

Плексигласовая кювета размером  $20 \times 20 \times 20$  см заглушалась с одного торца слоем пробки и слоем белой вакуумной резины. Кювета наполовину заполнялась глицерином, плотность которого  $\rho_{20^\circ} = 1,26$  г/см<sup>3</sup>; сверху заливалось вазелиновое масло  $\rho_{20^\circ} = 0,90$  г/см<sup>3</sup>. Граница раздела жидкостей лежала на оси излучателя. Излучателем служила кварцевая пластинка диаметром 3,5 см с рабочим зрачком 2,8 см, работавшая на основной частоте 5 мц.

Если окрашенную каплю воды пустить в вазелиновое масло, капля в виде шарика, медленно опускаясь, доходит до поверхности глицерина, где под действием силы поверхностного натяжения растягивается. На поверхности глицерина получается относительно тонкая окрашенная пленка. При работе излучателя пленка начинает перемещаться под действием акустического течения. Если сначала она помещалась вблизи от излучателя, распределение пленки все более и более принимает форму поперечного распределения скорости в потоке (фиг. а). Фотографирование окрашенной пленки производилось сверху, через слой вазелинового масла. Продвижение пленки приводит к тому, что часть краски попадает на линии тока, на которых скорость направлена к излучателю. В дальнейшем эта часть пленки попадает в поток, направленный от излучателя (фиг. б). Двигаясь, окрашенная пленка воды «чертит» линии тока (фиг. в, г). Слегка встряхивая кювету, можно сделать отметки на линиях тока в виде зазубрин, по движению которых может быть определена скорость акустического течения.

В заключение выражаем благодарность М. А. Уварову и Л. А. Одинцову за помощь в работе.

Лаборатория анизотропных  
структур АН СССР

Поступило в редакцию  
25 мая 1957 г.

## О МЕХАНИЗМЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ

*Л. О. Макаров, Л. Д. Розенберг*

Ранее [1] были изложены некоторые результаты исследования механизма физических явлений, происходящих при очистке загрязненной поверхности твердых тел в акустическом поле в жидкости. Как уже сообщалось в упомянутой работе, применение при этих исследованиях методов скоростной киносъемки позволило обнаружить два механизма разрушения поверхностных покрытий: это, во-первых, катастрофическое дробление покрытия под действием ударной волны, образующейся при аннигиляции кавитационного пузырька, и, во-вторых, постепенное отслаивание кусочков покрытия от твердой поверхности проникающими в зазор неаннигилирующими кавитационными или газонаполненными пузырьками.

Проведенное нами дальнейшее исследование описанных явлений при помощи скоростной киносъемки показало, что неаннигилирующие пузырьки могут проникать не только в зазор между слоем загрязнения и твердой поверхностью, но и в любые поры и зазоры этого слоя; интенсивно колеблясь в этих порах и зазорах, они стремятся увеличить их и разрушают слой загрязнения.

