ны поправки в области больших давлений согласно работе [5]. Кривые построены по уравнениям релаксационной теории с учетом одного времени релаксации всей колебательной теплоемкости CO_2. Для коэффициента поглощения учтена классическая часть по значениям сдвиговой вязкости и теплопроводности [6]. Результаты исследования колебательной релаксации в данной системе хорошо совпадают с данными различных авторов, приведенными в обзоре [7]. Эффективное время релаксации, отнесенное к давлению в 1 *атм*, оказалось равным $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ *сек*.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. C. Henderson, K. F. Herzfeld. J. Bry. Thermal relaxation in nitrogen with wet carbon dioxide as impurity. J. Acoust Soc. America, 1969, **45**, 2, 109—114.
2. F. D. Shield. On obtaining transition rates from sound absorption and dispersion curves. J. Acoust. Soc. America, 1970, **47**, 5, 1262—1268.
3. Газовые лазеры, сб. ст. под ред. Н. Н. Соболева. М., «Мир», 1968.
4. В. В. Войтопис, В. Ф. Яковлев. Измерение поглощения ультразвука в газах методом акустического интерферометра. Акуст. ж., 1966, **12**, 3, 296—300.
5. K. F. Herzfeld, T. A. Litovitz. Absorption and dispersion of ultrasonic waves. Academic Press, Jus New York, 1959.
6. Н. Б. Варгафтик. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., Физматгиз, 1963.
7. Физическая акустика, под ред. У Мэзона, т. II, ч. А. М., «Мир», 1969.

Московский областной
педагогический институт
им. Н. К. Крупской

Поступило в редакцию
23 марта 1970 г.

УДК 534.833.522.4.08

ОБ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

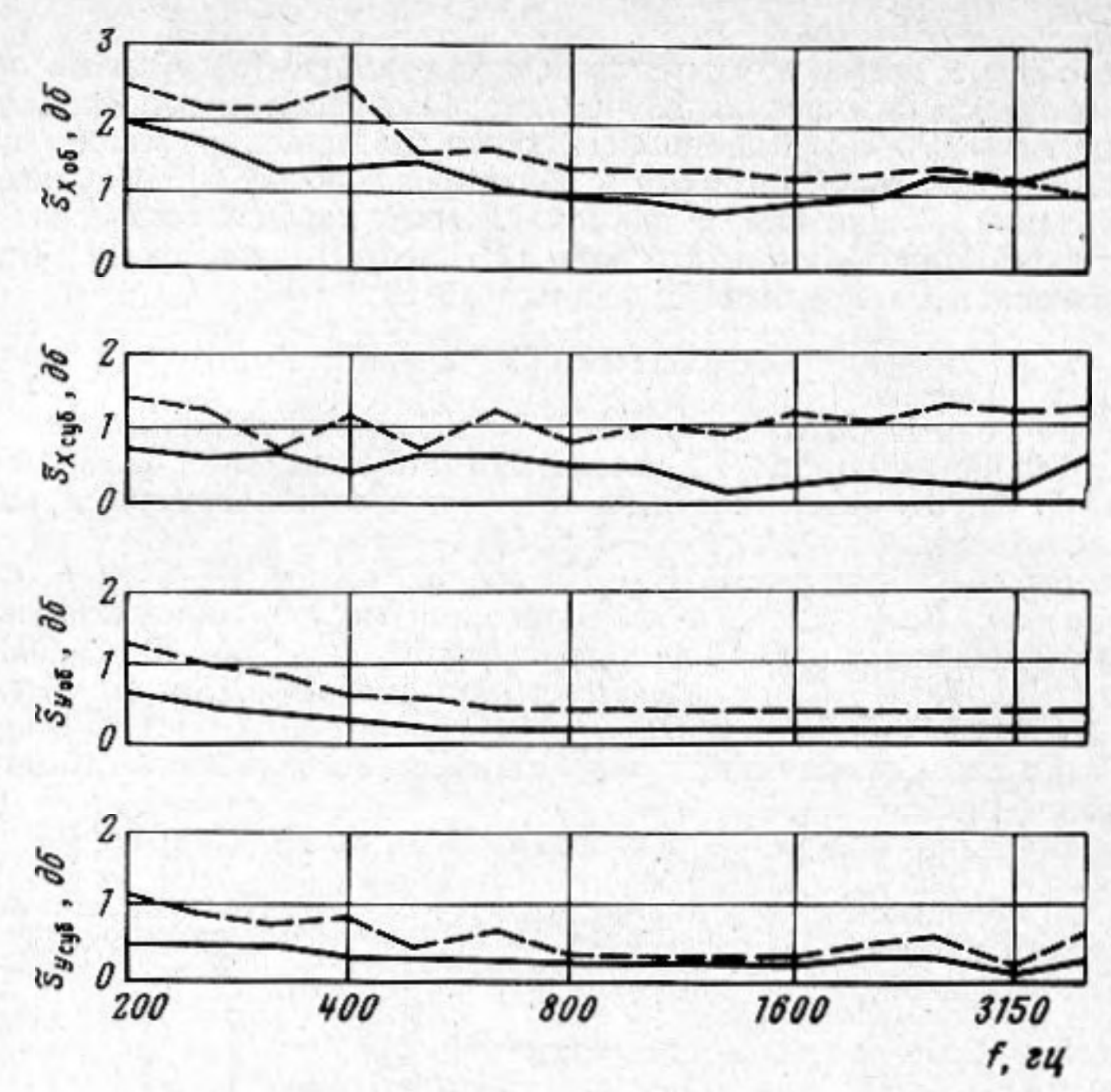
И. И. Боголепов, В. И. Заборов, Э. В. Ретлинг

