

УДК 532.526.4

ГИДРОМЕХАНИКА

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

О ФЛУКТУАЦИЯХ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ СЛАБЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ ВДОЛЬ ШЕРОХОВАТЫХ ГРАНИЦ

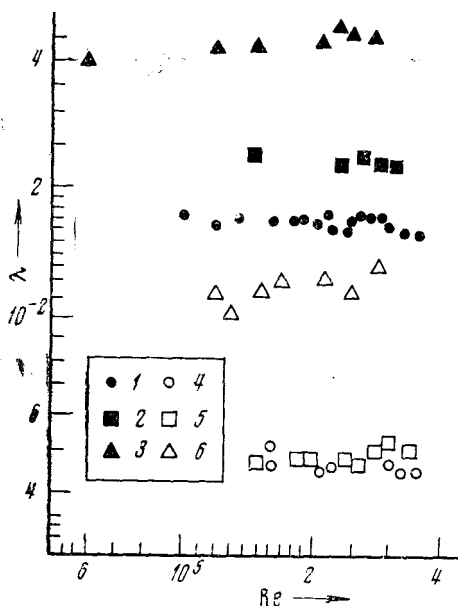
(Представлено академиком Л. М. Брежневских 18 IV 1972)

Ниже приводятся некоторые результаты исследований спектральных характеристик пристеночных флуктуаций давления при турбулентном течении слабых растворов полимеров вдоль шероховатых границ. Аналогичные данные в литературе, насколько нам известно, отсутствуют. Между тем сведения о спектральных характеристиках пристеночных флуктуаций давления одновременно с данными о влиянии полимерных добавок

на сопротивление трения могут помочь выяснению внутреннего механизма эффекта снижения сопротивления турбулентного трения. Несмотря на то, что эффект снижения сопротивления под влиянием полимерных добавок был обнаружен более двадцати лет назад, его однозначного объяснения до сих пор нет ⁽¹⁾. Представляет интерес также выяснение возможности снижения интенсивности гидродинамического шума при введении малых добавок раствора полимера в турбулентный поток, например в турбулентный пограничный слой ⁽²⁾.

Экспериментальные исследования проводились на малощумном гидродинамическом канале гравитационного типа. Подробное описание установки содержится в работе ⁽³⁾. Рабочий участок канала имел прямоугольное сечение; длина рабочего участка $3 \cdot 10^2$ см, высота H канала в его рабочей части составляла 2 см, а ширина 7 см.

Рис. 1. Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса: 1, 2, 3 — течение чистой воды, 4, 5, 6 — течение раствора полимера при различных значениях высоты шероховатостей: $K = 0$ (1, 4); $5 \cdot 10^{-3}$ (2, 5) и $4 \cdot 10^{-2}$ см (3, 6)



Все измерения проводились в конце рабочего участка, где существовало полностью установившееся течение (внутренняя гидродинамическая задача). Измерения флуктуаций давления осуществлялись миниатюрными приемниками давления из пьезокерамики, установленными заподлицо с широкой стенкой канала. Устройство приемников практически не отличалось от конструкции приемников, описанных в ⁽⁴⁾.

Одновременно с регистрацией флуктуаций давления проводились гидродинамические измерения. Измерялся перепад давления в рабочем участке канала в месте расположения приемников и там же по расходу определялась средняя скорость течения жидкости.

Рабочей жидкостью служил однородный слабоконцентрированный водный раствор полиэтиленоксида (коагулянт) различной концентрации. Растворителем служила обычная водопроводная вода, а методика приготовления раствора была общепринятой в такого рода исследованиях. Методика проведения экспериментов исключала появление деструкции полимера в растворе в процессе опытов. Измерения проводились в диапазоне частот от 100 до 10 000 гц, при этом средняя скорость течения изменялась в пределах от 3 до 10 м/сек. Спектральный анализ флуктуаций давления проводился в треть-октавной полосе.

Шероховатости в виде зерен песка двух определенных фракций наносились на обе широкие стенки рабочего участка канала. Средний размер зерен песка составлял $5 \cdot 10^{-3}$ и $4 \cdot 10^{-2}$ см (соответственные значения отношения высоты канала H к высоте шероховатости K составляли $H/K = 400$ и $H/K = 50$).

