

Е. Ю. КРАСИЛЬНИКОВ, В. Г. ЛУЩИК, В. С. НИКОЛАЕНКО,
И. Г. ПАНЕВИН, И. А. ПЛАТНИЕКС, А. Б. ЦИНОБЕР

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ
ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ
В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

(Представлено академиком Л. И. Седовым 5 VIII 1975)

Экспериментальному исследованию турбулентного течения проводящей жидкости в круглой трубе в продольном магнитном поле посвящен ряд работ (например, ⁽¹⁻⁵⁾), в которых получены данные о влиянии магнитного поля на коэффициенты гидравлического сопротивления и перемежаемости. Согласно результатам этих работ, увеличение числа Гартмана на приводит как к повышению устойчивости ламинарного течения, так и к ламинаризации исходного турбулентного течения. На этом основании в работах ^(2, 3, 5) сделано предположение о возможности полного подавления турбулентности продольным магнитным полем. Однако этот вывод необходимо подтвердить результатами непосредственного измерения пульсационных характеристик турбулентного течения. Настоящее исследование и проведение для получения именно таких данных.

Исследование проводили на экспериментальной установке с жидкометаллическим контуром, в котором в качестве проводящей жидкости использовали сплав индий — галлий — олово. Экспериментальный участок представлял собой круглую калиброванную трубу из немагнитной нержавеющей стали с внутренним диаметром 28,7 мм. Он устанавливался вдоль оси охлаждаемого водой соленоида, в котором на длине около 2 м создавалось постоянное продольное магнитное поле. Все измерения проводили в сечении, расположенном на расстоянии примерно 80 диаметров трубы от входного. Начальный участок трубы длиной 480 мм (около 17 диаметров трубы) расположен до входа в область постоянного магнитного поля.

При проведении экспериментов измеряли распределения по диаметру трубы осредненной скорости (с помощью трубки Пито и отбора статического давления на стенке), продольной и радиальной составляющих интенсивности турбулентности, а также коэффициента корреляции. Измерение пульсаций продольной скорости производилось U-образным датчиком, изготовленным из изолированной вольфрамовой проволоки диаметром 15,6 мкм и длиной 2 мм, с термокомпенсацией, а пульсаций скорости в радиальном направлении и коэффициента корреляции — X-образным датчиком. При измерении пульсационных величин использовались термоанемометр постоянной температуры, коррелометр и другая аппаратура фирмы «Disa Electronik». Число Рейнольдса при проведении экспериментов поддерживалось постоянным и равным примерно 11 500, а число Гартмана менялось, причем максимальное значение достигало 600 (числа Рейнольдса и Гартмана рассчитаны по диаметру трубы).

При отсутствии магнитного поля результаты измерения профиля средней скорости хорошо согласуются с соответствующими данными Никурадзе ⁽⁶⁾, а распределение по радиусу трубы измеренных значений $\sqrt{u'^2}/U_\tau$, $\sqrt{v'^2}/U_\tau$ и коэффициента корреляции $R = \overline{u'v'}/\sqrt{u'^2} \cdot \sqrt{v'^2}$ (u' , v' — пульсаци-

онные скорости в осевом и радиальном направлениях соответственно, U_c — динамическая скорость) удовлетворительно согласуются с соответствующими данными Лауфера (7).

Из результатов, полученных при наличии продольного магнитного поля, наибольший интерес представляет зависимость продольной составляющей

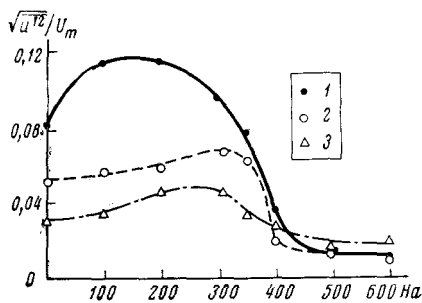


Рис. 1. Зависимость продольной составляющей интенсивности турбулентности $\sqrt{u'^2}$ от числа Гартмана Na для различных значений y/r : 1 — 0,08; 2 — 0,53; 3 — 1,0

интенсивности турбулентности $\sqrt{u'^2}/U_m$ от числа Гартмана для различных расстояний от стенки y/r , показанная на рис. 1 (U_m — осредненная скорость течения в центре трубы, y — расстояние, отсчитываемое от стенки трубы, r — радиус трубы). На рис. 2 приведены результаты измерения радиальной составляющей интенсивности турбулентности и коэффициента корреляции для двух значений числа Гартмана 0 и 600.

Приведенные экспериментальные зависимости обнаруживают ряд особенностей, представляющих определенный интерес.