За истинную величину звукоизоляции R в практике измерений принимают среднее арифметическое значение $\bar{R}$ из N измерений. Для более надежной оценки результатов измерений необходимо знать величину предельной погрешности. При ее определении приходится складывать случайную ошибку с систематической. Случайные ошибки при измерении звукоизоляции вызываются как объективными факторами (пространственно-временными флюктуациями уровней шумов в камерах), так и субъективными причинами (вариациями психорецепторных качеств и навыков людей, считывающих показания с приборов). Каждый из этих факторов независим и подчинен нормальному закону [1]. Законы же распределения систематических ошибок являются неизвестными. В дальнейшем предполагается, что систематические ошибки вызваны только погрешностями передающего и приемного трактов, а ошибки, связанные с методикой измерений (косвенная передача шума, недостаточная степень диффузности поля), устранены. Искомая суммарная систематическая ошибка состоит из совокупности отдельных приборных погрешностей, каждая из которых может принять любое значение в интервале от $-\Delta_i$ до $+\Delta_i$. Если допустить, что каждая такая погрешность является случайной величиной и подчинена в указанном интервале равномерному закону распределения, то ее можно характеризовать математическим ожиданием, равным нулю, и дисперсией $\sigma_i^2 = \Delta_i^2 / 3$. Распределение же суммарной систематической погрешности будет близко к нормальному.

