет преобладать наиболее неустойчивая волна, изменяющаяся во времени по закону При этом реальная или мнимая частьбудет изменяться как . Тогда величина , а значение ,где n- число периодов укладывающихся на расчетном интервале *X.*

Система (1) решалась численно методом расщепления по направлениям [3].

Были проведены расчеты на примере пограничного слоя при числе Маха набегающего потока М=2 и числе Рейнольдса Re=600. За толщину всего слоя брали Y=40. В качестве теста использовались известные результаты теории устойчивости, согласно которой наиболее неустойчивыми волнами являются волны с волновыми числами α =0.05 и Соответственно период .

Некоторые результаты расчетов представлены на рисунках 1 и 2. На первом рисунке (а) показаны зависимость амплитуды возмущения давления возле стенки (Y=0) от времени. Нижний график показывает(левая шкала) развитие возмущения во времени в промежутке T=2000—3000, верхний график(правая шкала) это увеличенный начальный участок времени T=2000—2200. Здесь отчетливо видно, что еще присутствует несколько волн, но со временем наиболее неустойчивая выделяется и изменяется по закону , тогда частоту становится легко определить. В нашем случае

а б



Рис.1. Амплитуды возмущения давления

a-возле стенки Y=0;б-вдоль координаты X.

На первом графике (б) показано распределение давления вдоль координаты X, при T=2000 и T=3000 Видно, что при T=2000 еще не получено периодичное решение, но, как и в случае первого графика (а) при T=3000 можно отчетливо наблюдать, что счет стабилизировался, и получилось периодичное по X решение.



Рис.2. Сопоставлений результатов распределения продольной скорости согласно классической теории и расчета.

В результате расчёта были полученные хорошие соответствия результатов предложенного метода и классической теории, что кроме того, подтверждается рис. 2, где представлена зависимость абсолютного значения продольной скорости от нормальной координаты. Аналогичные результаты были получены и для остальных компонент скорости, а также давления, температуры и плотности. Небольшие расхождения в полученных значениях связаны с конечностью интервала интегрирования по Y, но как показывает практика, при увеличении Y расчеты согласуются лучше.

Таким образом, был реализован численный метод, моделирующий линейные пространственно-периодические возмущения на пластине в сверхзвуковом потоке. Полученные результаты расчета хорошо согласуются с классической теорией устойчивости и работами [2]. В дальнейшем предполагается, что данный подход будет применен для более сложных течений и граничных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гапонов С.А. Маслов А.А.** Развитие возмущений в сжимаемых потоках Н., Наука, 1980, стр.46-50.
2. **Mack L. M.** Computation of the stability of the laminar compressible boundary layer.-Methods in Computation Phys.,1965 v.4, p. 247-299
3. **Ковеня В.М**. Разностные методы решения многомерных задач. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т , 2004, стр. 37-45