На рис. 1 приведены результаты, характеризующие изменение коэффициента сопротивления λ в зависимости от числа Рейнольдса $Re = Ud_r/\nu$, где U — средняя скорость течения жидкости, ν — коэффициент кинематической вязкости воды и d_r — гидравлический диаметр. Представленные данные

относятся к течению раствора полимера с концентрацией $5 \cdot 10^{-5}$ и течению растворителя. Из этих данных следует, что снижение сопротивления наблюдается и в случае течения раствора полимера над шероховатой поверхностью, а не только при течении раствора полимера вдоль гладкой границы. Эффект снижения сопротивления при течении раствора полимера над шероховатой границей наблюдался также авторами (^{5, 6}).

Следует заметить, что в случае шероховатости размером $5 \cdot 10^{-3}$ см при течении растворителя имел место переходной режим проявления шероховатости. При течении же раствора полимера, как можно видеть из результатов, представленных на рис. 1, 5, наличия переходного режима, по-видимому, не наблюдается (результаты для λ в случае шероховатой поверхности совпадают с данными для гладкой стенки), что может быть объяснено увеличением толщины вязкого подслоя при течении раствора полимера (⁷). При неровностях размером $4 \cdot 10^{-2}$ наблюдался режим полного проявления шероховатости при течении растворителя, и переходной режим в случае течения раствора полимера. Отметим, что данные для коэффициента сопротивления при течении воды в канале в отсутствие наносимой на стенки

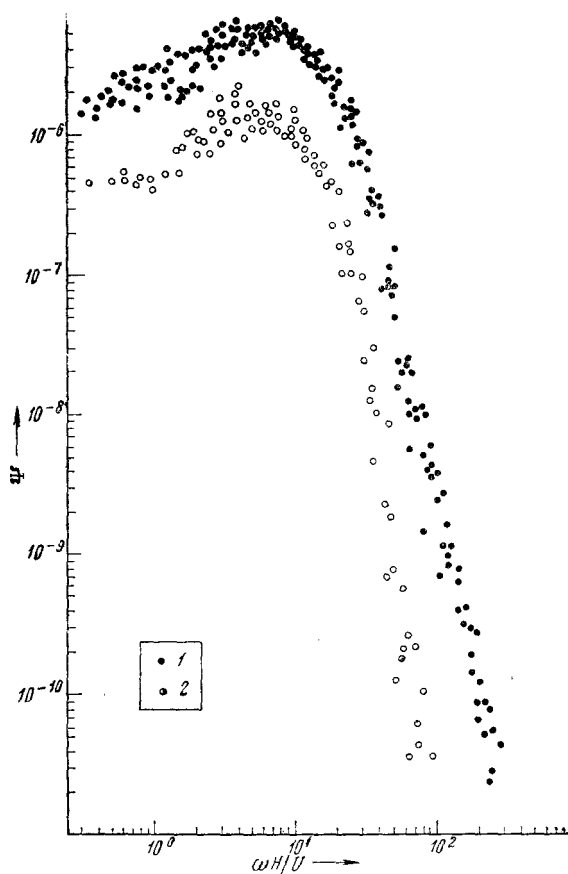


Рис. 2. Спектры пристеночных флуктуаций давления при обтекании гладкой поверхности: 1 — течение чистой воды; 2 — течение раствора полимера

канала шероховатости совпадают с хорошо известными результатами Никурадзе, если считать что стенки канала имеют технические неровности размером около $2 \cdot 10^{-4}$ см. Это соответствует фактическому состоянию поверхности канала в рабочем участке.

При течении раствора полимера вдоль гладких и шероховатых границ одновременно с эффектом снижения сопротивления наблюдается понижение спектрального уровня пристеночных флуктуаций давления, причем особенно значительное в области высоких частот и менее заметное в низкочастотной области. Спектры, относящиеся к течению растворителя и раствора полимера концентрации $5 \cdot 10^{-5}$ вдоль гладких границ, показаны на рис. 2. Представленные результаты получены при различных значениях

скорости потока. Спектры флуктуаций давления оказалось удобным представить в безразмерном виде

$$\frac{P^2(\omega)}{\rho^2 H U^3} = \Psi \left(\frac{\omega H}{U} \right),$$

ρ — плотность растворителя, H — высота канала, U — средняя (по расходу) скорость течения.

