

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.641:517.4

О СПЕКТРАЛЬНЫХ ЭФФЕКТАХ ГАШЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

В. Г. Акимов

В настоящее время в литературе имеются обширные данные о воздействии малых полимерных добавок на интегральные характеристики турбулентных потоков. В то же время экспериментальные работы, посвященные исследованию влияния полимерных добавок на пульсационные характеристики турбулентных потоков и, в частности, на пристеночные флуктуации давления в условиях внутренней гидродинамической задачи, пока немногочисленны.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований пульсаций давления при течении слабых растворов полиоксиэтилена (WSR-701) в канале прямоугольного сечения с гладкими стенками при температуре около 10°C .

Эксперименты проводились на малозумной акустико-гидродинамической установке гравитационного типа [1]. Измерение спектральных характеристик давления осуществлялось в гидроканале с внутренним сечением рабочей части $2 \times 7 \text{ см}^2$. Миниатюрные пьезокерамические датчики пульсаций давления с диаметром чувствительной диафрагмы $1,6 \cdot 10^{-1} \text{ см}$ устанавливались заподлицо с верхней широкой стенкой гидроканала на расстоянии $X=125 H$ от входа в канал, где H — высота рабочей части канала. Как известно [2], полностью установившееся течение в трубе наблюдается при $X \approx 50 H$, и, следовательно, в нашем случае исследовались параметры потока в условиях внутренней гидродинамической задачи. Спектральные измерения пульсаций давления проводились в $1/3$ -октавных полосах частот, при этом верхний частотный предел анализа определялся из условия превышения уровня полезного сигнала над уровнем помехи на 5 дБ. Измерительный тракт был составлен из специально изготовленного предусилителя и аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер». Неравномерность частотной характеристики тракта в рабочем диапазоне частот не превышала ± 1 дБ. Одновременно с пульсациями давления измерялась средняя скорость потока $V_{\text{ср}}$ расходным методом и перепад давления в рабочем участке гидроканала.

Систематически изменяющимися параметрами являлись концентрация раствора C , которая была выбрана равной $2 \cdot 10^{-6}$; $5 \cdot 10^{-6}$; 10^{-5} ; $2 \cdot 10^{-5}$; $5 \cdot 10^{-5}$ и число Рейнольдса потока Re . Эксперименты проводились при следующих средних скоростях потока: 3; 4,4; 5,6; 6,9; 9,2; 10,8; 12,4 м/сек. Все данные были получены в режиме течения однородных растворов. В целях исключения деструкции раствора рабочий объем полимерных растворов всех концентраций использовался однократно. Перед каждой серией экспериментов с полимерными растворами определялись эталонные значения исследуемых параметров путем измерений характеристик потоков растворителя, т. е. воды.

Рассмотрим полученные экспериментальные результаты. Зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления λ от числа Рейнольдса Re , составленного по гидравлическому диаметру, изображена на фиг. 1. Эта зависимость построена на основе измерения перепада давления в рабочей секции канала. Здесь же приведена классическая кривая Прандтля для гидравлически гладкой трубы. Приведенные результаты показывают, что для случая течения раствора полимера с концентрацией $C=2 \cdot 10^{-6}$ эффект снижения сопротивления составил 35%, а для концентрации $C=5 \cdot 10^{-5}$ — 75% при $Re=(2-4) \cdot 10^5$. Следует отметить монотонное усиление эффекта снижения гидродинамического сопротивления с возрастанием концентрации раствора. Для растворов малых концентраций наблюдается ослабление эффекта при максимальных числах Рейнольдса, вероятно, вследствие турбу-

