

УДК 534:532.526.4

ГИДРОМЕХАНИКА

Л. М. ЛЯМШЕВ, С. А. САЛОСИНА, А. Г. ШУСТИКОВ

О ВЛИЯНИИ ДИСКРЕТНОГО ОТСАСЫВАНИЯ ЖИДКОСТИ НА ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

(Представлено академиком Л. М. Брезовских 16 XI 1973)

Отсасывался турбулентный пограничный слой на стенке прямоугольного рабочего участка гидродинамической трубы. Заподлицо с поверхностью стенки трубы устанавливался специальный блок с двумя камерами, одна из которых являлась камерой отсоса, другая предназначалась для размещения измерительных устройств: приемников пульсаций давления и системы микротрубок полного напора для измерения профиля средней скорости течения в пограничном слое.

Участок отсасывания представлял собой либо профилированную щель, либо пояс из пористого или перфорированного материала. Протяженность пронизаемого (пористого или перфорированного) участка составляла 110 мм. Размах в поперечном направлении 200 мм. Ширина щели равнялась 1,5 мм. Кромки щели были закругленными; радиус закругления передней кромки 1,8 мм, а задней — 0,3 мм. Щелевой канал заканчивался диффузором с углом раскрытия 10° . Ширина щели была выдержана с точностью до 0,03 мм. Превышение кромок щели составляло не более 10 мкм. Размеры пор пористого участка отсасывания ~ 150 мкм. Диаметр отверстий перфорированного пояса отсасывания — 0,8 мм. Расстояние между отверстиями в ряду и расстояние между рядами — 3 мм. Каждый ряд был сдвинут относительно другого на 1 мм.

Измерения пристеночных пульсаций давления производились на участке гладкой непроницаемой поверхности на расстоянии 25 мм от щели или зоны (пояса) отсасывания. Общая шероховатость поверхности со щелью, перфорированной поверхности и непроницаемой гладкой стенки, где устанавливались заподлицо миниатюрные пьезоприемники пульсаций давления, не превышала 10 мкм; шероховатость поверхности пояса отсоса из пористого материала ~ 40 мкм. Устройство пьезоприемников не отличалось от использованных в работе ⁽¹⁾. Отсасывание жидкости осуществлялось за счет перепада давления (~ 3 атм) между рабочим участком гидродинамической трубы и атмосферой.

Отсасывался развитый турбулентный пограничный слой. Условия опытов исключали возможность появления эффектов, связанных с явлением затягивания ламинарного пограничного слоя.

Измерения пристеночных пульсаций давления проводилось в диапазоне частот 100 гц — 10 кгц и чисел Рейнольдса $2,5 \cdot 10^6 < u_\infty x / \nu < 1,5 \cdot 10^7$, где u_∞ — средняя скорость течения воды в трубе, которая изменялась от 3 м/сек до 19 м/сек, x — расстояние от начала рабочего участка гидротрубы до приемников пульсаций давления и ν — кинематический коэффициент вязкости. Интенсивность распределенного отсоса v_0/u_∞ , где v_0 — средняя скорость отсасывания на поверхности, изменялась в пределах от $2,8 \cdot 10^{-3}$ до $7,5 \cdot 10^{-2}$. Диапазон изменений числа Рейнольдса щели $Re_{щ} = Q/(v_l l)$, где l — размах щели и Q — расход жидкости через щель, составил $1,5 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4$.

Спектральный и корреляционный анализ осуществлялся в треть-октавных частотных полосах. Проводились тщательные измерения профиля средней скорости течения в пограничном слое в месте размещения приемников пульсаций давления. Приемники извлекались из экспериментальной измерительной камеры и на их место устанавливалась специально сконструированная и откалиброванная «гребенка» микротрубок полного напора для измерения профиля скорости. По измеренному профилю средней скорости течения определялась толщина пограничного слоя и толщина вытеснения δ^* .

