

УДК 532.542.4

Квазиравновесный турбулентный пограничный слой

В.В. Михайлов, Н.В. Самойлова

Центральный Аэрогидродинамический Институт им. Н.Е. Жуковского

Задача корректного расчёта характеристик осреднённого течения в турбулентном пограничном слое не решена до сих пор, поскольку соответствующая система уравнений не замкнута. Однако некоторые характеристики такого течения считаются установленными достаточно точно для режимов больших чисел Рейнольдса. Это прежде всего двухслойная схема течения, с малой по сравнению с толщиной слоя δ пристеночной зоной влияния молекулярной вязкости и основной зоной практически невязкого вихревого течения. Такая схема позволила получить два важных результата: закон дефекта скорости и закон стенки.

В данной работе предпринята попытка замкнуть систему уравнений для случая равновесных и квазиравновесных течений. Поясним определения таких течений. Безразмерные параметры слоя изменяются вниз по потоку, следуя изменению безразмерных условий обтекания. При этом параметры слоя реагируют на эти изменения постепенно на некотором отрезке продольной координаты. По аналогии с временем релаксации в нестационарных термодинамических системах назовём этот отрезок «длиной релаксации». Если длина релаксации близка к нулю, то слой практически сразу же реагирует на изменившиеся условия, что обеспечивает однозначную связь между характеристиками слоя и внешними параметрами, а

течение можно назвать локально равновесным. Такой режим, очевидно, реализуется при бесконечно большом числе Рейнольдса, когда длина релаксации, отнесённая к характерной длине, стремится к нулю, поскольку эта длина кратна толщине пограничного слоя.

Такая же однозначная связь должна быть и для течений, в которых все безразмерные параметры вообще постоянны, то есть для автомодельных течений [3], которые поэтому являются равновесными. Приблизённо указанная связь должна быть справедливой и для течений, в которых существенное изменение параметров происходит на длинах, много больших «длины релаксации». Такие течения будем называть близкими к равновесным или квазиравновесными.

Результатами работы является доказательство того, что в равновесных и квазиравновесных течениях параметр Клаузера G , характеризующий профиль скорости, не является однопараметрической зависимостью от безразмерного градиента скорости β , как считалось ранее, но является двухпараметрической функцией $G = G(\beta, H)$, и получение конкретного вида этой функции

Отмечено, что в ряде экспериментов в работах Клаузера, Нэша, Корнилова (ИТПМ СО РАН) и в др. связь между G и β отыскивалась в виде однопараметрической зависимости $G(\beta)$. Это можно объяснить незначительным изменением формпараметра H на участке измерений, близком к длине релаксации. В то же время разница в предлагаемых формулах $G(\beta)$, следующих из различных экспериментов, вызвана именно отличием значений H в тех или

иных испытаниях. Этим же объясняется, что во многих работах полагают, что при $\beta = \text{const}$ параметр Клаузера G должен быть постоянным. В частности, для пластины ($\beta=0$) Клаузер в одной работе указывает $G=6.1$, а в другой – 6.8. В книге Брэдшоу для случая обтекания пластины предлагается постоянное значение $G = \text{const} = 6.8$. Однако согласно экспериментальным данным при $\beta=0$ значение G не постоянно, а слабо меняется в зависимости от H . Идея двухпараметрической зависимости высказывалась в работе Марусича, но конкретного вида такой зависимости не получено.

Необходимо указать, что все полученные результаты относятся лишь к вихревым возмущениям в пограничном слое. При обтекании тел с относительно большой продольной кривизной поверхности, т. е. при большой кривизне линий тока, на течение накладываются (практически независимо [4]) возмущения, связанные с поперечным градиентом давления. Кроме этого предполагается, что поверхность тела гидравлически гладкая, а влиянием турбулентности набегающего потока и вытесняющим воздействием пограничного слоя можно пренебречь.

Заключение

Основные результаты данной работы – доказательство того, что в равновесных и квазиравновесных течениях параметр Клаузера G (характеризующий профиль скорости) не является однопараметрической зависимостью от безразмерного градиента скорости β , как считалось ранее, но является двухпараметрической функцией $G = G(\beta, H)$, и получение конкретного вида этой зависимости

(соотношения (2.4), (1.4)).

Показано, что полученная двухпараметрическая зависимость $G = G(\beta, H)$ справедлива для строго равновесных течений, соответствующих автомодельному режиму (внешнее течение – сток) и для локально равновесных течений (предельный режим $Re \rightarrow \infty$, $H \rightarrow 1$). Приблизительно эта зависимость справедлива, с малой погрешностью, и для квазиравновесных течений при $G = const$ («равновесие по Клаузеру») или при $\beta = const$ (например, пластина). Полученное соотношение позволяет замкнуть задачу расчета указанных течений.