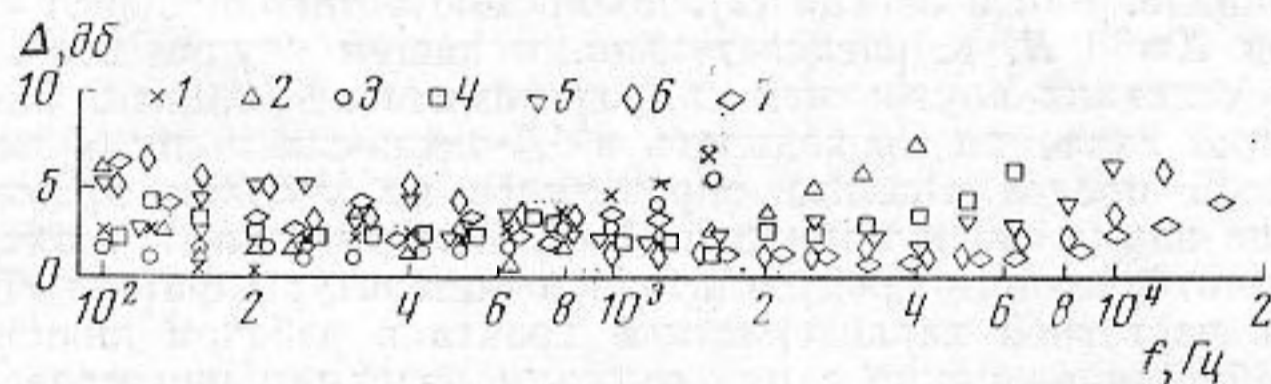
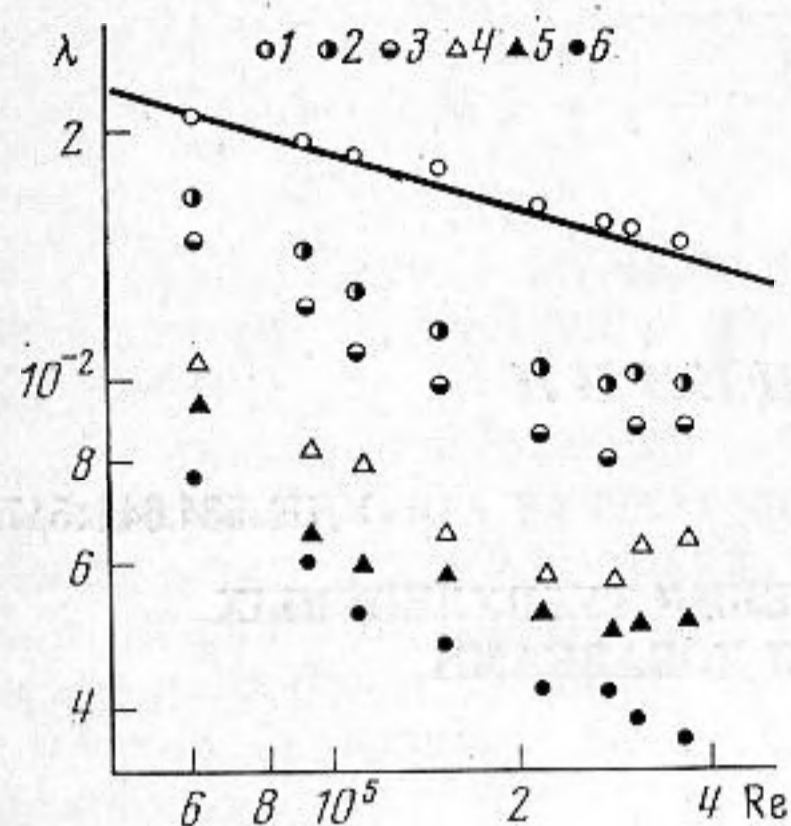
лентной деградации раствора. В растворе с концентрацией $C=5 \cdot 10^{-5}$ обнаружено максимальное снижение гидродинамического сопротивления, и, как это следует из поведения зависимости $\lambda(Re)$ для этой концентрации, такой раствор не подвергается турбулентной деструкции даже при максимальных числах Рейнольдса.

Рассмотрим результаты спектральных исследований турбулентных пульсаций давления в канале. На фиг. 2 представлены результаты спектральных измерений пульсаций давления в $1/3$ -октавных полосах твиров полимера во всем исследуемом диапазоне чисел Рейнольдса для минимальной концентрации полимерного раствора $C=2 \cdot 10^{-6}$, а на фиг. 3 — для максимальной концентрации $C=5 \cdot 10^{-5}$. Результаты представлены в виде разности спектральных уровней пульсаций давления в $1/3$ -октавных полосах частот для течения воды $L_1(f)$ и растворов полимера $L_2(f)$ ($\Delta=L_1-L_2$).