На рис. 1 приводятся данные, характеризующие изменение максимума коэффициента продольной пространственно-временной корреляции при-

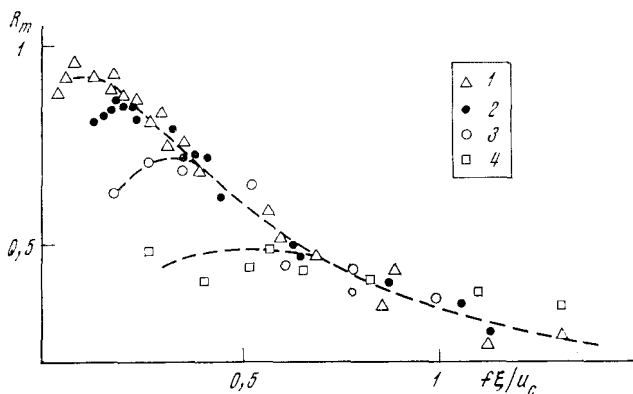


Рис. 1. Продольная корреляция пульсаций давления на гладкой непроницаемой стенке в узкой полосе частот при различных значениях ξ/δ^* : 1 — 1,5; 2 — 3; 3 — 7,5; 4 — 15,5

стеночных пульсаций давления в неуправляемом пограничном слое на гладкой стенке в зависимости от безразмерной частоты. По вертикальной оси отложены значения коэффициента корреляции, а по горизонтальной оси — безразмерной частоты $f\xi/u_c$, где f — частота колебаний, ξ — расстояние между приемниками и u_c — так называемая скорость переноса, которая определяется из результатов корреляционного анализа. Можно видеть, что если расстояние между приемниками $\xi \approx \delta^*$, то в области низких частот коэффициент корреляции достигает значения 0,9–0,95. При $\xi \gg \delta^*$ коэффициент корреляции уменьшается до 0,45–0,5. Эти результаты подтверждают тот факт, что в области низких частот радиус корреляции пристеночных пульсаций давления определяется толщиной пограничного слоя, а не длиной так называемой гидродинамической волны $\lambda_r = u_c/f$, как в высокочастотной части спектра, где практически не наблюдается различия в значениях коэффициента корреляции ⁽²⁻⁴⁾.

Результаты измерений, показывающие изменения максимума коэффициента продольной пространственно-временной корреляции пристеночных пульсаций давления при щелевом отсасывании пограничного слоя, представлены на рис. 2. Пунктирными кривыми показаны изменения коэффициента корреляции в случае неуправляемого пограничного слоя для тех же значений параметра ξ/δ^* , для которых приведены результаты опытов при щелевом отсосе пограничного слоя.

Как можно видеть из данных рис. 2 и сопоставления их с результатами, представленными на рис. 1, щелевой отсос турбулентного пограничного слоя приводит в области низких частот к уменьшению пространственной корреляции пристеночных пульсаций давления в продольном направлении, что является следствием уменьшения под влиянием отсоса толщины пограничного слоя.

Как показали результаты экспериментов, щелевое отсасывание приводит также к уменьшению корреляции в поперечном направлении.

Измерения пространственно-временной корреляции пристеночных пульсаций давления при отсасывании жидкости из пограничного слоя через пояса отсоса с перфорированной или пористой поверхностью показали, что характер частотной зависимости максимума корреляции в продольном и

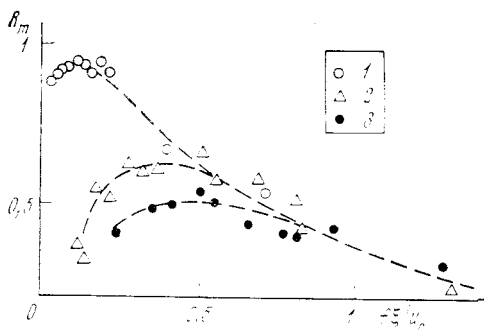


Рис. 2

Рис. 2. Влияние щелевого отсоса на продольную корреляцию пульсаций давления в узкой полосе частот при различных значениях ξ/δ^* : 1—1,5; 2—9,5; 3—15,5

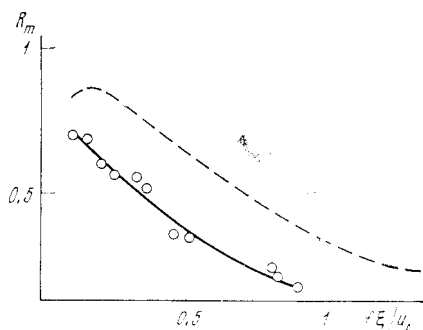


Рис. 3

Рис. 3. Влияние пористого отсоса на продольную корреляцию пульсаций давления в узкой полосе частот; $\xi/\delta^*=3,5$

поперечном направлениях тот же, что и при щелевом отсасывании жидкости. Однако более существенное уменьшение корреляции наблюдалось и во всем спектре частот. Для иллюстрации на рис. 3 приведены результаты, показывающие изменения максимума коэффициента продольной пространственно-временной корреляции пульсаций давления при отсасывании жидкости через пористый участок поверхности. Пунктиром показаны ожидавшиеся результаты для того же значения параметра ξ/δ^* в случае неуправляемого пограничного слоя. «Аномальное» уменьшение корреляции пульсаций давления обусловлено, по-видимому, процессами, происходящими в структуре турбулентного пограничного слоя, аналогичными тем, которые наблюдаются в турбулентном пограничном слое при внезапном изменении свойств поверхности — переходе от шероховатой к гладкой поверхности⁽⁵⁾.

