

На фиг. 1 приведены полученные экспериментально зависимости коэффициентов затухания 1 и 3 поперечных нормальных волн k_n'' от отношения частоты к критической частоте $f/f_{кр.н}$ (кривые 1 и 2) и коэффициенты затухания поперечных волн (равные k_0''), измеренные соответственно на тех же пластинах и частотах (кривые 3 и 4). Из графиков видно, что с увеличением частоты f от значения $f = f_{кр.н}$ коэффициент затухания k_n'' быстро уменьшается (пропорционально c_n/c_t), достигает своего минимального значения и затем плавно возрастает с частотой.

Сопоставление экспериментальных результатов с расчетом приведено на фиг. 2. Сплошной линией нанесена расчетная кривая зависимости коэффициента A от $f/f_{кр.н}$. Точками нанесены значения отношений экспериментально измеренных величин коэффициентов затухания поперечных нормальных волн и поперечных волн k_n''/k_t'' . Обозначение 1 соответствует $n = 1$, 2 — $n = 2$ и 3 — $n = 3$. Относительное отклонение экспериментальных точек от теоретической кривой не превышает 12—15%. Это позволяет сделать вывод о возможности определения (с достаточной степенью точности) коэффициента затухания поперечных нормальных волн по известным значениям коэффициентов затухания поперечных волн.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Л. С. Грищенко за участие в проведении опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. M. Ewing, W. S. Jardetzky, F. Press. Elastic waves in layered media. M. C. Graw — Hill, New York, 1957.
2. V. T. Buchwald. Transverse waves in elastic plates. J. Mech. Appl. Math., 1958, 9, 4, 498—508.
3. Meitzler. Ultrasonic delay lines using shear modes in strips. IRE Trans. Ultrason. Eng. UE, 1960, 7, 2, 35—43.
4. Mario Onoe. Mechanical input admittance of ultrasonic delay-lines operating in torsional or Shear-Modes. J. Acoust. Soc. America, 35, 7, 1003—1008.
5. Л. Бергман. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., ИЛ, 1957.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
31 января 1966 г.

УДК 534.222.532.507

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ АКУСТИЧЕСКОЙ СУШКИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

