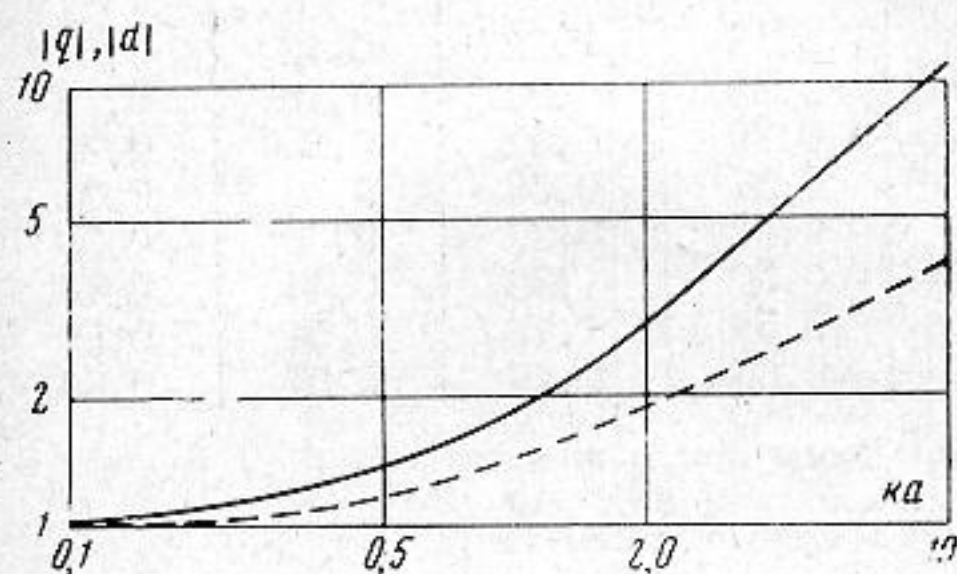
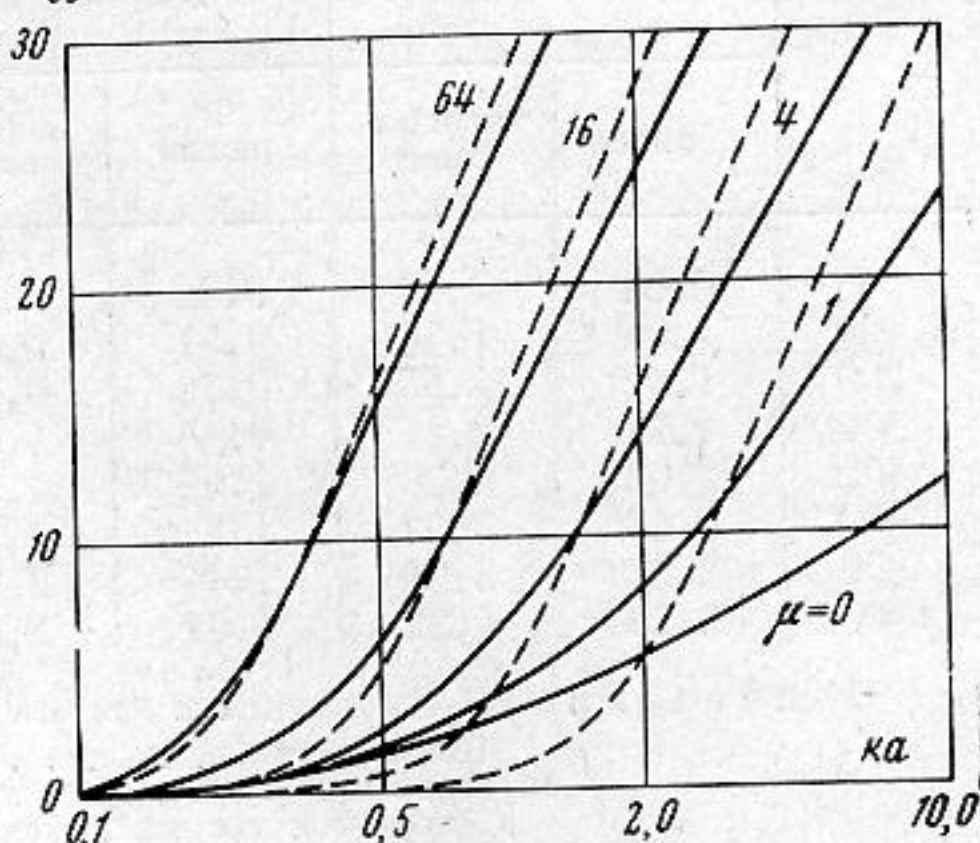


граничных условий. При рассмотрении только поступательных движений диска, для суммарных перемещений пластины  $W = W_f + W_r$ , условия (1) сохраняют силу, причем  $F = 0$ , а в выражениях для  $W_f$  и  $W_r$  достаточно удержать лишь слагаемые, у которых  $n = 0$ .