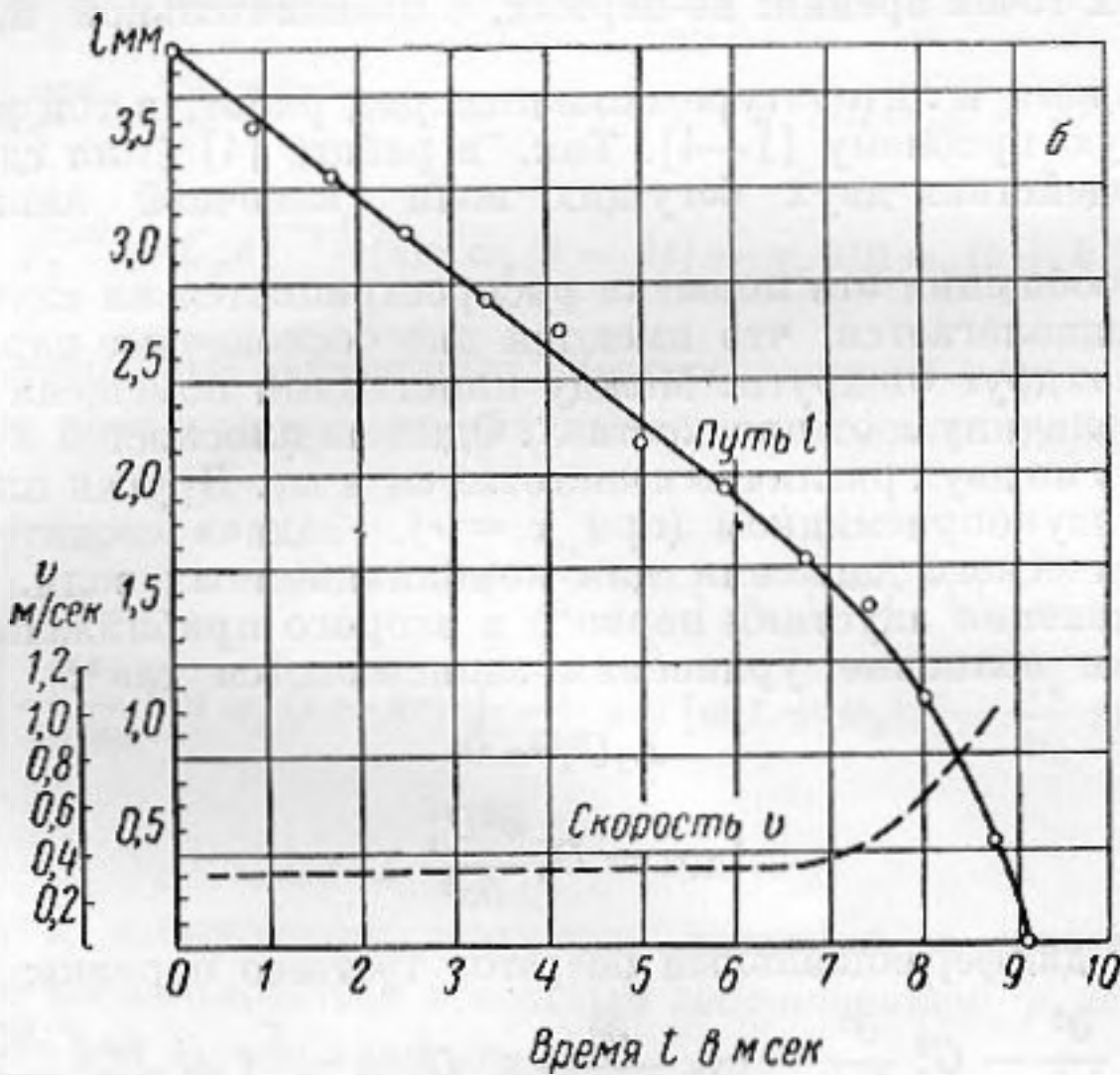
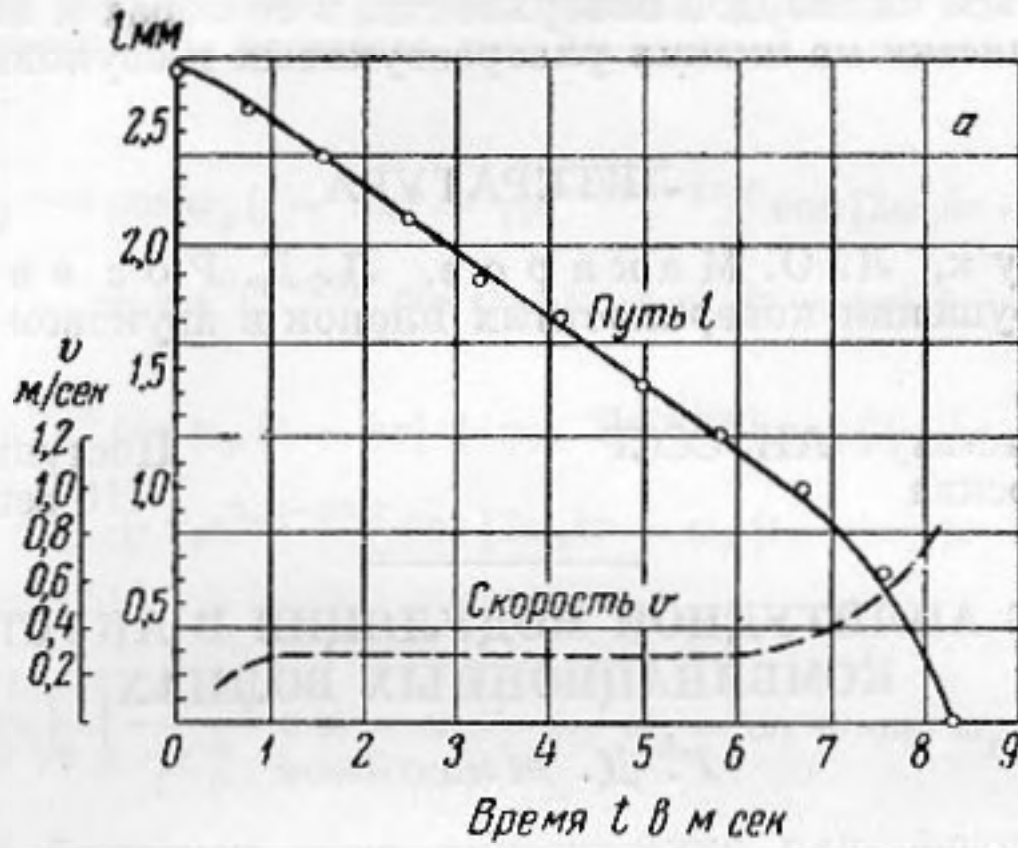
В настоящее время трудно количественно оценить роль каждого из двух механизмов разрушения, однако некоторые выводы могут быть сделаны из следующих фактов: из 37 кинопленок общей продолжительностью 80 сек, на которых нами был заснят процесс ультразвуковой очистки, на 34 пленках можно наблюдать процесс постепенного разрушения покрытия неаннигилирующими пузырьками, т. е. второй механизм очистки; в то же время катастрофический механизм разрушения в достаточно явном виде наблюдается лишь трижды.