Наиболее резкое снижение продольной составляющей интенсивности турбулентности, как видно из рис. 1, начинается при значении числа Гартмана, равном примерно 340. Однако, именно эта величина при данном числе Рейнольдса (11 500) соответствует условиям перехода по результатам измерения коэффициентов гидравлического сопротивления и перемежаемости. Эти условия определяются соотношением, связывающим числа Рейнольдса перехода при наличии Re_B^* и отсутствии Re^* магнитного поля с числом Гартмана (3), $Re_B^*/Re^* = 1 + 0,4(Na^2/Re_B^*)$.

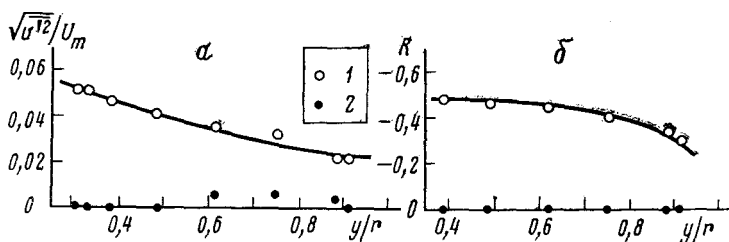


Рис. 2. Радиальная составляющая интенсивности турбулентности (а) и коэффициент корреляции (б) при значениях числа Гартмана $Na=0$ (1), 600 (2)

В точке $y/r=0,08$ при $Na=600$ продольная составляющая интенсивности турбулентности $\sqrt{u'^2}/U_m \approx 0,01$, что почти в 10 раз меньше ее значения в отсутствие магнитного поля. Эта остаточная величина может быть обусловлена следующими причинами. Анализ осциллограмм с записями сигнала термоанемометра показал, что и при максимальных значениях числа Гартмана в потоке сохраняются низкочастотные возмущения (с частотой порядка десятых герца) с очень малой амплитудой, которые, по-видимому, принадлежат из участков контура, расположенных вне магнитного поля. Кроме того уровень сигнала, по которому определялась остаточная величина, соизмерим с уровнем шума. Таким образом, для повышения точности определения остаточного значения $\sqrt{u'^2}/U_m$ необходимы более совершенные методы и средства измерений.

Приведенные на рис. 1 данные показывают также, что, например, для $y/r=0,08$ увеличение числа Гартмана от $Na=0$ до $Na=150$ приводит к ро-

сту продольной составляющей интенсивности турбулентности по сравнению с ее значением в отсутствие магнитного поля. Это обстоятельство, на наш взгляд, объясняется тем, что продольное магнитное поле, очевидно, накладывает определенное ограничение на передачу энергии от продольной пульсационной скорости к двум другим составляющим, что должно приводить к увеличению интенсивности пульсаций продольной скорости.

Результаты, приведенные на рис. 2а, показывают, что при $Na=600$ (по крайней мере, в интервале значений y/r от 0,3 до 1,0) радиальные пульсации скорости отсутствуют. Следует отметить, что и распределение измеренных значений $\sqrt{u'^2}/U_m$ в интервале $0,08 < y/r < 1,0$ при $Na=600$ также не обнаруживает существования градиента по радиусу трубы при приближении к стенке.

Данные рис. 2б свидетельствуют о том, что при $Na=600$ в интервале $0,4 < y/r < 1,0$ коэффициент корреляции $R=0$.

Полученные в настоящей работе результаты, по-видимому, позволяют сделать вывод о том, что наложение продольного магнитного поля на турбулентное течение проводящей жидкости в трубе может при определенных условиях полностью подавить турбулентность в потоке.

Авторы выражают благодарность Б. Н. Баушеву, Б. П. Борисову и Е. Д. Ховриной за помощь в выполнении работы.

Московский авиационный институт
им. С. Орджоникидзе

Поступило
9 VI 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Глоуб, Теплопередача, № 4 (1961). ² Д. С. Ковнер, Е. Ю. Красильников, ДАН, т. 163, № 5, 1096 (1965). ³ F. W. Fraim, W. H. Heiser, J. Fluid Mech., v. 33, № 2, 397 (1968). ⁴ Л. Г. Генин, В. Г. Жулин, С. П. Манчха, Теплофизика высоких температур, т. 8, № 2, 454 (1970). ⁵ Е. Ю. Красильников, В. Г. Луцик и др., Механика жидкости и газа, № 2, 151 (1971). ⁶ J. Nikuradze, Forschg. Arb. Ing.-Wes., № 356 (1932). ⁷ J. Laufer, The Structure of Turbulence in Fully Developed Pipe Flow, NASA Rep. 1174, 1954.