Энергетические и спектральные характеристики пристеночных флуктуаций давления, как известно, зависят от величины градиента средней скорости течения и величины поперечной составляющей флуктуаций скорости⁽⁸⁾. Из данных, представленных на рис. 2, следует, что полимерные добавки гасят высокочастотную мелкомасштабную турбулентность (понижают высокочастотные мелкомасштабные флуктуации скорости) и приводят к изменению профиля средней скорости (величины градиента). Это согласуется с известными литературными данными⁽⁷⁾.

Спектры пристеночных флуктуаций давления при течении раствора полимера вдоль шероховатых границ

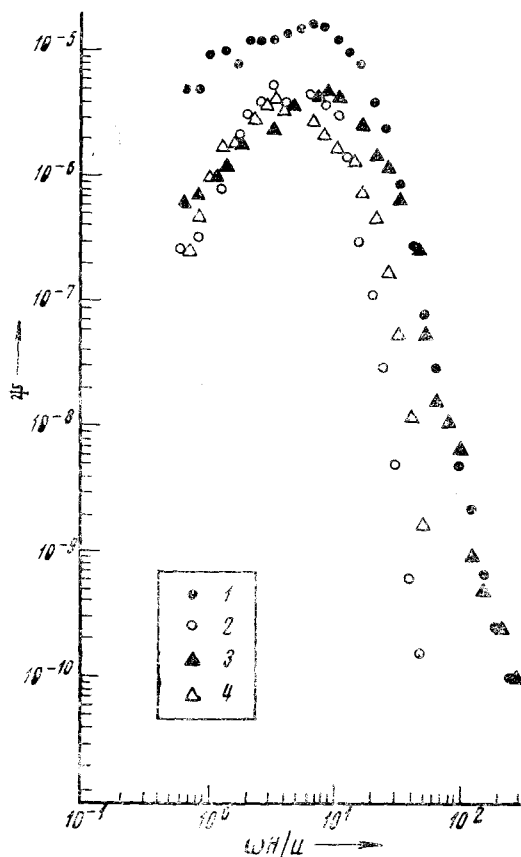


Рис. 3. Спектры пристеночных флуктуаций давления при обтекании шероховатой поверхности. 1, 3 — чистая вода, $K = 4 \cdot 10^{-2}$ см; 2, 4 — раствор полимера; $K = 4 \cdot 10^{-2}$ см (1, 2), $5 \cdot 10^{-2}$ см (3, 4)

показаны на рис. 3. Эти данные относятся к скорости потока 5 м/сек и концентрации $5 \cdot 10^{-5}$. Из представленных на рис. 3 результатов видно, что эффект гашения мелкомасштабной турбулентности при течении раствора полимера вдоль шероховатых границ сохраняется и в переходном режиме проявления шероховатости.

Из представленных здесь экспериментальных данных видно, что эффект снижения сопротивления и гашения мелкомасштабной турбулентности сохраняется и при течении раствора полимера вдоль шероховатых границ в условиях переходного режима проявления шероховатости. Это может

означать, по-видимому, что механизм гашения турбулентности и эффект снижения сопротивления при течении раствора полимера вдоль гладких границ прямо не связаны со стабилизацией вихрей на границе вязкого подслоя, как предполагается в работе (¹). Вполне вероятно, что основные процессы, связанные с внутренним механизмом влияния полимерных добавок на турбулентное течение, происходят в зоне генерации турбулентности или буферной зоне турбулентности пограничного слоя (⁵).

Поступило
14 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ G. E. Gadd, *Nature Phys. Sci.*, 230, 23 (1971). ² F. M. White, *J. Hydronautics*, 3, 2, 95 (1969). ³ Е. М. Грешилов, А. В. Евтушенко, Л. М. Лямшев, *Акустич. журн.*, 15, 1, 33 (1969). ⁴ И. Ф. Кадыков, Л. М. Лямшев, *Акустич. журн.*, 16, 1, 75 (1970). ⁵ Н. Г. Васецкая, В. А. Иоселевич, *Мех. жидкости и газа*, 2, 136 (1970). ⁶ P. S. Virk, *J. Fluid Mech.*, 45, 2, 225 (1971). ⁷ Е. М. Хабахпашева, Б. В. Перепелица, *Инж. физ. журн.*, 18, 6, 1094 (1970). ⁸ R. N. Kraichnan, *J. Acoust. Soc. Am.*, 28, 3, 378 (1956).