Относительно механизма разрушения покрытий неаннигилирующими пузырьками следует напомнить высказанную ранее [1] гипотезу, о том, что пузырьки, видимо, проникают в зазор и удерживаются в нем благодаря наличию сил поверхностного натяжения. Действием сил поверхностного натяжения, вообще говоря, представляется возможным объяснить и другие часто наблюдавшиеся в ходе экспериментов явления. Например, практически чрезвычайно важна способность пузырьков, однажды попав на твердую поверхность, устойчиво локализоваться на ней; перемещаясь по твердой поверхности слоя загрязнения и попадая в поры и зазоры, пузырьки локализуются в этих порах, являющихся «слабыми местами» покрытия. Благодаря тем же силам поверхностного натяжения, пузырьки часто переносят на своей поверхности прилипшие к ней обломки слоя загрязнения, что способствует лучшей очистке.

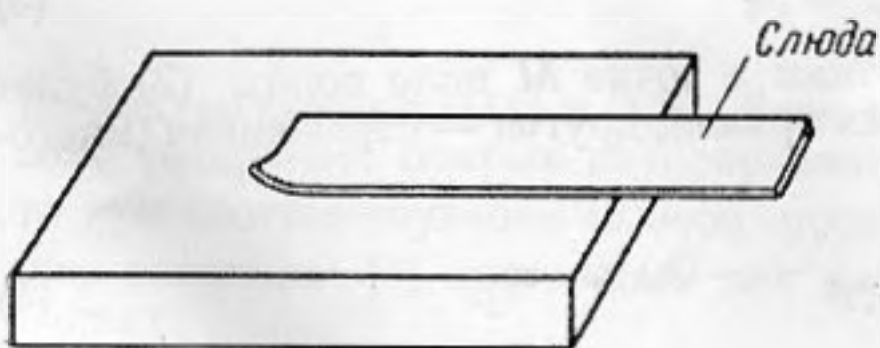
Учитывая отмеченную выше важность второго механизма разрушения, было принято более детальное исследование характера движения неаннигилирующих пузырьков по подвергающейся очистке поверхности. Как показало построение большого количества кинематограмм движения пузырьков, либо в процессе их коагуляции, либо при движении их по направлению к некоторой твердой неоднородности, во всех случаях большая часть пути проходит пузырьками с постоянной скоростью

(см. например, фиг. 1, а, б), что позволяет высказать предположение о существенной роли увлекающего их потока (звукового ветра). Характер взаимодействия пузырька с другим пузырьком или с твердой неоднородностью на малых расстояниях, когда, как видно из кинеограмм этой фигуры, скорость движения резко возрастает, пока не выяснен.