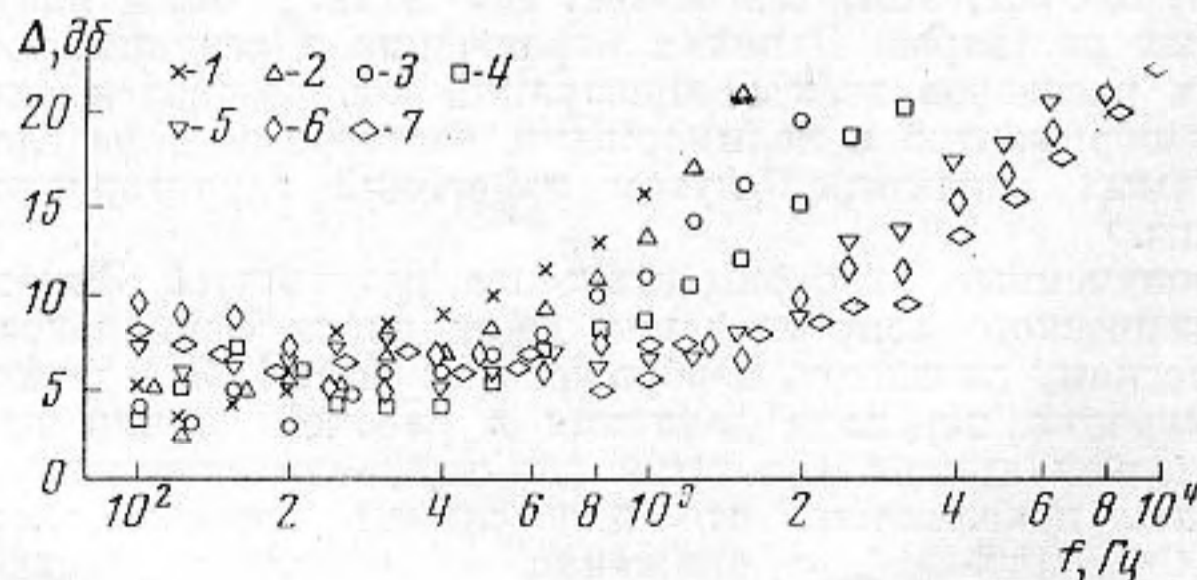
Можно отметить, что эффект снижения уровней пульсаций давления, так же как и эффект снижения гидродинамического сопротивления, зависит от концентрации раствора и от числа Рейнольдса потока. В потоках очень разбавленных растворов ($C=2 \cdot 10^{-6}$) уровни спектра мощности уменьшаются в 3–4 раза на высоких и на низких частотах и не изменяются в диапазоне средних частот, что, по-видимому, свидетельствует о двух различных механизмах воздействия полимерных добавок на турбулентность. При увеличении концентрации раствора эффекты растут и начинают захватывать весь частотный диапазон. При концентрации $C=5 \cdot 10^{-5}$ в диапазоне низких и средних частот уровни мощности снижаются в 5–8 раз, а в диапазоне высоких частот — в 100 раз. Рассматривая спектральные эффекты, отметим наличие ха-

Фиг. 1. Зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления от числа Рейнольдса: 1 — $C=0$; 2 — $C=2 \cdot 10^{-6}$; 3 — $C=5 \cdot 10^{-6}$; 4 — $C=10^{-5}$; 5 — $C=2 \cdot 10^{-5}$; 6 — $C=5 \cdot 10^{-5}$. Сплошная линия — зависимость Прандтля

рактерной частоты, начиная с которой проявляется активное влияние полимерных добавок на спектр в области высоких частот. Абсолютное значение характерной частоты слабо зависит от концентрации раствора и пропорционально средней скорости потока. Этот факт находится в хорошем согласии с результатами работ [3, 4]. Подчеркнем также факт существенного влияния полимерных добавок на низкочастотные пульсации давления. В рамках традиционных представлений низкие



Фиг. 2. Спектральные эффекты при концентрации полиокса $C=2 \cdot 10^{-6}$: 1 — $V_{cp}=3$ м/сек; 2 — $V_{cp}=4,4$ м/сек; 3 — $V_{cp}=5,6$ м/сек; 4 — $V_{cp}=6,9$ м/сек; 5 — $V_{cp}=9,2$ м/сек; 6 — $V_{cp}=10,8$ м/сек; 7 — $V_{cp}=12,4$ м/сек



Фиг. 3. Спектральные эффекты при концентрации полиокса $C=5 \cdot 10^{-5}$: 1 — $V_{cp}=3$ м/сек; 2 — $V_{cp}=4,4$ м/сек; 3 — $V_{cp}=5,6$ м/сек; 4 — $V_{cp}=6,9$ м/сек; 5 — $V_{cp}=9,2$ м/сек; 6 — $V_{cp}=10,8$ м/сек; 7 — $V_{cp}=12,4$ м/сек

частоты связывают с крупными инерционными вихрями в ядре потока. Вместе с тем, известно, что эффект воздействия полимерных добавок на турбулентность — существенно пристенный эффект. Естественно предположить, что в механизме генерации крупномасштабных возмущений важная роль принадлежит пристенным процессам.

