

**В. Г. В ы с к р е б ц о в** (Москва, УМ (МАМИ)). **Закрученность как свойство сплошной среды.**

Ключевые слова: сплошная среда, течение в круглой трубе, гидромеханика, эксперимент, уравнения Навье–Стокса.

В докладе, представленным данным сообщением, рассматривается движение жидкости вблизи и в начале входа в круглую трубу. Описывается опытная установка и способы наблюдения за движением частиц воздуха. Отмечается самопроизвольное возникновение вращательной составляющей движения частиц воздуха на начальном участке входа в круглую трубу.

Общеизвестно, что вихри сопровождают движение воздуха и воды, а более широко — всех так называемых сплошных сред. Вследствие самопроизвольно возникающей завихренности наблюдаются вихри Гертлера при обдувании равномерным потоком воздуха цилиндра [1]. Другим примером может служить вращение в воде фигуры в виде нескольких шаров так соединенных стержнем, что в случае двух шаров образуется нечто вроде гантели, которая равномерно протягивается в воде [2]. Аналогично устойчивое вращение в потоке воздуха имеет место и плоской двухлопастной фигуры, о чем упомянуто еще Жуковским [3]. Каждый наблюдал подъем по спирали воздушных пузырьков в воде и т. д. Во всех этих случаях вместо установившегося плоского движения имеет место пространственное неустановившееся.

Поскольку движение жидкости и газа, как считается, достаточно точно описывается уравнениями Навье–Стокса [4], то логично было бы искать объяснение наблюдаемым явлениям именно этими уравнениями. Однако существует и мнение, что данное уравнение является приближенным [5]. По крайней мере при выводе его такое понятие как кручение жидкой частицы не рассматривается.

То что уравнения Навье–Стокса не описывают достаточно точно, например, движение воздушных пузырьков в воде, объясняют тем, что эти уравнения не имеют точного решения в большинстве задач, в частности при обтекании жидкостей шаров.

В соответствии с этим была сделана попытка найти точное решение наиболее простых задач для осесимметричных течений, а именно для установившегося течения жидкости при входе в цилиндрическую трубу и, во вторых, для начального участка в самой трубе при условии того, что скорость течения в трубе после начального участка мала, а течение в трубе ламинарно (для получения течения с параболическим профилем скоростей) [6, 7].

Для случая входа в трубу с помощью аппарата тригонометрических и степенных рядов точное решение было получено [6]. Но для течения на начальном участке с помощью этих же точных методов — нет (так как коэффициенты всех рядов оказались нули, т. е. жидкость должна быть неподвижна) [7].

Указанное обстоятельство подтолкнуло провести эксперименты для наблюдений за особенностями течения как на входе в трубу, так и в самой трубе вблизи входа. Опытная установка представляла собой пластиковую бутылку для питьевой воды емкостью 9 литров с удаленным днищем. В место днища был укреплен бытовой вентилятор. В горло бутылки вставлялась трубка длиной 270 мм и диаметром 38 мм, свернутая

из листа прозрачного пластика. Бутылка ставилась вертикально. Над входным отверстием трубки свисала закрепленная на штативе шелковинка (тонкая шелковая нитка) длиной примерно 300 мм. Эта нитка предварительно намачивалась, к ней прикреплялся груз, и в таком положении нитка выдерживалась несколько суток для того, чтобы исключить ее возможное скручивание. Наблюдения за характером движения воздуха (сопровожаемые созданием видеоклипов) осуществлялись как с помощью шелковинки так и с помощью струек дыма от ароматных индийских палочек. Установлено, что траектория струйки дыма, поднимающейся вдоль стенки трубки вплоть до самой входной кромки трубки, не меняется при включении или выключении вентилятора. Тем самым подтверждается наличие зоны неподвижного воздуха вокруг стенки вблизи входа в трубку в соответствии с точным решением [6]. По достижении дыма уровня входа в трубу траектория струйки дыма, засасываемой в трубу, в целом, по крайней мере качественно, соответствует теоретическим линиям тока, указанным в [6].

Однако в начале входа в трубу, уже на расстоянии примерно диаметра от входа, струйка дыма полностью рассеивается, а поведение шелковинки становится непредсказуемым. Если при выключенном вентиляторе конец шелковинки, опущенной во входную часть трубки практически неподвижен и если и имеет, то еле заметные (амплитудой не более 2 мм) колебания, но при включении вентилятора конец шелковинки в трубке начинает совершать не только нерегулярные колебания, но иногда приобретает периодическое вращение частотой около 5 герц, в основном против часовой стрелки если смотреть на вход трубки сверху. При этом размах колебаний резко увеличивается, достигая примерно трех четвертей диаметра трубки. Диаметр вращения конца шелковинки в трубке имеет такую же величину. Число Рейнольдса в отмеченных опытах составляло примерно  $Re = 2000$ .

Таким образом опыт показывает, что распределение скоростей на входе в трубу, принимаемое при всех теоретических вычислениях длины начального участка в круглой трубе равномерным и установившимся [8] не является на самом деле ни равномерным ни установившимся. Кроме того с учетом и других опытных данных напрашивается вывод, что вращательное движение частиц сплошной среды возникает самопроизвольно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короткин А. И.* О трехмерном характере обтекания кругового цилиндра. — Ученые записки ЦАГИ. М.: 1973, т. VI, № 4.
2. *Выскребцов В. Г.* Наблюдение новых явлений в картине течений вязкой жидкости. — Изв. МГТУ (МАМИ), 2011, № 1(11).
3. *Жуковский Н. Е.* Гидродинамика, собрание сочинений, т. 2, М.-Л.: Гос. Изд. технико-теоретической литературы, 1949.
4. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973.
5. *Бударин В. А.* Анализ скрытых свойств системы Навье–Стокса. — Тезисы докладов VI Минского международного форума. ИТМО, 2008, т. 1.
6. Установившееся течение вязкой жидкости при входе в трубу. — Изв. МГТУ (МАМИ). Сер. 3, естеств. науки, 2013, т. 3, № 1(15).
7. *Выскребцов В. Г.* О возможности существования точного решения уравнений Навье–Стокса на примере расчета начального участка в круглой трубе. — Изв. МГТУ (МАМИ). Сер. 3, естеств. науки, 2015, т. 4, № 1(23).
8. *Слэзкин Н. А.* Лекции по гидромеханике. М.: Изд-во МГУ, 1984.