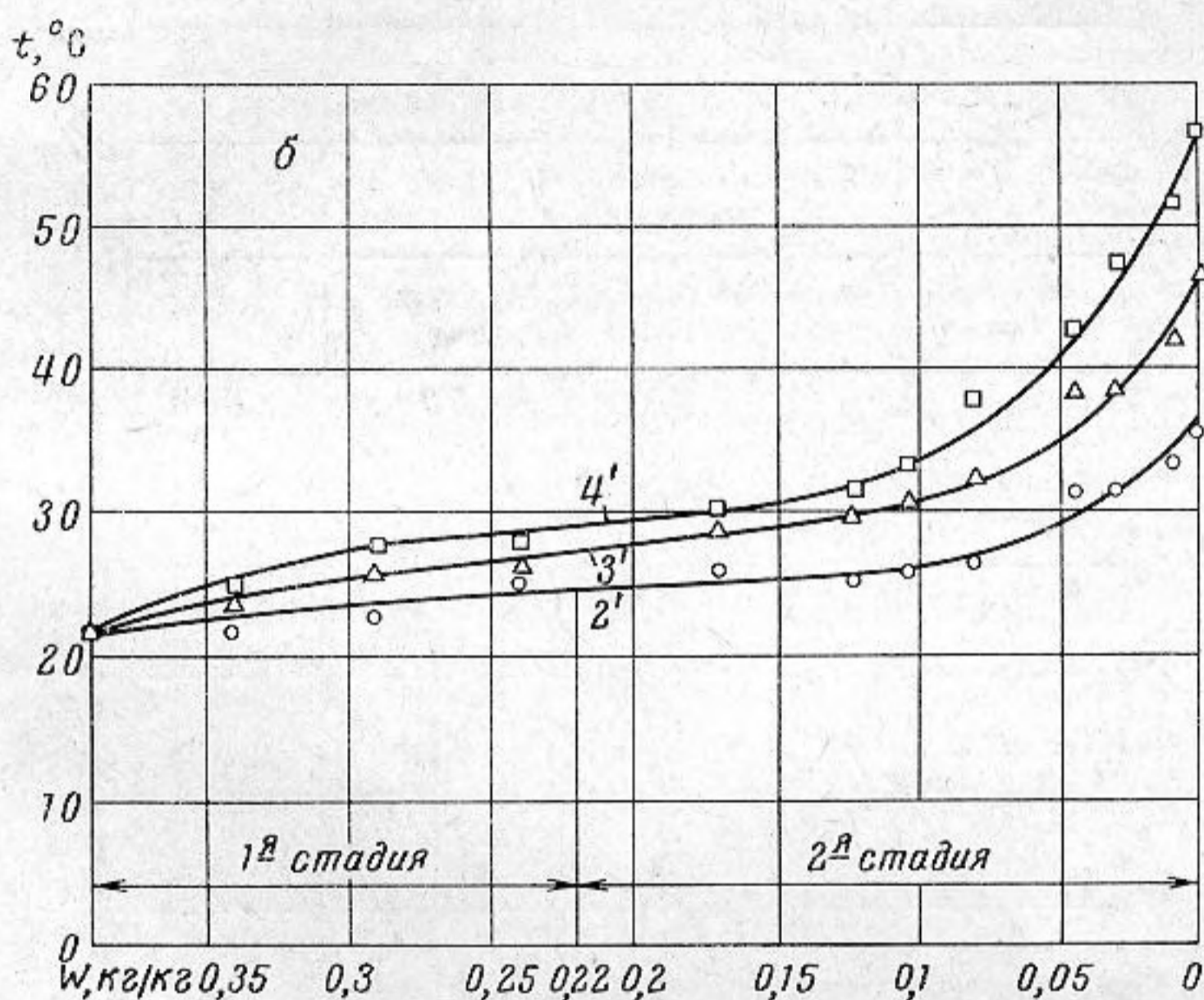