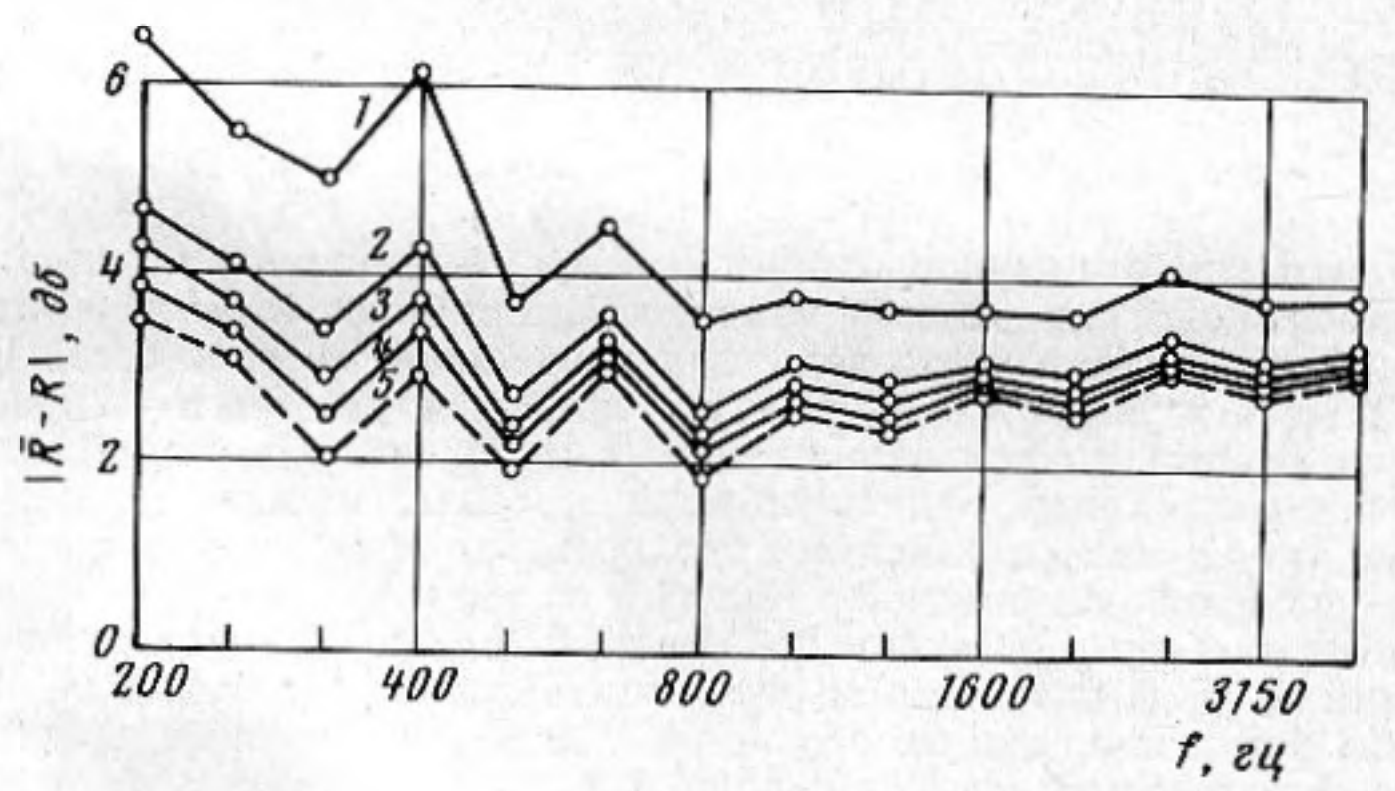
При измерениях в реверберационных камерах величина звукоизоляции определяется как сумма значений разности уровней шума X в камерах и реверберационной поправки Y, а выборочная дисперсия средней величины звукоизоляции при учете только случайных ошибок равна $s^2_{\bar{R}} = s^2_{\bar{X}_{об}} + s^2_{\bar{X}_{суб}} + s^2_{\bar{Y}_{об}} + s^2_{\bar{Y}_{суб}}$, где индексы «об» и «суб» относятся соответственно к объективным и субъективным ошибкам определения величин X и Y.

Применив распределение χ^2, мы найдем с вероятностью $\varphi(\chi_q^2)$ верхние границы $\tilde{s}^2$ выборочных дисперсий. Тогда при оценке погрешности измерений звукоизоляции $|\bar{R} - R|$ мы можем воспользоваться нормальным законом распределения и полагать, что условная вероятность того, что погрешность измерений будет охвачена доверительным интервалом $\pm t\tilde{s}_{\bar{R}}$ при $\sigma_{\bar{R}} < \tilde{s}_{\bar{R}}$, составит $P(|\bar{R} - R| < t\tilde{s}_{\bar{R}} / \sigma_{\bar{R}} < \tilde{s}_{\bar{R}}) = \Phi(t)$, где