Найдя из условий (1) постоянные  $A_0$  и  $B_0$ , определим ослабление амплитуды колебаний пластины в месте установки виброметра, которое будет равно  $20 \lg |\gamma|$ ,



Фиг. 1



Фиг. 2

где  $\gamma = \frac{Z_a \cdot d(ka)}{Z_0 \cdot q(ka)}$ . Для практических расчетов это выражение можно переписать

в виде

$$\gamma = \frac{\pi i}{8} (ka)^2 \left\{ \mu H_0^{(2)}(ka) - H_1^{(2)}(ka) \left[ \frac{4}{ka} + \mu \frac{K_0(ka)}{K_1(ka)} \right] \right\},$$

где  $\mu = M / (\rho a^2 t)$  — безразмерный параметр, характеризующий отношение массы диска к массе занимаемого им участка пластины. Результаты расчета локального ослабления амплитуды колебаний пластины представлены на фиг. 2 в децибелах сплошными линиями для нескольких значений параметра  $\mu$ . Сравнение с расчетом, применяемым в настоящее время в предположении, что измерительные датчики представляют точечную нагрузку (пунктирные линии на фиг. 2), показывает, что для легких датчиков искажающий эффект проявится на более низких частотах. Однако в области развитого эффекта локального ослабления суммарная поправка оказывается меньше, чем для точечного груза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. D. Thomas. Characteristic impedances for flexure waves in thin plates. J. Acoust. Soc. America, 1958, 30, 3, 220—221.
2. И. И. Ключкин. О влиянии виброметра на движение колеблющейся поверхности. Акуст. ж., 1959, 4, 1, 38—44.
3. Б. Г. Корнев. Некоторые задачи теории упругости и теплопроводности, решаемые в Бесселевых функциях. М., Физматгиз, 1960.
4. И. И. Ключкин, Ю. Д. Сергеев. О рассеянии изгибных волн антивибраторами, установленными на пластине. Акуст. ж., 1964, 10, 1, 60—65.

Ленинград

Поступило в редакцию  
26 сентября 1968 г.

УДК 534.286

### К ВОПРОСУ О ЗАТУХАНИИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СЛОЕ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Я. И. Магун, В. Т. Плицын, Г. П. Сенкевич, Б. С. Филалов

Затухание акустических колебаний в слое крупнозернистых материалов, особенно при наличии газового потока, протекающего через слой, в настоящее время изучено еще недостаточно. Решение этого вопроса позволит оценить целесообразность применения акустических колебаний для интенсификации процессов горения, восстановления, тепло- и массообмена. В данной работе экспериментально определены ко-

, гц	Коэффициент затухания, м <sup>-1</sup>							
	Кокс 3—6 мм		Кокс 6—13 мм		Кокс 13—25 мм		Уголь (экибастуэ-ский) 13—25 мм	
	расчет	экспери-мент	расчет	экспери-мент	расчет	экспери-мент	расчет	экспери-мент
40	0,64	0,70	0,32	0,33	0,13	0,12	0,12	0,07
100	1,01	1,56	0,51	0,59	0,21	0,22	0,18	0,13
200	1,42	1,83	0,72	0,85	0,29	0,42	0,256	0,20
300	1,74	2,17	0,88	1,00	0,37	0,63	0,32	0,22
400	2,02	2,58	1,02	1,30	0,42	0,87	0,36	0,30
600	2,46	3,02	1,24	1,77	0,50	1,32	0,44	0,40
800	2,82	3,64	1,44	2,32	0,59	1,78	0,51	0,50
1000	3,18	4,22	1,61	2,85	0,66	2,18	0,57	0,69

