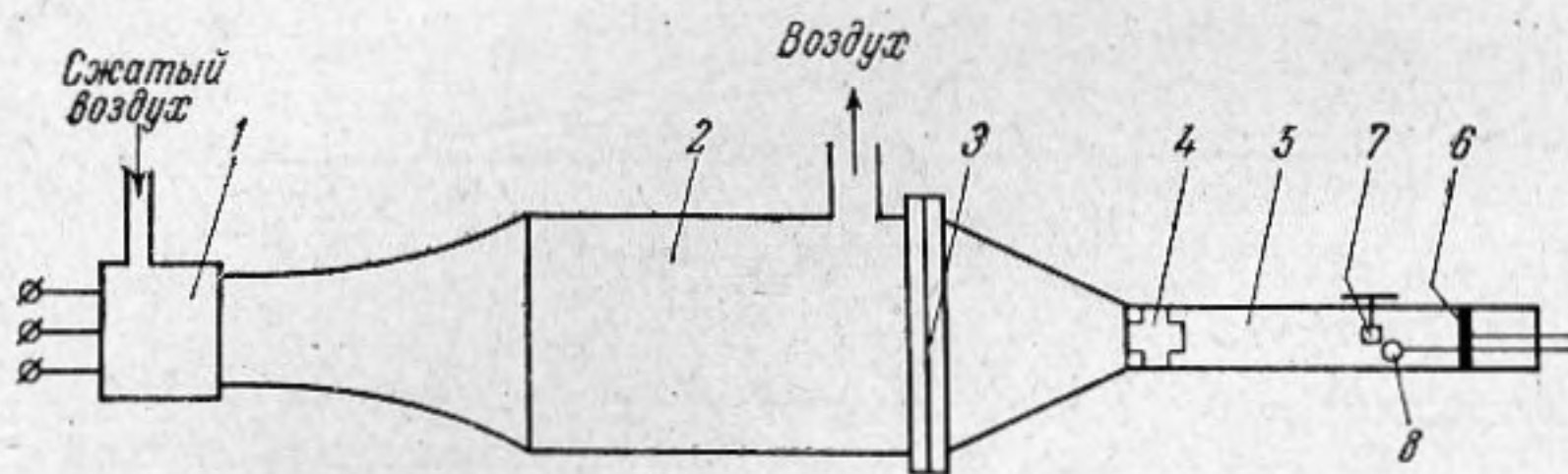


КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

К ВОПРОСУ ОБ АКУСТИЧЕСКОЙ СУШКЕ В СТОЯЧЕЙ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЕ:

Ю. Я. Борисов, Н. М. Гыжина

В последние годы появился ряд работ [1, 2, 3] по использованию акустической энергии для целей сушки, в которых отмечалось, что акустический метод может оказаться перспективным для некоторых отраслей промышленности, где приходится иметь дело с трудно сохнущими, легко окисляющимися или термочувствительными материалами. К сожалению, механизм акустического метода сушки остается до сих пор неясным, а выдвигаемые авторами предположения о возможном механизме не подтверждены экспериментально.