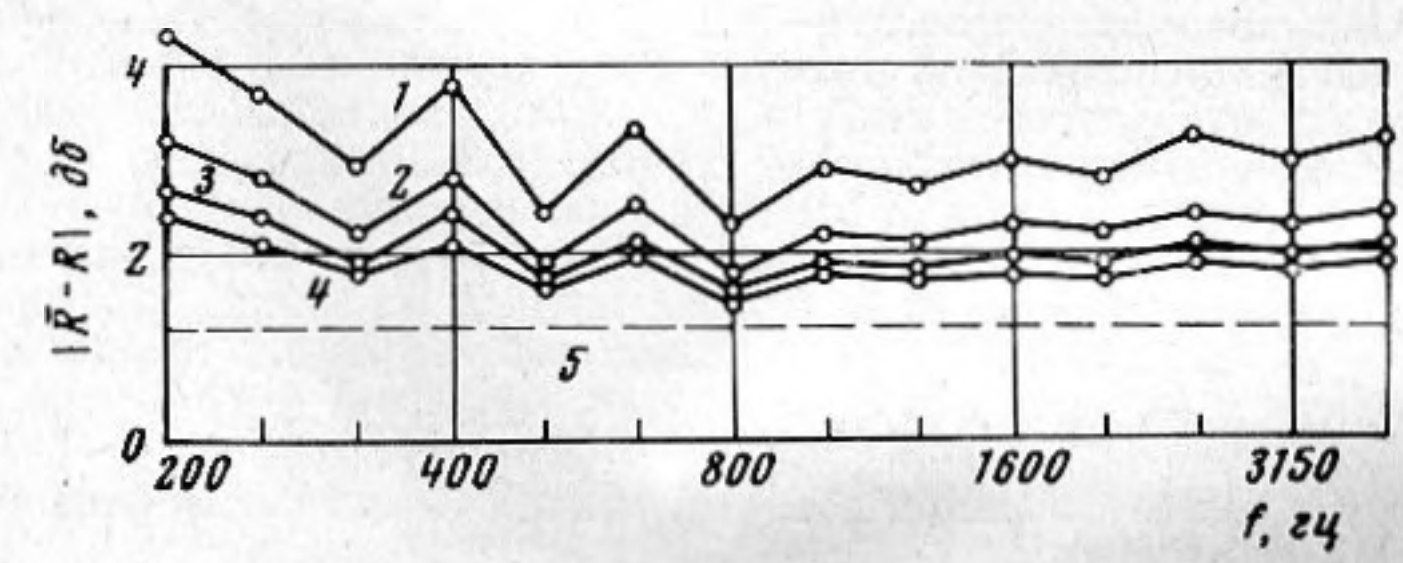
$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-x^2/2} dx, \quad \tilde{s}^2_{\bar{R}} = \tilde{s}^2_{\bar{X}_{об}} + \tilde{s}^2_{\bar{X}_{суб}} + \tilde{s}^2_{\bar{Y}_{об}} + \tilde{s}^2_{\bar{Y}_{суб}} + \sum \sigma_i^2.$$



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Искомая же вероятность совместного события, что и истинная дисперсия σ_R^{-2} меньше найденной ее верхней границы, и погрешность измерений не превзойдет доверительный интервал, равна $P_R = \Phi(t) \cdot \psi(\chi_q^2)$. Представляется достаточным при измерениях в акустических камерах принимать $P_R = 0{,}95$, $\psi(\chi_q^2) = 0{,}98$ и $\Phi(t) = 0{,}97$ откуда $t = 2{,}17$. Таким образом, предельная суммарная погрешность будет $|\bar{R} - R| = 2{,}17\,\tilde{s}$.

Приведем результаты исследования точности измерений звукоизоляции, полученные для двух различных комплексов звукомерных реверберационных камер. В Ленинграде объем камеры высокого уровня составляет 114 $м^3$, камеры низкого уровня 74 $м^3$, площадь испытуемого образца 9$м^2$. Разности уровней шума измерялись в 162 точках объема каждой из камер. Время реверберации было измерено в 90 точках камеры низкого уровня. Десять сотрудников, имеющих опыт работы по акустическим измерениям, расшифровывали независимо друг от друга одну и ту же запись разностей уровней и одну запись времени реверберации. Эта процедура с интервалом в 1—2 дня повторялась 4 раза.