Примечание. Эксперименты и расчеты проведены при значениях

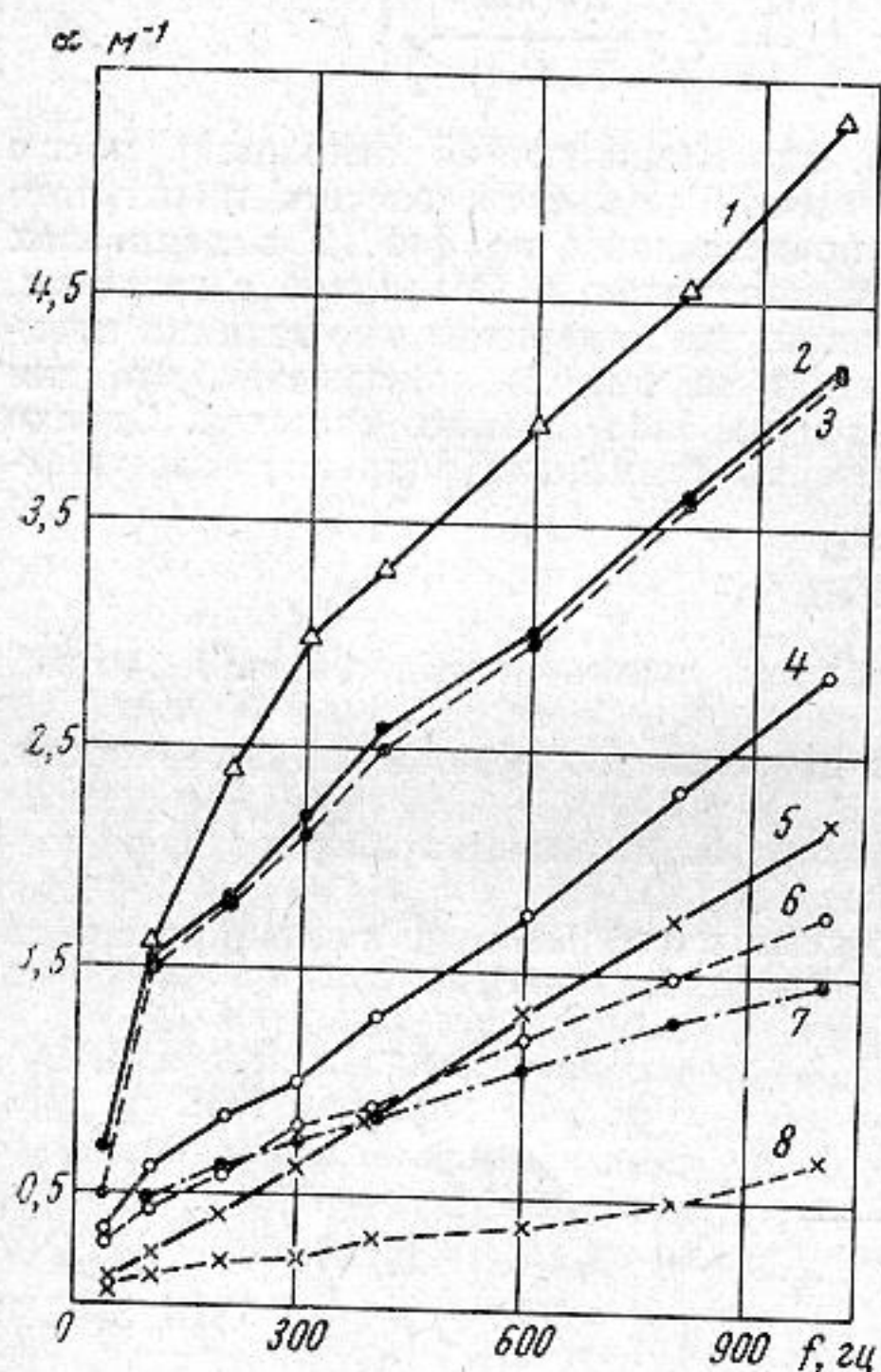
Пористости . . . . .	0,3 см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup> ,
Просвета . . . . .	0,116 см <sup>2</sup> /см <sup>2</sup> ,
Плотности частиц кокса . . . . .	2,0 г/см <sup>3</sup> ,
Плотности частиц угля . . . . .	1,7 г/см <sup>3</sup> ,
Температуры . . . . .	298° К.

эффиценты затухания синусоидальных акустических колебаний в слое различных крупнозернистых материалов при характерных для слоевых процессов скоростях газового потока.

