

УДК 532.517.4

Ф.В.Резник (2 курс, каф. ГАД), А.В.Гарбарук, к.ф.-м.н., доц.

ТЕСТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ ТЕЧЕНИЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ С ОТСОСОМ

Отсос газа через проницаемые участки обтекаемой поверхности представляет собой эффективное средство управления пограничным слоем и может использоваться для улучшения аэродинамических характеристик летательного аппарата или для управления потоком в тракте двигателя. Кроме того, известно, что отсос существенно влияет на характеристики турбулентности. Поэтому моделирование турбулентности при наличии отсоса на стенке представляет несомненный научный и практический интерес.

В данной работе рассмотрен случай асимптотического турбулентного пограничного слоя (ТПС). Этот случай является весьма привлекательным для исследования возможностей моделей турбулентности, так как все параметры течения определяются только интенсивностью отсоса и, следовательно, не зависят от предыстории развития потока.

Одна из целей данной работы заключалась в тестировании ряда известных моделей турбулентности. По результатам предыдущих расчетов пристенных течений [1-2] были выбраны лучшие дифференциальные модели: M-SST, S-A, ν_t -92 и алгебраические: BL, CS. Другая цель – это разработка новой алгебраической модели турбулентности для расчета ТПС с отсосом.

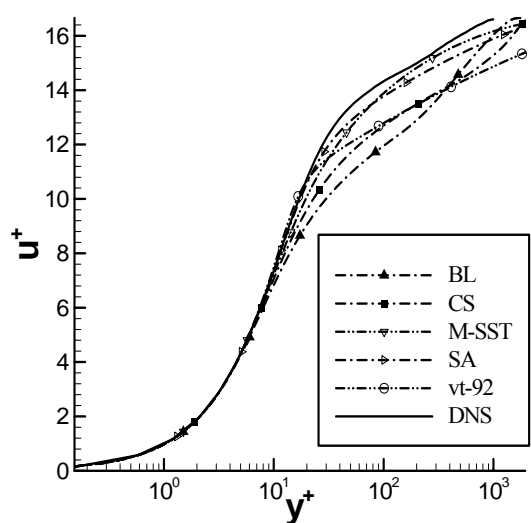


Рис. 1. Сравнение профилей скорости, рассчитанных по разным моделям данными ПЧМ [3]

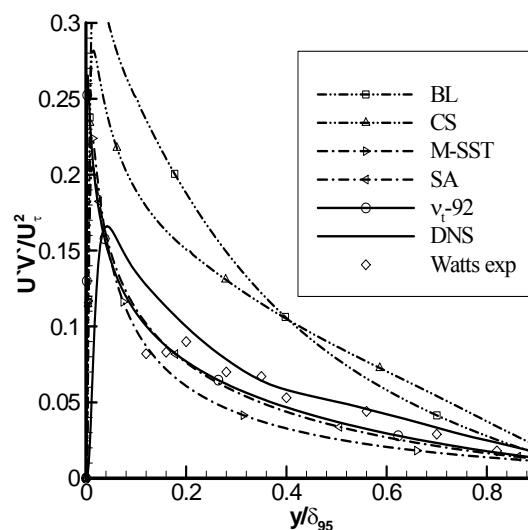


Рис. 2. Рассчитанные профили реинольдсова напряжения в сравнении данными ПЧМ [3] и экспериментов [4]

В качестве критерия оценки моделей турбулентности была выбрана способность предсказывать профили скорости и реинольдсова касательного напряжения в сопоставлении с данными прямого численного моделирования (ПЧМ) [3] и экспериментов [4]. Обычно используемый при сопоставительных расчетах коэффициент трения в случае асимптотического ТПС не чувствителен к модели турбулентности, его значение определяется лишь интенсивностью отсоса: $C_f = -2V_w/U_e$.

Расчеты показали, что ни одна из перечисленных выше моделей не обеспечивает точного предсказания профиля скорости в переменных закона стенки, ближе всех к эталонным данным профили, полученные по моделям M-SST и S-A (рис. 1). Что касается реинольдсова напряжения, то наилучшее предсказание обеспечивают модели S-A, и ν_t -92, а модель M-SST им несколько уступает (рис. 2).