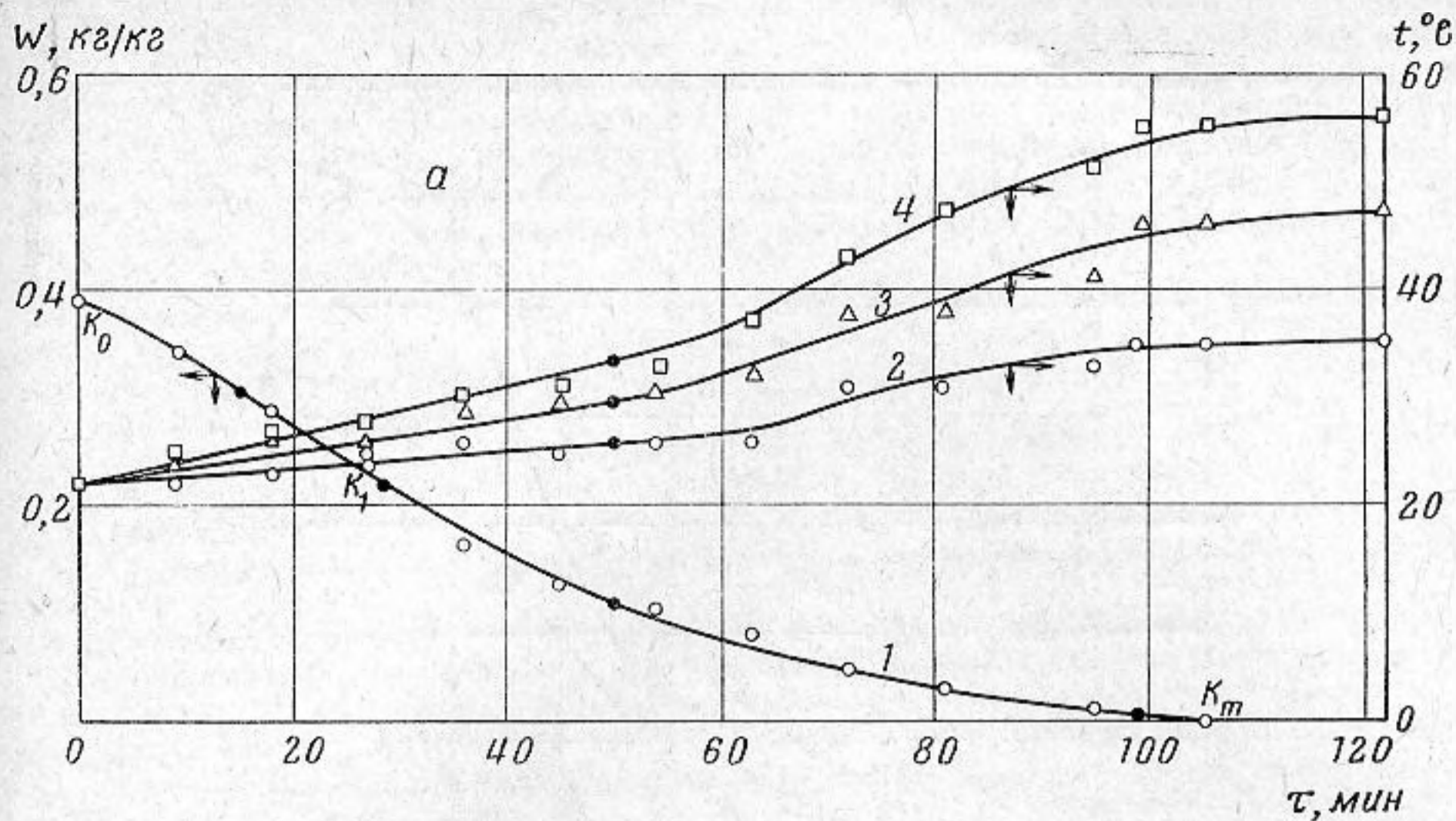
В. В. Каменкович, Е. П. Медников