На фиг. 1 сплошными линиями нанесены полученные с вероятностью 0,98 значения верхних границ среднеквадратических отклонений. Там же пунктирными линиями представлены результаты аналогичных опытов, но при меньшем числе измерений, проведенных в Челябинске, где объемы камер высокого и низкого уровня составляют соответственно 116 и 70 $м^3$, а площадь испытуемого ограждения — 8,4 $м^2$. Графики показывают существенное влияние субъективных факторов на точность измерений, поскольку измерения звукоизоляции и обработка результатов производятся, как правило, одним сотрудником. Дисперсия суммарной систематической погрешности при использовании аппаратуры фирмы «Брюль и Къер» составляет около 0,25 $дб^2$.

Частотные характеристики суммарной предельной погрешности при однократном измерении звукоизоляции одним сотрудником приведены на фиг. 2 при различном числе m точек, в которых произведено измерение разностей уровня, и числе n точек, в которых измерено время реверберации. Кривая *1* отвечает $m = 1, n = 1$, кривая *2* — $m = 3, n = 2$; *3* — $m = 5, n = 3$; *4* — $m = 10, n = 5$; *5* — $m = n = \infty$. Оптимальным можно считать измерение разностей уровней в 5 точках и реверберационной поправки — в 3 точках. При неограниченном увеличении числа измерений одним сотрудником величина суммарной погрешности обусловлена только субъективными и систематическими ошибками.

Для дальнейшего уменьшения погрешности следует увеличивать число измерений звукоизоляции (фиг. 3, номера кривых соответствуют числу измерений звукоизоляции, а прямая *5* — бесконечному числу измерений). Увеличение числа измерений звукоизоляции свыше трех не приводит к существенному снижению погрешности.

В ряде случаев при проведении нескольких измерений звукоизоляции одного и того же ограждения время реверберации определяют только при первом измерении звукоизоляции. Оказалось, что при таких измерениях суммарная ошибка увеличивается лишь на 0,2 $дб$.

Итак, с доверительной вероятностью $P_R = 0{,}95$ средняя величина звукоизоляции $\bar{R}$, измеренная в акустических камерах, не будет отличаться от истинной величины больше, чем на 2 $дб$ при частотах 500—4000 $гц$ и на 3 $дб$ — при частотах 200—400 $гц$, если трехкратные измерения разностей уровней проведены каждый раз не менее, чем в 5 точках, а реверберационной поправки — в трех точках при первом измерении звукоизоляции.

При испытаниях серийных ограждений в натурных условиях (в зданиях, на судах и т. п.) речь идет, как правило, об определении не истинной величины звукоизоляции какого-либо конкретного ограждения, а об отыскании генеральной средней величины фактической (при наличии косвенной передачи шума) звукоизоляции для данного типа ограждений по результатам N измерений. Искомый доверительный интервал легко находится с помощью закона распределения Стьюдента с $N - 1$ степенями свободы. Далее, обычно, необходимо указать удовлетворяет ли данный тип конструкции нормативным требованиям или какова величина звукоизоляции, обеспечиваемая этой конструкцией с заданной надежностью. Вероятность того, что истинная величина генеральной средней фактической звукоизоляции будет не менее $\bar{R} - ts_R / \sqrt{N}$ (s_R^2 — выборочная дисперсия R), равна $P = 0{,}5(1 + \beta)$, где $\beta = 2 \int_0^t S(N, t)\,dt$, а $S(N, t)$ — плотность распределения Стьюдента. Величину $R_P = \bar{R} - ts_R / \sqrt{N}$ можно назвать расчетным значением звукоизоляции. С нормативной звукоизоляцией необходимо сравнивать именно эту величину, а не $\bar{R}$, как это делается до сих пор. Мы полагаем, что доверительную вероятность P при натурных измерениях достаточно принимать равной 0,9.