Результаты проведенного тестирования дали импульс к разработке новой алгебраической модели турбулентности для расчета ТПС с отсосом. За основу разрабатываемой модели была принята модель турбулентности GLS [2]:

$$v_T = \kappa \cdot v^* \min\{yD, \delta^* \gamma\}, \quad D = [1 - \exp(-y^+/\nu A)]^B, \quad \gamma = [1 + (0.1 y/\delta^*)^{6.75}]^{-1}, \quad \kappa = 0.436, \quad A = 13. \quad (1)$$

При разработке модели для асимптотического ТПС с отсосом были приняты во внимание следующие положения: при $V_w=0$ модель должна переходить к виду (1), а при увеличении отсоса турбулентная вязкость должна уменьшаться, причем влияние отсоса на внутреннюю область должно быть сильнее, чем на внешнюю. Исходя из этих условий, была сформулирована следующая модель (обозначаемая ниже как GLS-Suc):

$$v_T = \kappa \cdot v^* \min\{yDV_{si}, V_{so} \delta^* \gamma\}, \quad V_{si} = \exp(C_{wi} V_w / v^*), \quad V_{so} = \exp(C_{wo} V_w / v^*) \quad (2)$$

Профили скорости и реинольдсова напряжения, полученные при использовании модели (2) с константами $C_{wi}=26$, $C_{wo}=8.4$, представлены на рис. 3, 4. Из сопоставления этих распределений с результатами, приведенными на рис. 1, 2, видно, что предложенная модель существенно превосходит все ранее рассмотренные модели при расчете асимптотического ТПС с отсосом.

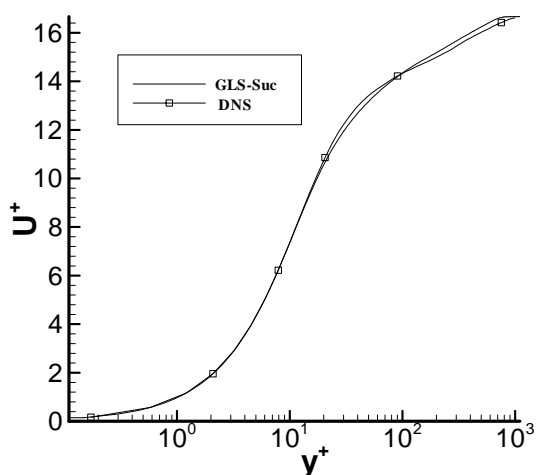


Рис.3. Профиль скорости: модель GLS-Suc в сравнении с данными ПЧМ [3]

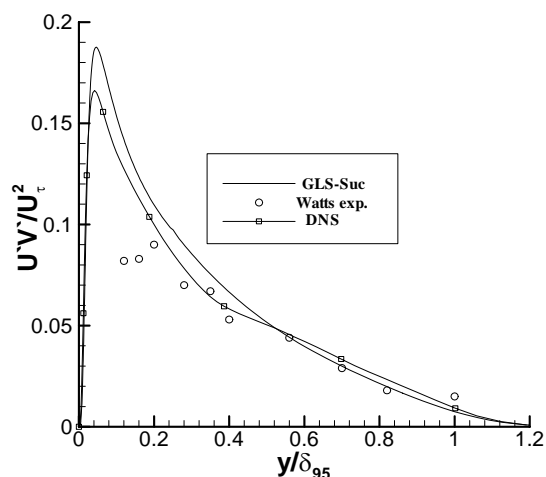


Рис. 4. Профиль реинольдсова напряжения: модель GLS-Suc в сравнении с данными ПЧМ [3] и эксперимента [4]

ЛИТЕРАТУРА:

1. European Computational Aerodynamics Research Project: Validation of CFD Codes and Assessment of Turbulence Models. /Eds. W. Haase, E. Chaput, E. Elsholz, M.A. Leschziner, U.R. Müller. Notes on Numerical Fluid Mechanics (NNFM). Volume 58, 1997.
2. Гарбарук А.В. Современные полуэмпирические модели турбулентности для пристенных течений: тестирование и сравнительный анализ. Дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. СПб.: СПбГТУ. 1999. 281 с.
3. Mariani P., Spalart P., Kollmann W., "Direct numerical simulation of a turbulent boundary Layer with suction", Near-Wall Turbulent Flows R.M.S. So, C.G. Speziale and B.E. Launder (Eds), Elsevier Science Publishers, 1993.

4. Watts K.C., Brundett E., "Turbulence and momentum properties of zero pressure gradient boundary layers with suction on a flat plate", Turbulent boundary layers, ASME-CSME Applied Conference, Niagara Falls, New York, June 18-20, 1979.