Экспериментальная установка состояла из колонны высотой 2,2 м с внутренним диаметром 0,1 м, устройств для подачи воздуха (газовука, ресиверы и так далее)

и для возбуждения акустических колебаний. Колебания звуковых частот создавались электродинамическим преобразователем с номинальной мощностью 50 ватт, а инфразвуковые — механическим излучателем. Исследуемый материал загружался внутрь колонны на решетку. Амплитуда колебаний в различных точках по оси колонны через 0,1 м измерялась с помощью акустического зонда ЗА-4 (при скорости воздушного потока, равной нулю) и специально сконструированного зонда с пьезокерамическим чувствительным элементом (при продувке слоя воздухом), усилителя постоянного напряжения GV-2 и анализатора спектра СЧ-12. Для частот ниже 20 гц вместо СЧ-12 использовался осциллограф С1-19А.

Так как плотность укладки сыпучих материалов не является постоянной величиной, то измерения проводились при нескольких засыпках и длительном предварительном встряхивании слоя для получения минимальной пористости, а результаты затем усреднялись. В экспериментах с воздушным потоком через слой средняя величина отношения сигнала к шуму, уменьшающегося при снижении частоты, составляла около 30 дб. На фиг. 1 приведены зависимости коэффициента затухания  $\alpha^*$ , м<sup>-1</sup> акустических волн от частоты  $f$ , гц, определенные в слое: 1 — гречки, 2, 4, 5 — кокса и соответственно 3, 6, 8 — угля с частицами классов 3—6, 6—13, 13—25 мм;