В работе [1] было установлено, что процесс акустической сушки протекает наиболее эффективно в пучностях колебательной скорости и, наоборот, наименее эффективно в узлах скорости, где звуковое давление достигает максимума. Последнее означает, что интенсифицирующее действие акустических колебаний на процесс сушки обусловлено не периодическим разрежением окружающего воздуха, как предполагали Буше [2] и Грегуш [3], а колебательным и циркуляционным движением воздуха вдоль доступных звуку поверхностей материала, т. е. конвекцией.

Такое заключение, однако, верно лишь в отношении первой стадии сушки капиллярно-пористых материалов, при которой происходит испарение механически удерживаемой в порах и макрокапиллярах свободной влаги [4], характеризующееся, как и испарение со свободной поверхности жидкости, постоянством скорости.

Что касается второй, замедленной стадии сушки капиллярно-пористых материалов, при которой удаляется влага, связанная молекулярными (адсорбционными) силами на стенках макро- и микрокапилляров, то здесь такое объяснение оказывается неудовлетворительным, поскольку в капиллярах, размер которых в пределе достигает 10^{-4} см и менее, движение воздуха сильно заторможено или вовсе отсутствует вследствие влияния вязкости.

Грегуш [3] высказал предположение, что на второй стадии сушки увеличению ее скорости способствует увеличение влажностепроводимости материала вследствие уменьшения вязкости озвучиваемой жидкости, пульсаций находящихся в порах и капиллярах пузырьков воздуха и радиационного давления звука, однако из-за сильного затухания звука в порах и капиллярах все эти эффекты не могут возникать или будут очень слабы.