Фиг. 1

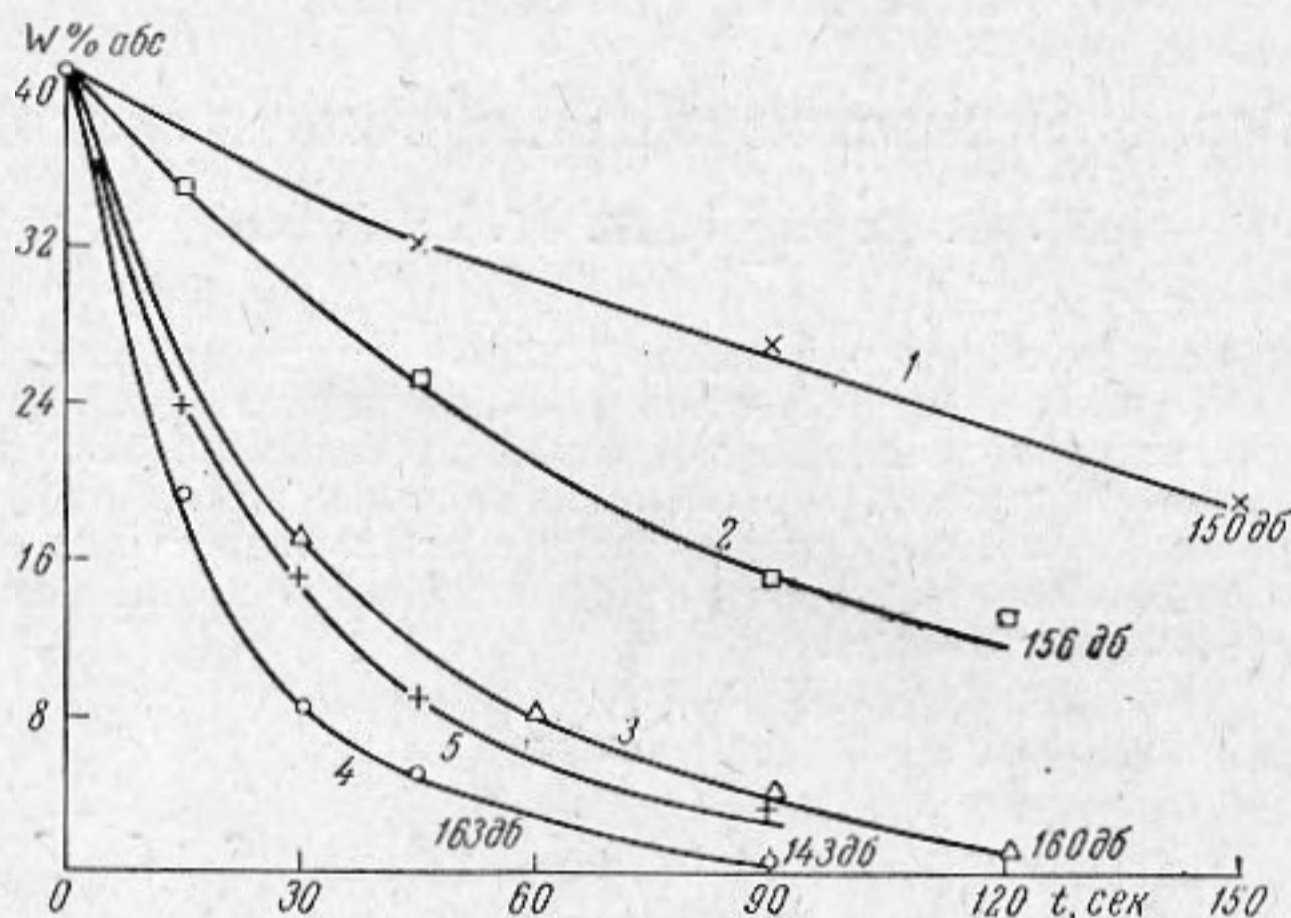
Известно, что процесс сушки существенно зависит от вида связи влаги с материалом. На начальной стадии исследований нас интересовал часто встречающийся в практике сушки процесс удаления влаги, наиболее слабо связанной с материалом, а именно, капиллярной влаги и влаги смачивания. Одним из типичных представителей класса капиллярно-пористых тел, в которых влага оказывается связанной механически, является фильтровальная бумага [4]. Последняя использовалась нами при исследованиях.

Для разделения многочисленных факторов, могущих влиять на сушку в акустическом поле, мы использовали известный метод стоячих волн и проводили исследование процесса в зависимости от места расположения материала в стоячей звуковой волне. При этом предполагалось, что если основную роль для сушки играет величина звукового давления (известно, что процесс ускоряется с повышением уровня звукового давления в сушильной камере), то в пучности и узле давления процесс сушки будет существенно отличным.