Если расчетная величина звукоизоляции отлична от нормативной $R_н$, то по значению $t = (\bar{R} - R_н) / (s_R / \sqrt{N})$ находится вероятность $P(t)$, с которой обеспечивается выполнение норм. Наконец, для определения вероятности акустического комфорта в помещениях по результатам измерений звукоизоляции их ограждающих конструкций необходимо, как это следует из работы [2], найти значение функции $\Phi(t_0)$ при $t_0 = \dfrac{\bar{R} - ts_R/\sqrt{N} - m_R}{\sigma_L''}$, где $\sigma_L'' = \sqrt{\sigma^2{}_{L_д} + \sigma^2{}_{L_т} + \sigma_т^2}$. Остальные обозначения те же, что и в работе [2]. Вероятность акустического комфорта равна $0{,}5\ (1 + \Phi(t_0))P$.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Боголепов. Точность и надежность модельных испытаний звукоизолирующей способности судовых конструкций. Тр. ЦНИИТС, 49, 1964.
2. В. И. Заборов. О нормировании величины звукоизоляции в зданиях. Акуст. ж., 1970, 16, 1, 54—57.

Уральский н.-и. и проектный институт
строительных материалов
Челябинск

Поступило в редакцию
1 марта 1971 г.

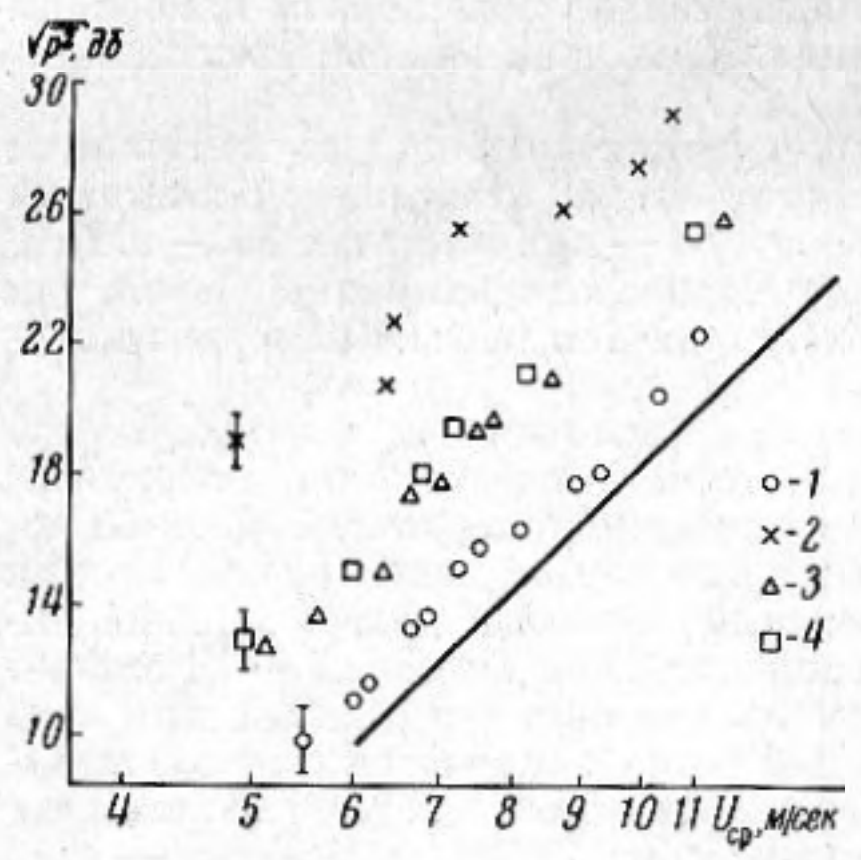
УДК 532.542.4:534

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИСТЕНОЧНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ФЛЮКТУАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ В ТРУБЕ