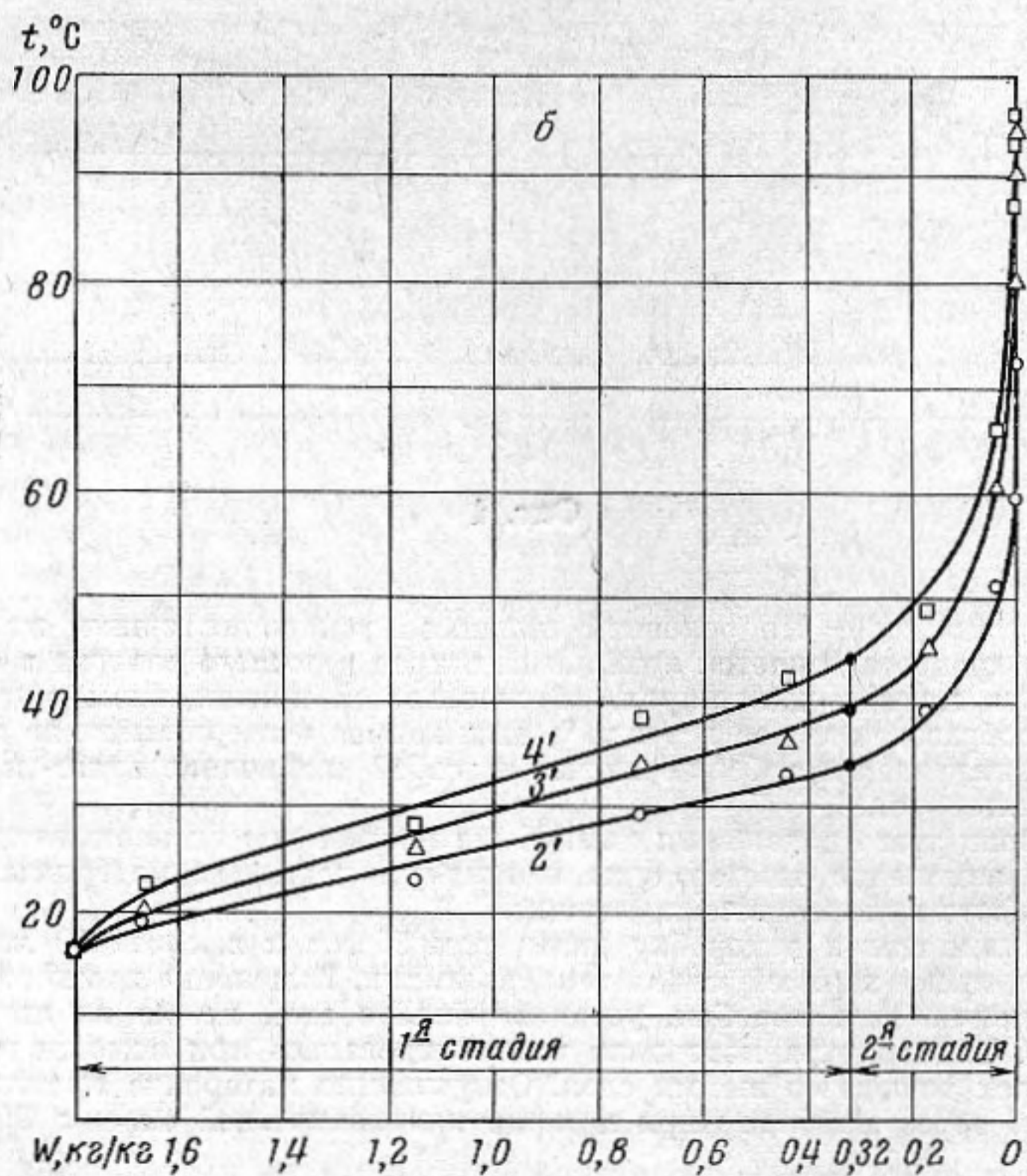
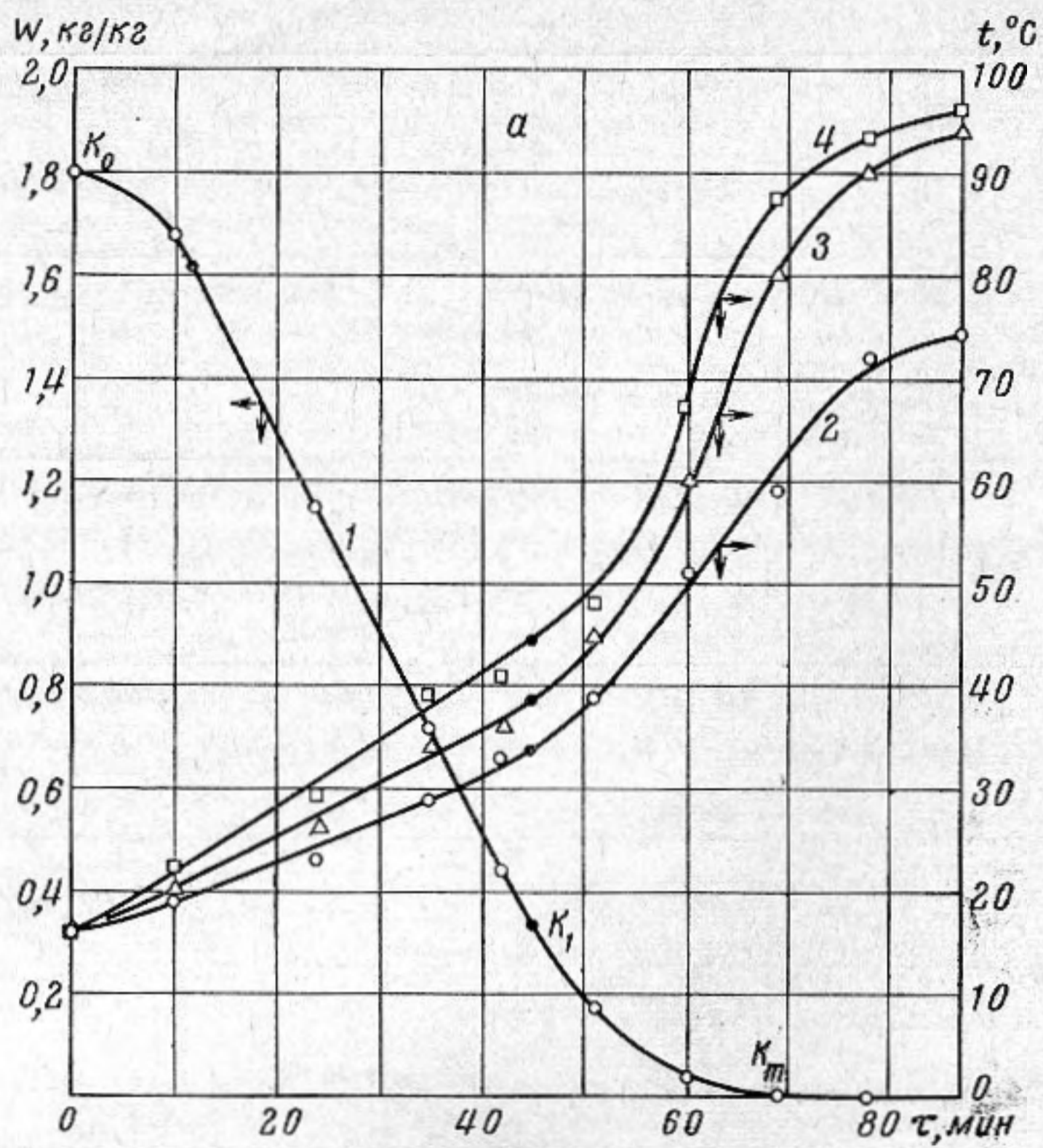
Фиг. 1