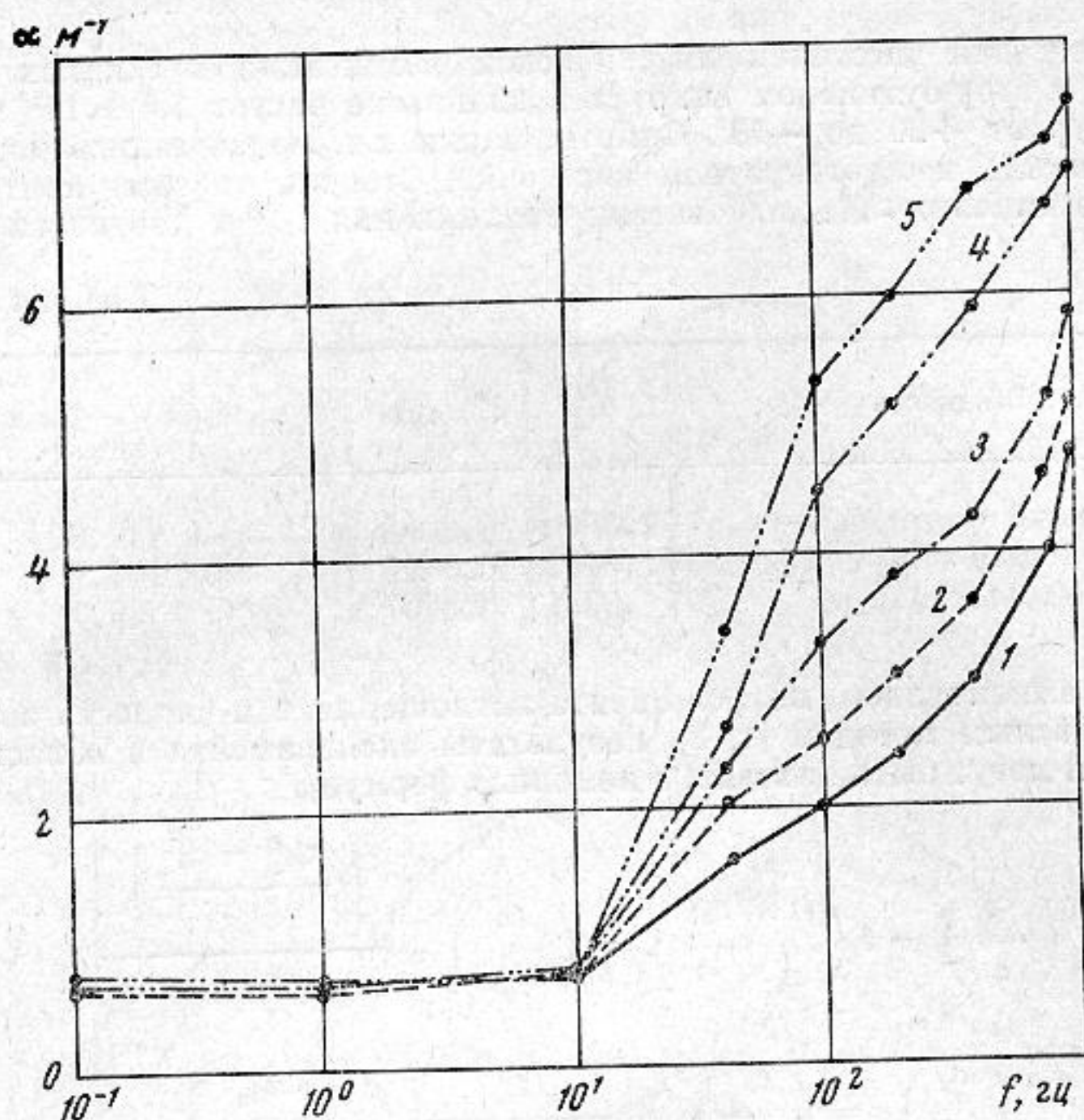


Фиг. 1

7 — гороха. Из этой фигуры видно, что коэффициент затухания пропорционален квадратному корню из частоты и обратно пропорционален эквивалентному диаметру частиц, образующих слой. Значения коэффициента затухания (см. таблицу), определенные экспериментально и рассчитанные по формуле (21) работы [2], находятся в удовлетворительном соответствии (имеют один и тот же порядок величин). В то

\* Коэффициент затухания определялся из соотношения [1]  $A(x) = A_0 e^{-\alpha x}$ , где  $A(x)$  — амплитуда колебаний на расстоянии  $x$  от источника,  $A_0$  — амплитуда колебаний в точке  $x = 0$ .

же время в формуле не учитывается влияние на коэффициент затухания формы частиц и характера их поверхности, которое усиливается при возрастании эквивалентного диаметра частиц. Значительное влияние формы и характера поверхности частиц на величину коэффициента затухания следует из фиг. 1. Так, коэффициент затухания в слое угля с частицами класса 6—13 мм меньше, чем в соответственном



Фиг. 2

слое кокса во всем исследованном диапазоне частот, а разница возрастает по мере увеличения частоты. Еще сильнее это влияние проявляется при сопоставлении коэффициентов затухания в слое гороха и кокса фракции 6—13 мм. По-видимому, поэтому расчетные данные коэффициента затухания наиболее близки к экспериментальным для частиц с более правильной формой и менее шероховатой поверхностью (см. данные таблицы для слоя кокса и угля с частицами класса 13—25 мм).

Анализ результатов экспериментов, проводившихся при различных скоростях движения воздушного потока (до 4 м/сек) через слой указанных выше материалов, показывает, что ранее установленный характер зависимости коэффициента затухания от частоты, размера частиц, их формы и характера поверхности остается без существенных изменений. Однако увеличение скорости потока приводит к уменьшению зависимости от частоты коэффициента затухания для данного размера частиц при частотах выше 200 гц, увеличению — в диапазоне 10—200 гц и исчезновению зависимости в диапазоне 0,1—10 гц. Влияние же размера частиц, а также их формы и характера поверхности на величину коэффициента затухания, наоборот, усиливается. На фиг. 2 приведены зависимости коэффициента затухания  $\alpha$ ,  $\text{м}^{-1}$  от частоты  $f$ , гц для слоя кокса с частицами класса 3—6 мм при различных скоростях воздушного потока  $w_0$ : 1—0,20, 2—0,55, 3—0,74, 4—1,27, 5—2,10 м/сек на свободное сечение колонны.

Следует отметить, что в проведенных экспериментах изменение звукового давления в пределах от 18 до 100  $\text{н}/\text{м}^2$  не оказывало существенного влияния на величину коэффициента затухания, увеличивающегося при этом всего на 17—20%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Ноздрев. Применение ультразвуки в молекулярной физике. М., Физматгиз, 1958.
2. В. С. Нестеров. Вязко-инерционная дисперсия и затухание звука в суспензии высокой концентрации. Акуст. ж., 1959, 5, 3, 337—344.

Карагандинский филиал  
Института горючих ископаемых

Поступило в редакцию  
8 апреля 1968 г.