Установка, использованная нами для проведения исследований, показана схематически на фиг. 1. Здесь 1— динамическая сирена типа УЗГ-7Г, мощностью 800 *вт*, 2— предварительная камера, 3— разделительная диафрагма, 4— акустический фильтр, 5— рабочая камера, представляющая собой трубу с внутренним диаметром 40 мм, в которой создавалась плоская звуковая волна. Настройка трубы осуществлялась с помощью жесткого поршня — отражателя 6. Образец 7 помещался внутри трубы 5. Рабочая частота сирены в наших опытах составляла 1080 ± 20 *гц*. Для измерения звукового давления в месте расположения образца использовался пьезоэлектрический микрофон 8. В качестве разделительной диафрагмы, отсекающей воздух, выходящий из сирены, использовалась пластмассовая пленка толщиной 40 *мк*. При высоких уровнях звука, по-видимому, вследствие нелинейных искажений в горле рупора предварительной камеры, наряду с основным тоном возникали высшие гармоники. Для устранения их и использовался упомянутый выше однозвенный акустический фильтр низкой частоты [5], с частотой среза приблизительно 1500 *гц*; при этом затухание на рабочей частоте составляло лишь 2 *дб*. Применение фильтра позволило добиться перепада давлений в пучности и узле около 20 *дб*. Измерение звукового давления проводилось 5-миллиметровым или 6-миллиметровым цилиндрическими, титанатовыми микрофонами, сигнал с которых подавался на ламповый вольтметр МВЛ-2М или анализатор спектра АС-3. Как уже сказано выше, в качестве

объекта сушки использовалась фильтровальная бумага, быстро приобретающая нужную влажность, что существенно при установлении количественных зависимостей, так как время сушки является функцией начальной влажности.

Размер образцов выбирался малым по сравнению с длиной волны (10×10 мм при толщине $0,4$ мм) с тем, чтобы можно было строго фиксировать образец в узле или пучности волны ($\lambda/4$ в воздухе при температуре 32° составляет $8,2$ см). Образцы располагались на оси трубы вдоль направления распространения волны, чтобы устранить влияние радиационного давления. Начальная влажность поддерживалась равной $41 \pm 1\%$. Влажность до и после озвучивания определялась весовым методом. Каждый



Фиг. 2

эксперимент повторялся 15 раз и полученные данные усреднялись. Относительная ошибка измерения для влажностей выше 8% не превышала 10% и увеличивалась до 25% по мере уменьшения влажности.

Результаты исследования показаны на фиг. 2. На фигуре кривые 1, 2, 3, 4 представляют процессы сушки образцов в пучности давления при постепенно увеличивающемся от 150 до 163 дБ уровне звукового давления в пучности стоячей звуковой волны, т. е. в месте расположения образца. Легко видеть, что по мере увеличения звукового давления скорость сушки возрастает. Это обстоятельство на первый взгляд подтверждало существовавшее предположение о том, что именно давление является фактором, непосредственно определяющим процесс сушки. Однако это не совсем так.

Действительно, если бы главным фактором являлась абсолютная величина звукового давления в месте расположения образца, то, переместив образец в зону стоячей волны, где действующее звуковое давление было меньше 150 дБ, мы могли бы ожидать, что процесс сушки здесь еще более ухудшится. Однако, поместив образец в зону узла стоячей с волны уровнем звукового давления 143 дБ (кривая 5), давление в пучности при этом составляло 163 дБ, мы видим, что процесс сушки здесь протекает гораздо быстрее, чем для кривой 1 и приближается по скорости к процессу в пучности давления при 163 дБ (кривая 4).

Отсюда ясно, что само звуковое давление не является фактором, непосредственно определяющим скорость сушки тонких капиллярно-пористых материалов в стоячей звуковой волне. Вероятно, высокие энергетические уровни в сушильной камере описанного вида необходимы по существу для создания у сушащихся поверхностей интенсивных циркуляционных потоков, способствующих съему влаги с поверхности и усиливающих циркуляцию сушащего агента.

Следует отметить, что температура в узле и пучности при уровне звукового давления в пучности 163 дБ отличалась на $3-4^\circ$ (в пучности 32° , в узле $28-29^\circ$). Поэтому кривая 5 снята фактически при более низкой температуре. Все остальные кривые снимались в пучности давления при температуре 32° , искусственно поддерживаемой при помощи тепловентилятора, обогревавшего трубу, так как при пониженных звуковых давлениях в трубе устанавливалась более низкая (чем 32°) температура.

В работе принимали участие А. К. Горохов и Л. А. Монахова.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Brun, R. M. G. Boucher. Research on the acoustic air-jet generator. A new development. J. Acoust. Soc. America, 1957, 29, 5, 573—583.
2. R. M. G. Boucher. Drying by airborne ultrasonics. Ultrason. News, 1959, 3, 2, 8—9, 14—17.