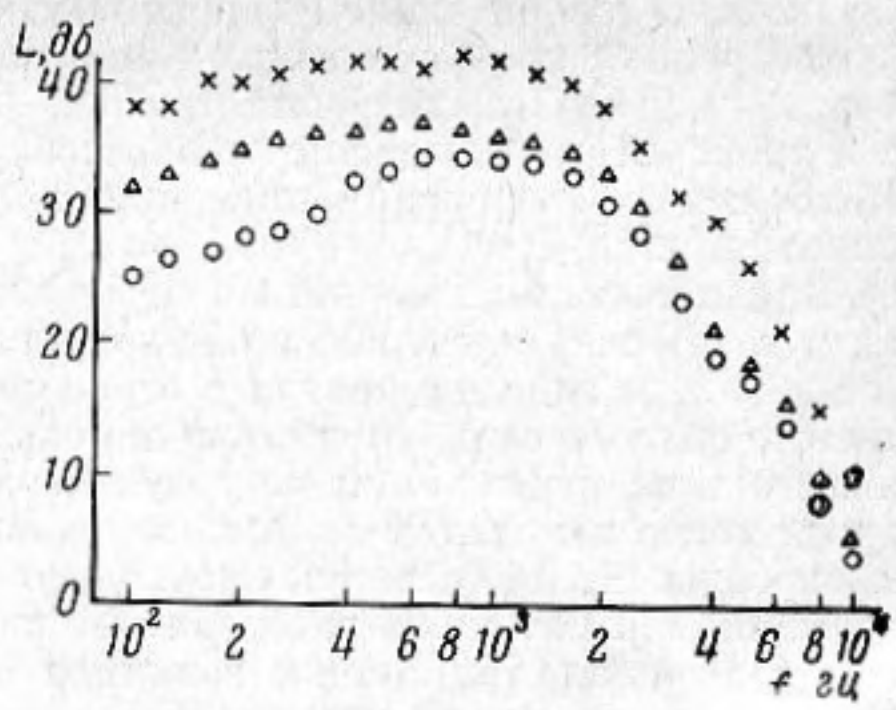
Е. М. Грешилов, Т. Н. Сурган

В настоящее время имеются обширные экспериментальные данные о свойствах пристеночных флюктуаций давления в турбулентном пограничном слое (внешняя гидродинамическая задача). В то же время практически полностью отсутствуют данные о свойствах пристеночных пульсаций давления при турбулентных течениях в трубах (внутренняя гидродинамическая задача).

При заданной скорости потока характер течения жидкости в трубе на начальном участке является функцией расстояния от входа x. В ряде задач важно знать как будут изменяться при этом пристеночные пульсации давления. Насколько нам известно, в литературе этот вопрос не обсуждался. Между тем, подобное исследование



Фиг. 1



Фиг. 2

позволило бы, в частности, установить связь пристеночных пульсаций давления во внутренней и внешней гидродинамических задачах. Наши опыты проводились на бесшумной напорной гидродинамической установке. Рабочий участок длиной $3 \cdot 10^2$ *см* имел прямоугольное сечение, высота H составляла 2 *см*, а ширина была равна 3,5 H. Средние скорости потока $U_{ср}$ изменялись от 5 до 10 *м/сек*. Экспериментальная установка описана ранее в работе [1]. Пристеночные пульсации давления измерялись с помощью пьезокерамического датчика с диаметром чувствительной поверхности около 10^{-1} *см*. Один и тот же приемник устанавливался в центре верхней широкой стенки канала на различных расстояниях x от входа, равных 10; 40; 60 и 90 H. Измерялись среднеквадратичные значения пульсаций давления $\bar{p}^{2\,1/2}$ и их спектр в $^1/_3$-октавных полосах в диапазоне 100—10 000 *гц* при различных значениях скорости потока $U_{ср}$, а также профиль осредненной скорости на расстоянии $x = 60$ H. Точность одиночного измерения $\bar{p}^{2\,1/2}$ составила около 10%, при этом $U_{ср}$ измерялось с точностью 1—2%.

В ходе эксперимента было обнаружено, что среднеквадратичные значения пульсаций давления $\bar{p}^{2\,1/2}$ и их спектр сильно зависят от продольной координаты x. Зависимость $\bar{p}^{2\,1/2}$ от x в двойном логарифмическом масштабе при различных значениях x / H приведена на фиг. 1. На этой фигуре *1* соответствует $x / H = 10$, *2* — $x / H = 40$, *3* — $x / H = 60$ и *4* — $x / H = 90$, а значение нулевого уровня $\bar{p}^{2\,1/2}$ произвольно. Вер-