Автор признателен Л. М. Лямшеву и Е. М. Грешилову за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Грешилов, А. В. Евтушенко, Л. М. Лямшев. О спектральных характеристиках пристеночных пульсаций давления при отрыве пограничного слоя за выступом на гладкой стенке. Акуст. ж., 1969, 15, 1, 33—39.
2. Е. М. Грешилов, Т. Н. Сурган. Некоторые особенности пристеночных турбулентных флуктуаций давления при течении в трубе. Акуст. ж., 1972, 18, 2, 316—317.
3. Е. М. Грешилов, А. В. Евтушенко, Л. М. Лямшев. О пристеночных флуктуациях давления в потоках слабых растворов полимеров. Докл. АН СССР, 1972, 207, 6, 1288—1291.
4. Е. М. Грешилов, А. В. Евтушенко, Л. М. Лямшев, Н. Л. Широкова. Некоторые особенности влияния полимерных добавок на пристенную турбулентность. ИФЖ, 1973, 25, 6, 999—1005.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступила
24 мая 1976 г.

УДК 534.641:517.4

О ПОДОБИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ДАВЛЕНИЙ В ПОТОКАХ НЬЮТОНОВСКОЙ И НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТЕЙ

В. Г. Акимов, Е. М. Грешилов, Н. Л. Широкова

Турбулентные давления в потоках неньютоновских жидкостей, характеризующихся наличием эффекта Томса, существенно отличаются от турбулентных давлений в потоках ньютоновской жидкости. Ниже рассмотрены особенности действия полимерных добавок на низкочастотные турбулентные давления.

Экспериментальные исследования проводились в прямоугольном канале сечением 2×7 см² на участке стабилизированного течения (внутренняя гидродинамическая задача) при числах Рейнольдса $6 \cdot 10^4 < Re < 4 \cdot 10^5$. Подробно условия эксперимента описаны в работе [1]. На фиг. 1 показаны типичные размерные спектры мощности турбулентных давлений $P(f)$, регистрируемые приемником размером $1,6 \cdot 10^{-1}$ см в потоке воды и в потоках растворов полиэтиленоксида WSR-701 в воде с различной концентрацией при средней скорости потока $U_{cp} = 10,8$ м/сек. Измерения показали, что в этих условиях коэффициент сопротивления трения λ принимал соответственно значения $1,5 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-2}$; $5 \cdot 10^{-3}$; $4 \cdot 10^{-3}$. Таким образом, снижение сопротивления трения по мере увеличения концентрации составляло 35, 67, 75%. На фиг. 1 видно, что с увеличением концентрации раствора происходит уменьшение интенсивности спектральных компонент, причем характерная частота флуктуаций, на которой наблюдается максимальный уровень, также понижается (кривые, представляющие спектры, смещаются вниз и влево).

При попытке представить полученные спектры в безразмерном виде оказалось, что традиционные комплексы, основанные на внешних масштабах типа

$$\frac{P(\omega)U}{q^2\delta^*} \quad \text{или} \quad \frac{P(\omega)U}{\tau^2\delta^*} \quad \text{в функции} \quad \frac{\omega\delta^*}{U}$$

(здесь U — характерная скорость ядра U_{cp} или U_0 , q — динамический напор, τ — напряжение трения, δ^* — толщина вытеснения, которая в случае полимерных растворов оценивалась по данным [2]), не приводят к совпадению спектров турбулентных давлений в потоках воды и растворов полимеров. Наилучшее совпадение спектров было достигнуто с помощью комплекса типа

$$\frac{P(\omega)u^*}{\tau^2\delta^*} \sim \frac{\omega\delta^*}{u^*}$$

где использовались смешанные параметры: внешний линейный масштаб δ^* и внутренний масштаб скорости u^* . На фиг. 2 представлены такие безразмерные спектры для растворов с той же концентрацией, что и на фиг. 1 при $U_{cp} = 10,8$ м/сек и для