Следует отметить, что в ряде экспериментов связь между G и β отыскивалась в виде однопараметрической зависимости $G(\beta)$, и вследствие этого не было обнаружено влияние формпараметра H . Это можно объяснить незначительным изменением параметров на участке измерений, близком к длине релаксации. В то же время разница в предлагаемых формулах $G(\beta)$, следующих из этих экспериментов, вызвана именно отличием значений H в тех или иных испытаниях.

Кроме того, в работе изучены свойства квазиравновесных течений. В частности показано, что в таких течениях H и ε могут только уменьшаться вниз по потоку и режим отрыва, при котором величина H максимальна, не может быть достигнут.

Помимо сказанного в работе получено более точное соотношение, выполнение которого необходимо для существования логарифмического участка профиля скорости.

Полученная конкретная двухпараметрическая зависимость $G = G(\beta, H)$ может быть несколько уточнена на основании дополнительных экспериментальных результатов при больших G и различных H . В работе также получены определенные ограничения на значения H , которые обеспечивают возможность использования полученных соотношений с некоторой малой погрешностью.

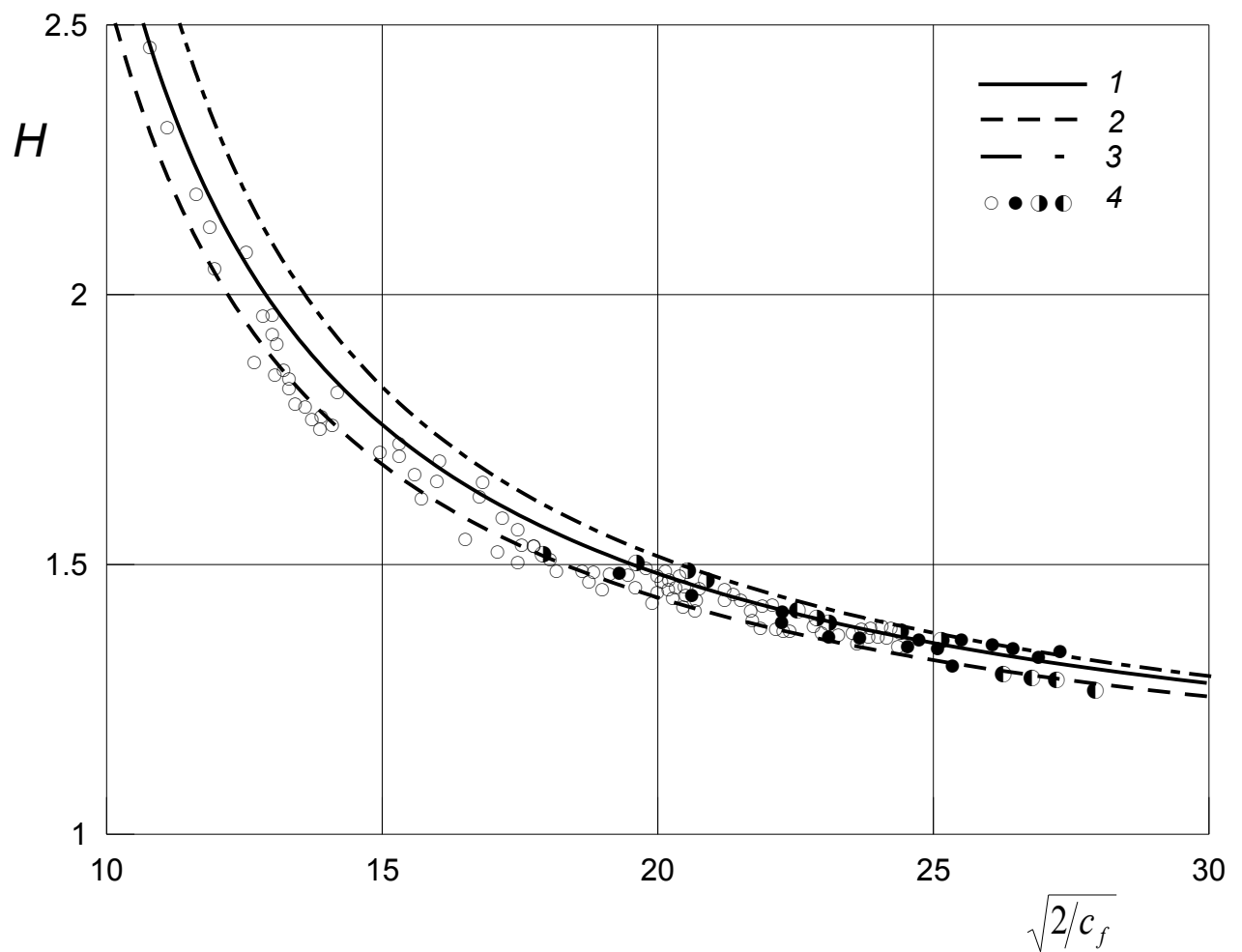


Рис. 1