Нам представляется, что основной причиной ускорения сушки материалов на второй стадии процесса является локальный нагрев влажного воздуха в освобождающихся от влаги мелких капиллярах, обусловленный поглощением в них звуковой энергии и преобразованием ее в тепло*; вызываемое этим повышение температуры жидкости в капиллярах неизбежно влечет за собой увеличение влаго- и термовлагопроводности материала.

Для проверки этого положения нами были поставлены эксперименты, в которых исследовалось изменение температуры капиллярно-пористых материалов с изменением их влажности при акустической сушке.

Материал помещался в коробку диаметром 55 мм и высотой 30 мм, покрытую со всех сторон, кроме верхней, слоем теплоизоляции. Изменение влажности определялось по изменению веса коробки, установленной с этой целью на автоматические весы ВКТ-500. Температура материала контролировалась при помощи миниатюрных термопар в трех точках по высоте слоя. Озвучивание материала производилось при частоте 500 гц через мембрану при помощи пневматической сирены СПМ-1. Между

* Факт нагрева и даже возгорания капиллярно-пористых материалов — ваты, хлопка, сукна, дерева и др. в звуковом поле известен давно [5, 6], однако в работах по акустической сушке материалов он оставлен без внимания.



Фиг. 2

рупором сирены и коробкой был кольцевой зазор, обеспечивавший возможности циркуляции комнатного воздуха над слоем материала.

На фиг. 1, а и 2, а представлены результаты, полученные соответственно для силикагеля и войлока при уровне силы звука 158 дб. Цифрой 1 обозначены кривые изменения влажности материала во времени, а цифрами 2, 3 и 4 — кривые изменения во времени локальной температуры в центральной части образца на глубине соответственно 5, 13 и 18 мм. Ниже (фиг. 1, б и 2, б) помещены построенные по этим данным кривые 2', 3' и 4', показывающие изменение температуры в указанных точках в функции средней влажности материала.

Рассматривая кривые сушки 1, мы можем констатировать, что первая стадия сушки, характеризующаяся в установившейся части постоянством скорости, имеет место на участке $k_0 - k_1$, а вторая стадия, характеризующаяся замедлением скорости, — на участке $k_1 - k_m$.

Рассматривая температурные кривые 2, 3 и 4 и особенно 2', 3' и 4', мы видим, что несмотря на избранную низкую частоту, в обоих материалах имеет место весьма существенное повышение температуры. При этом во второй стадии сушки, когда от влаги освобождаются наиболее мелкие капилляры, наблюдается резкий подъем температуры материала, достигающий на глубине 18 мм в силикагеле 33 и войлоке 79°.

Как известно [7], адсорбционная влага располагается на стенках макро- и микрокапилляров в виде тончайшего молекулярного слоя, который может быть удален либо путем снижения давления среды, либо путем повышения температуры материала. Создаваемое звуком периодическое понижение давления среды слишком мало ($\leq 0,03$ атм при 158 дб), чтобы дать ощутимый эффект, поэтому ясно, что испарению влаги в нашем случае способствует именно повышение температуры, обусловленное поглощением акустической энергии в слое материала. При этом направление температурного градиента, в отличие от обычной сушки, совпадает с направлением градиента концентрации влаги, что усиливает эффект сушки.

Необходимо отметить, что некоторое повышение температуры наблюдается и при акустической сушке насыпных негигроскопичных материалов с малоразвитой сетью капилляров, например, кварцевого песка [8], которые практически лишены адсорбционной влаги; однако для них так однозначно определить роль нагрева затруднительно из-за того, что подъем температуры возникает с самого начала озвучивания, когда ему сопутствует конвективный механизм сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Я. Борисов, Н. М. Гынкина. К вопросу об акустической сушке в стоячей звуковой волне. Акуст. ж., 1962, 8, 1, 129—131.
2. R. M. G. Boucher. Drying by airborne ultrasonics. Ultrasonics News, 1959, 3, 8—9, 14—16.
3. P. Greguss. Drying by airborne ultrasonics. Ultrasonics News, 1961, 5, 3, 7—11.
4. П. А. Ребиндер. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки. В кн.: «Всесоюз. научно-технич. совещание по интенсиф. процес. и улучшению качества материалов при сушке». М., 1958.
5. C. H. Allen, J. Rudnick. A powerful high frequency siren. J. Acoust. Soc. America, 1947, 19, 5, 857—865.
6. L. Rimonow. Un nouveau modèle amélioré de sirene ultrasonore. Ann. telecommun., 1951, 6, 11, 337—341.
7. А. В. Лыков. Теория сушки. М., Госэнергоиздат, 1950.
8. Н. Н. Долгополов, С. Г. Симонян, Ю. Я. Борисов. Кинетика акустической сушки капиллярно-пористых материалов. Инж-физ. ж., 1965, 9, 6, 741—743.

Физико-химический институт
им. Л. Я. Карпова
Москва

Поступило в редакцию
21 июня 1966 г.