

Е. М. ГРЕШИЛОВ, А. В. ЕВТУШЕНКО, Л. М. ЛЯМШЕВ

**О КОРРЕЛЯЦИИ ФЛУКТУАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ
СЛАБЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ ВДОЛЬ
ШЕРОХОВАТЫХ ГРАНИЦ**

(Представлено академиком Л. М. Брезовских 18 VI 1974)

В нашей заметке (¹) сообщались некоторые результаты измерений спектральных характеристик пристеночных флуктуаций давления при турбулентном течении слабых растворов полимеров вдоль шероховатых границ. Ниже приводятся данные, характеризующие влияние полимерных добавок на корреляционные характеристики, сведения о которых могут оказаться полезными для более глубокого понимания внутреннего механизма гидродинамического воздействия малых полимерных добавок на течения жидкости и, в частности, эффекта снижения сопротивления трения под действием полимерных добавок.

Существенный интерес представляет также выяснение возможности снижения интенсивности гидродинамического шума путем введения малых полимерных добавок в турбулентный поток, например в турбулентный пограничный слой (^{2, 3}).

Экспериментальные исследования выполнены на малопшумном гидродинамическом канале гравитационного типа. Рабочий участок канала имел прямоугольное сечение: длина рабочего участка $3 \cdot 10^2$ см, высота канала в его рабочей части 2 см, а ширина 7 см.

Все измерения осуществлялись в конце рабочего участка, где существовало полностью установившееся течение. Для измерений флуктуаций давления использовались миниатюрные пьезокерамические приемники, чувствительная поверхность которых устанавливалась заподлицо со стенкой канала. Одновременно с регистрацией флуктуаций давления производились гидродинамические измерения с целью определения величины эффекта снижения сопротивления трения под влиянием малых полимерных добавок.

Рабочей жидкостью служил однородный слабоконцентрированный водный раствор полиэтиленоксида (ПЭО) (коагулянт) различной концентрации. Растворителем служила обычная водопроводная вода, а способ приготовления раствора был общепринятым в такого рода исследованиях. Методика проведения экспериментов исключала появление деструкции полимера в растворе в процессе опытов. Измерения пространственной корреляции флуктуаций давления осуществлялись в треть-октавных полосах в диапазоне 100—5000 гц при различных фиксированных значениях скорости течения раствора в канале, величина которой могла быть изменена в пределах от 3 до 10 м/сек. Осуществлялись измерения корреляции в продольном (вдоль течения) и поперечном направлениях.

Шероховатость (зерна песка определенных монодисперсных фракций) наносилась на обе широкие стенки рабочего участка канала. Размер зерен песка выбирался таким, чтобы обеспечить проведение экспериментов в условиях основных режимов течения жидкости над шероховатой поверхностью: турбулентное течение в условиях гидравлической гладкой поверхности, переходной режим проявления шероховатости и автомодельный режим течения в пристеночной области при наличии шероховатости.

На рис. 1а, в приводятся данные, характеризующие пространственную продольную и поперечную корреляцию пристеночных флуктуаций давления при турбулентном течении в канале растворителя (воды) и слабого раствора полимера концентрации $5 \cdot 10^{-5}$ в условиях гидравлически гладкой поверхности. Показано изменение максимума нормированной пространственно-временной функции корреляции в зависимости от частоты колебаний ω . Поскольку измерения проводились в треть-октавных частотных полосах, то фактически на рис. 1 и ниже представлены данные, характеризующие спектр взаимной мощности случайных процессов. Здесь и ниже

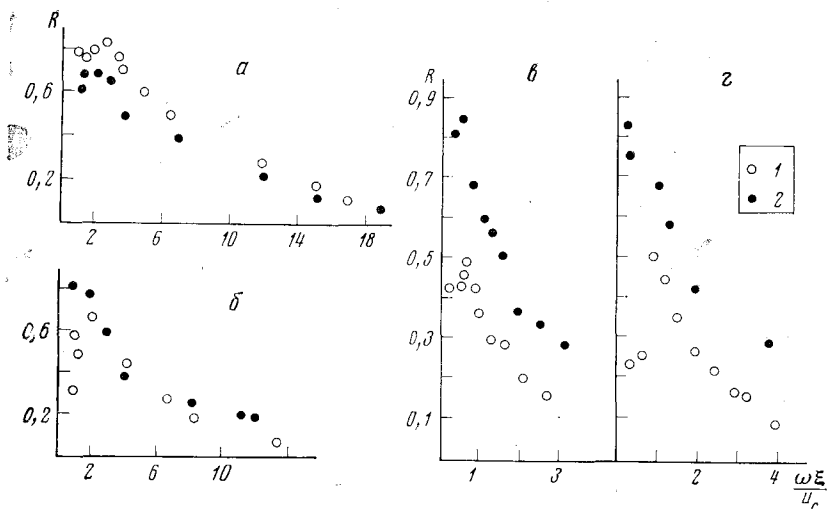


Рис. 1. Нормированный модуль спектра взаимной мощности пристеночных флуктуаций давления в продольном (а, б) и поперечном (в, г) направлениях для гладкой поверхности (а, в) и для шероховатости $4 \cdot 10^{-2}$ см (б, г). 1 — вода, 2 — раствор ПЭО

u_c — так называемая скорость переноса вихрей, ξ — фиксированное расстояние между приемниками флуктуаций давления в направлении течения (ξ_1) и в поперечном направлении (ξ_2). Можно видеть, что под влиянием полимерных добавок продольная корреляция пристеночных флуктуаций давления уменьшается (рис. 1а), напротив, поперечная корреляция возрастает (рис. 1в).