Из данных, представленных на рис. 4, можно видеть влияние способа отсоса жидкости из пограничного слоя на спектр мощности пристеночных пульсаций давления. Для сравнения выбраны данные, полученные в условиях, когда отсос жидкости через щель или через пояса отсоса приводил к одному и тому же уменьшению толщины вытеснения пограничного слоя. По вертикальной оси отложено отклонение ΔL в децибеллах спектрального уровня пульсаций давления в отсасываемом пограничном слое от уровня в случае неуправляемого пограничного слоя.

Видно, что отсос жидкости приводит к уменьшению спектральной плотности мощности пульсаций давления в низкочастотной части спектра и увеличению — на высоких частотах, причем влияние отсоса жидкости через пояса отсоса оказывается более существенным.

Уменьшение спектральной плотности пристеночных пульсаций давления в низкочастотной области спектра обусловлено тем, что при отсосе жидкости из пограничного слоя уменьшается градиент средней скорости в основной части пограничного слоя (профиль скорости становится более полным) и уменьшается нормальная компонента флуктуаций скорости в пограничном слое⁽⁶⁻⁸⁾. Увеличение спектральной плотности мощности пульсаций в высокочастотной части спектра связано с так называемой трансформацией спектра и, как показали корреляционные измерения,

с появлением шума, вызываемого отсасыванием жидкости либо через щель, либо через перфорированную или пористую поверхность.

Итак, дискретное отсасывание жидкости из турбулентного пограничного слоя приводит к уменьшению продольной и поперечной пространственной корреляции и спектральной плотности мощности пристеночных пульсаций давления в области низких частот. Отсасывание жидкости вызывает

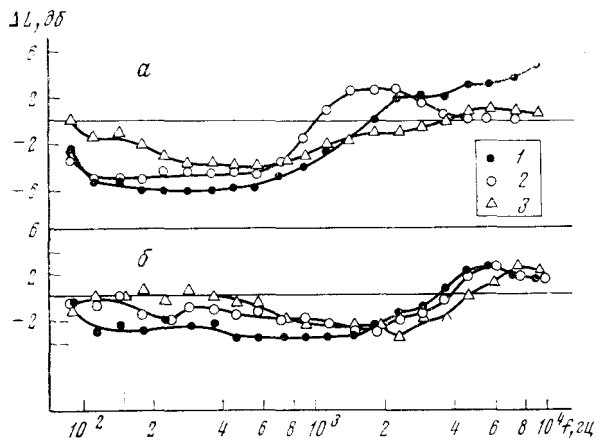


Рис. 4. Влияние отсоса на спектр мощности пульсаций давления при различных способах отсасывания: 1 — порог, 2 — перфорация, 3 — щель. δ^* изменилось в 0,6 раз (а), в 0,95 раз (б)

возрастание спектра мощности пульсаций в высокочастотной части спектра. Отсасывание жидкости через пояса отсоса с пористой или перфорированной поверхностью оказывает, по-видимому, более существенное влияние на внутреннюю структуру турбулентного пограничного слоя, чем это имеет место при щелевом отсасывании.

Акустический институт
Москва

Поступило
11 XI 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. М. Лямшев, И. Ф. Кадыков, Акустич. журн., т. 16, 1, 75 (1970). ² Л. М. Лямшев, С. А. Салосина, Акустич. журн., т. 12, 2, 261 (1966). ³ М. К. Bull, J. Fluid Mech., v. 28, № 4 (1967). ⁴ И. Ф. Кадыков, Акустич. журн., т. 17, 1, 50 (1971). ⁵ R. A. Antonia, R. E. Luxton, J. Fluid Mech., v. 53, № 4, 737 (1972). ⁶ A. Favre, R. Dumas et al., J. Mecanique, v. 5, № 1 (1966). ⁷ R. H. Kraichnan, J. Acoust. Soc. Am., v. 28, № 3, 378 (1956). ⁸ G. M. Coreos, J. Fluid Mech., v. 18, № 3, 353 (1964).