3. P. G r e g u s s. Szonokemia. Budapest, 1955. (Р. Грегусш. Доклад в АКИН АН СССР, 1960).
4. А. В. Лыков. Теория сушки. М.—Л., Госэнергоиздат, 1950.
5. И. И. Славин. Производственный шум и борьба с ним. М., Профиздат, 1955.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
26 июля 1961 г.

ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

В. В. Войтонис, В. Ф. Яковлев

В работе [1] предлагается методика расчета коэффициента поглощения ультразвука по изменению напряжения на кварце интерферометра. При этом допускается ряд приближений, который возможно избежать. Будем обозначать через V' напряжение, обусловленное воздействием ультразвукового поля на кварц. Для расчета поглощения необходимо взять два максимума и два минимума на кривой реакции

$$\begin{aligned} V_{1 \max} &= V'_0 \operatorname{cth}(\alpha r_1 + \beta) + V'', & V_{1 \min} &= V'_0 \operatorname{th}\left(\alpha r_1 + \frac{\alpha \lambda}{4} + \beta\right) + V'', \\ V_{2 \max} &= V'_0 \operatorname{cth}(\alpha r_2 + \beta) + V'', & V_{2 \min} &= V'_0 \operatorname{th}\left(\alpha r_2 + \frac{\alpha \lambda}{4} + \beta\right) + V'', \end{aligned} \quad (1)$$

где V'' — постоянно.

При условии $r \gg \lambda/4$ можно полагать $V_{1 \min} = V'_0 \operatorname{th}(\alpha r_1 + \beta) + V''$, $V_{2 \min} = -V'_0 \operatorname{th}(\alpha r_2 + \beta) + V''$. В работе [1] находятся величины

$$N = \frac{V_{2 \min} - V_{1 \min}}{V_{1 \max} - V_{2 \max}} = \operatorname{th} \varphi_1 \cdot \operatorname{th} \varphi_2, \quad (2)$$

$$R = \frac{V_{1 \max} - V_{1 \min}}{V_{2 \max} - V_{2 \min}} \approx \frac{\operatorname{th} \varphi_2}{\operatorname{th} \varphi_1},$$

где $\varphi_1 = \alpha r_1 + \beta$, $\varphi_2 = \alpha r_2 + \beta$; выражение для R носит приближенный характер справедливо для малых значений $\alpha r + \beta$, поскольку строго

$$\frac{V_{1 \max} - V_{1 \min}}{V_{2 \max} - V_{2 \min}} = \frac{(1 - \operatorname{th}^2 \varphi_1) \operatorname{th} \varphi_2}{(1 - \operatorname{th}^2 \varphi_2) \operatorname{th} \varphi_1}.$$

Если величину R определить несколько иначе, то требование малости $\alpha r + \beta$ отпадает. Это будет при

$$R = \frac{V_{1 \max} - V_{2 \min}}{V_{2 \max} - V_{1 \min}} = \frac{\operatorname{cth} \varphi_1 - \operatorname{th} \varphi_2}{\operatorname{cth} \varphi_2 - \operatorname{th} \varphi_1} = \frac{\operatorname{th} \varphi_2}{\operatorname{th} \varphi_1}. \quad (3)$$

Используя уравнения (2) и (3), получаем $\operatorname{th}^2 \varphi_1 = N/R$, $\operatorname{th}^2 \varphi_2 = NR$, или $\alpha r_1 + \beta = \operatorname{Arth} \sqrt{N/R}$, $\alpha r_2 + \beta = \operatorname{Arth} \sqrt{NR}$, откуда

$$\alpha = \frac{1}{r_2 - r_1} \left(\operatorname{Arth} \sqrt{NR} - \operatorname{Arth} \sqrt{\frac{N}{R}} \right). \quad (4)$$

Единственным ограничением, которое накладывается на это решение, является условие $r \gg \lambda/4$. Оно должно сказываться при измерениях в среде с очень большим поглощением, когда ослабление акустической реакции настолько велико, что перемещение рефлектора должно осуществляться вблизи кварца. В этом случае указанного ограничения можно избежать, используя для расчета значения V_{\min} , найденные из двух соседних минимумов, расположенных рядом с V_{\max} . Это соответствует замене участка гиперболической тангенсоиды, лежащей между соседними минимумами, отрезком прямой.

Предлагаемое выражение (4) применимо для любых αr и является более общим, чем соответственные выражения, полученные в работе [1].