

В частном примере установившегося течения в трубе В. В. Новожилов выбирает $n=3/4$ и получает закон сопротивления Блазиуса; однако соответствующий профиль скорости $u=u(r)$ значительно отличается от наблюдаемого.

4. В заключение следует подчеркнуть то существенное обстоятельство, что предлагаемые В. В. Новожиловым реологические соотношения (1) и (2) для турбулентного потока являются нелокальными, в том смысле, что они зависят от условий на границах потока и от скоростей границ, которые в статье принимаются неподвижными или движущимися поступательно. В более сложных примерах очевидно возникает неопределенность в применении этих соотношений. Указанный недостаток имеет особое значение потому, что в то же время из литературы известно применение локальных классических гипотез турбулентности, которые во всех практически интересных задачах, в том числе и рассматриваемых В. В. Новожиловым, дают удовлетворительное совпадение с опытом. (Применение полумпирических теорий к турбулентному течению Куэтта см., например, в работах [1, 2].)

Отметим, что полумпирические теории успешно совершенствуются. В развитие и уточнение классических подходов используются различные многопараметрические аппроксимации переменных, многослойные модели, уравнение баланса турбулентной энергии и некоторые статистические гипотезы. Не учитывая современного состояния вопроса, В. В. Новожилов фактически предлагает вариант двухпараметрической теории, ничем не обоснованный и не дающий продвижения даже в известных решениях простейших задач.

В силу изложенного нельзя согласиться с заключением автора, что рассмотренная статья «дает инвариантную формулировку уравнений теории установившихся турбулентных течений, превращая тем самым последнюю в раздел математической физики».

Г. Ю. Степанов

ЛИТЕРАТУРА

1. Пэй С. Турбулентное течение между параллельными стенками. Сб. перев. «Механика», Изд-во иностр. лит., 1954, № 3, стр. 42–43.
2. Дорфман Л. А. Гидродинамическое сопротивление и теплоотдача вращающихся тел. М., Физматгиз, 1960, стр. 200–202.

ОТВЕТ НА КРИТИЧЕСКОЕ ПИСЬМО Г. Ю. СТЕПАНОВА

Критикуемая статья является попыткой перенесения в теорию турбулентности феноменологического подхода к исследованию деформации сплошных сред со структурой случайного характера, успешно используемого в теориях пластичности и ползучести поликристаллов, где он представляется пока что единственным эффективным методом.

Предложены соотношения между девиатором рейнгольдсовых напряжений и средними характеристиками установившегося течения

$$(1) \quad \tau_{ij} = \mu \alpha^2 T^n \varepsilon_{ij}, \quad T = u^2 / \nu \varepsilon, \quad \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{mn} \varepsilon_{mn}}$$

которые, будучи применены к задаче о трубе, приводят (при $n=3/4$, $\alpha^2=0.039$) к формуле Блазиуса. Этот вариант рекомендуется как основной.

Вариант $n=1$ (названный скелетной теорией) является асимптотическим, отражая свойства турбулентных течений при $Re \rightarrow \infty$.

В настоящее время, основываясь на соотношениях (1), рассмотрены автомодельные задачи: пограничный слой на пластине, стекание турбулентной струи с прямоугольного порога, плоская затопленная струя.

Полученные результаты (направленные в Изв. АН СССР, МЖГ для публикации) достаточно согласуются с существующими представлениями об этих течениях.

Во всех случаях обнаруживается, однако, большая полнота профилей скорости, чем наблюдаемая в опытах; последнее свидетельствует, что формула (1) преувеличивает турбулентную вязкость в районах малых градиентов скорости.

При преобладании линейной вязкостью теория приводит к решениям с разрывами в градиентах скорости, причем встречаются поверхности разрыва двух видов: на одних рейнгольдсовы напряжения отличны от нуля, а на других равны нулю. Первым соответствуют твердые границы потока, а вторым – границы турбулентных струй. Это свойство делает предложенную теорию (в перспективе) подходящим аппаратом для описания отрыва турбулентных струй. Критика Г. Ю. Степанова

ва сосредоточена в основном на скелетной теории и на критерии турбулентности $T \geq T_{кр}$.

Как об этом было уже сказано выше (а также и в критикуемой статье) «скелетный» вариант является асимптотическим и количественному сравнению с опытом (при конечных Re) не подлежит. Его трактовка как аналога теории вязкопластических сред очевидна и однозначна. Вытекающий из него плоскостной профиль скорости в трубе дает правильное представление о качественной стороне различия между турбулентными и ламинарными профилями скорости.

Упрек в нелокальности соотношений (1) с равным успехом может быть адресован и теории «пути перемешивания».

С тем, что профиль течения в трубе согласно предлагаемой теории получается более полным, чем требуется, я выше не только согласился, но и полагаю, что это проявится и в других задачах. Однако я не считаю, что данный недостаток имеет решающее значение для оценки теории. Истинное представление о ее возможностях, области применения и путях совершенствования можно будет сделать только после накопления опыта решения конкретных задач, каковой все еще недостаток.

В заключение коснусь возражений против критерия турбулентности $T \geq T_{кр}$. Прежде всего следует подчеркнуть, что этот критерий не применяется в теории (1) и его оценка не имеет отношения к оценке теории. Но зато по существу именно этот критерий используется в классической двухслойной теории турбулентности при определении границы вязкого подслоя.

В самом деле, в пределах этого слоя

$$(2) \quad \nu \frac{du}{dy} = V_*^2, \quad u = \frac{V_*^2 y}{\nu}, \quad T = \frac{V_*^2 y^2}{\nu^2}$$

Определяя границу слоя равенством

$$T = V_*^2 y_0^2 / \nu^2 = T_{кр} = 1 / \beta^2$$

приходим к общепринятой формуле, причем (в соответствии с экспериментальным значением $\beta \approx 0.1$) $T_{кр} \approx 100$. Таким образом, представление о существовании локального критерия турбулентности не придумано мною, а условие $T \leq T_{кр}$ является лишь обобщением понятия, уже давно бытующего в теории турбулентности.

По-видимому, это условие пригодно только для определения границ турбулентных зон при достаточно развитой в них турбулентности и не может быть использовано при малых Re . Но все это нуждается еще в дальнейшем исследовании, развитии и уточнении.

В. В. Новожилов