Измерения спектров взаимной мощности при течении растворителя (воды) в условиях переходного и автомодельного режимов проявления шероховатости показали следующее. По мере изменения режима течения спектр взаимной мощности флуктуаций давления изменяется. Это связано с тем, что наличие шероховатости на стенках канала приводит к более быстрому разрушению турбулентных вихрей. При этом по мере перехода от условий гидравлически гладкой стенки к автомодельному режиму течения спад высокочастотной части спектра становится более крутым, пока не наступит автомодельный режим. Что касается низкочастотной части спектра, то она также изменяется, причем так, что пространственная корреляция флуктуаций давления в низкочастотной части спектра уменьшается. Указанный выше характер изменения высокочастотной области спектра взаимной мощности по мере изменения режима течения в пристеночной области наблюдался раньше авторами работ (⁴, ⁵). При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса (скорости течения в канале) в условиях автомодельного режима проявления шероховатости изменения высокочастотной ветви спектра взаимной мощности не происходит, изменяется лишь низкочастотная часть спектра: пространственная корреляция продолжает уменьшаться, что связано с действием шероховатости на крупномасштабные вихри. Сказанное иллюстрируется данными, представленными на рис. 2.

Результаты, характеризующие действие малых полимерных добавок на корреляцию флуктуаций давления при течении раствора полимера вдоль шероховатых границ, представлены на рис. 1б, г. Можно видеть, что наличие полимерных добавок привело не только к росту корреляции в поперечном направлении, как и в случае гидравлически гладкой поверхности, но и к возрастанию продольной корреляции, что как бы противоречит представленным выше результатам опытов в случае гидравлически гладкой стенки. В действительности никакого противоречия нет. Известно, что

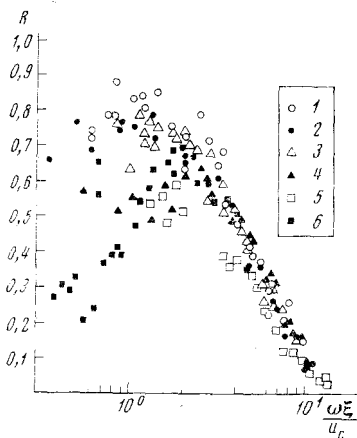


Рис. 2

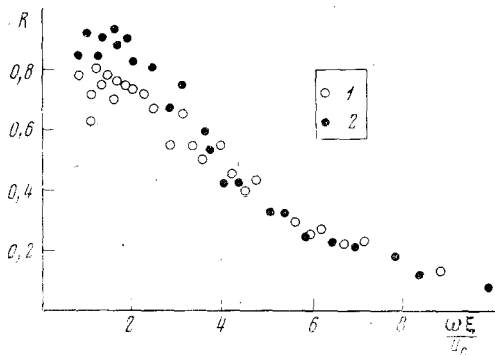


Рис. 3

Рис. 2. Нормированный модуль спектра взаимной мощности пристеночных флуктуаций давления в продольном направлении при обтекании шероховатых поверхностей. 1, 2 — шероховатость $1,7 \cdot 10^{-2}$ см, разное ξ ; 3, 4 — то же для шероховатости 10^{-1} см; 5, 6 — то же для шероховатости $4 \cdot 10^{-2}$ см

Рис. 3. Нормированный модуль спектра взаимной мощности пристеночных пульсаций давления в продольном направлении для шероховатости $1 \cdot 10^{-1}$ см. 1 — вода, 2 — раствор ПЭО

введение полимерных добавок приводит к увеличению толщины вязкого подслоя. В рассматриваемом случае под действием полимеров автомодельный режим сменился переходным режимом, что и привело к росту продольной пространственной корреляции флуктуаций давления.

В случае крупной шероховатости и развитого автомодельного течения введение полимерных добавок может, однако, и не приводить к заметным изменениям высокочастотной части спектра взаимной мощности флуктуаций давления. Некоторые изменения наблюдаются лишь в области низких частот (см. рис. 3), причем в низкочастотной области корреляция несколько возрастает, стремясь к величине, которая наблюдается в случае течения раствора полимера в условиях гидравлически гладкой поверхности.

Отсутствие же влияния полимера на высокочастотную часть продольного спектра взаимной мощности, по-видимому, может быть обусловлено тем, что роль шероховатостей является определяющей в генерации высокочастотных вихрей в случае развитого автомодельного режима течения. Заметим также, что в рассмотренном случае обтекания крупных шероховатостей эффект снижения гидродинамического сопротивления трения под действием полимерных добавок незначителен.

Акустический институт
Москва

Поступило
11 VI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. М. Грешилов, А. В. Евтушенко, Л. М. Лямшев, ДАН, т. 207, № 6, 128 (1972).
² Л. М. Лямшев, Вестн. АН СССР, № 7, 22 (1973). ³ S. J. Barker, Phys. Fluids, v. 16, 9 (1973). ⁴ Е. М. Грешилов, Л. М. Лямшев, Акустич. журн., т. 15, 1 (1969). ⁵ W. Blake, J. Fluid Mech., v. 44, 4 (1970).