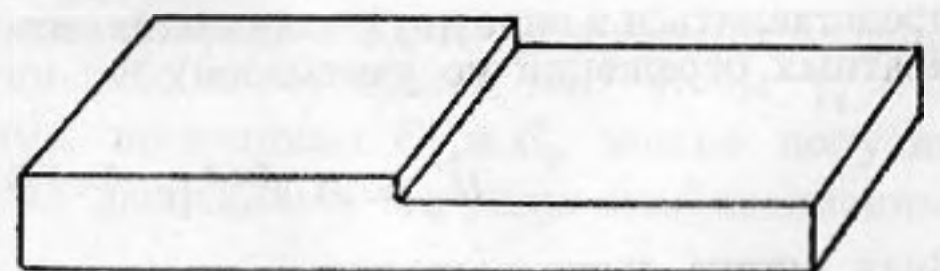
Для выяснения причин, заставляющих пузырек двигаться по направлению к твердой неоднородности, были поставлены эксперименты, исключаяющие случайный характер неоднородности. В одном случае на стеклянной пластинке укреплялась тонкая полоска слюды со слегка отстающим краем (см. фиг. 2), в другом на поверхности пластинки делалась стеклянная ступенька (см. фиг. 3). При озвучивании этих пластинок в воде, как показала киносъемка, образующиеся на их поверхности



Фиг. 1. Кинеограммы движения неаннигилирующего пузырька



Фиг. 2



Фиг. 3

Фиг. 2. Стеклопластинка с неоднородностью на ее поверхности в виде полоски слюды с отогнутым краем

Фиг. 3. Стеклопластинка с неоднородностью на ее поверхности в виде ступеньки

пузырьки собирались либо под слюдяной полоской, либо возле ступеньки. Можно предполагать, что стремление пузырьков именно к неоднородности определяется наличием и характером искажения, вносимого в постоянный поток такой неоднородностью. Может быть, таков же характер и взаимодействия пузырьков при коагуляции на сравнительно больших расстояниях между ними.

Во всяком случае, представляется перспективным обратить серьезное внимание на неаннигилирующие пузырьки, как на существенный фактор ультразвуковой очистки. Хотя они и требуют наличия в слое загрязнения некоторых начальных нарушений сплошности — пор, зазоров или отслаиваний, которые, кстати говоря, могут образоваться благодаря сравнительно редким, но существенным фактам аннигиляции, — однако благодаря большому их количеству, практически неограниченной продолжительности жизни (обычно равной времени озвучивания) и способности устойчиво локализоваться на твердой поверхности, в ее порах и зазорах, эти пузырьки играют в процессе очистки на низких ультразвуковых и звуковых частотах достаточно большую роль.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Бебчук, Л. О. Макаров, Л. Д. Розенберг. О механизме кавитационного разрушения поверхностных пленок в звуковом поле. Акуст. журн., 1956, 2, 2, 113—117.

Акустический институт АН СССР  
Москва

Поступило в редакцию  
16 сентября 1957 г.

### ЯВЛЕНИЕ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ В АКУСТИЧЕСКИХ КОМБИНАЦИОННЫХ ВОЛНАХ

*Г. Д. Михайлов*

Механизм взаимодействия акустических волн конечной амплитуды и законы распространения комбинационных волн пока мало изучены. Эта проблема представляет интерес с двух точек зрения: во-первых, с познавательной и, во-вторых, с прикладной.

В последнее время в литературе появился ряд работ, в той или иной мере затрагивающих данную проблему [1—4]. Так, в работе [4] была сделана попытка исследования взаимодействия двух бегущих волн конечной амплитуды в вязкой среде.

В настоящем сообщении эта попытка распространяется на случай ограниченного пространства. Предполагается, что имеются две бесконечные параллельные плоскости на расстоянии  $r$  друг от друга. Между пластинами помещена точка наблюдения  $M$ , отстоящая на величину  $x$  от плоскости  $S$ . Одна из плоскостей  $S$  служит источником и возбуждается на двух различных частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Другая плоскость  $P$  служит отражателем или звукоприемником (при  $x = r$ ). Задача сводится к отысканию избыточного акустического давления для комбинационных волн. В [4] были написаны волновые уравнения акустики первого и второго приближений, годные для указанной задачи. Эти волновые уравнения записываются так\*:

$$L_1 U_1 = 0, \quad (1)$$

$$L_1 \rho_2 = D_0 \frac{\partial^2 U_1^2}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где  $L_1$  — линейный дифференциальный оператор третьего порядка:

$$L_1 = \frac{\partial^2}{\partial t^2} - C_0^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} - b v_0 \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial t}; \quad D_0 = \rho_0 \left[ 1 + \frac{\rho_0}{C_0} \left( \frac{dC}{d\rho} \right)_0 \right].$$

Решение уравнения (1) для бесконечного полупространства, как известно, записывается так:

$$U_1' = A_1 e^{i\omega_1 t - (\alpha_1 + ik_1)x}. \quad (3)$$

Для наблюдателя, находящегося между плоскостями в точке  $M$  поле волны (3) будет представляться в виде двух волн, одна из которых прямая, другая — отраженная (многократных отражений не учитываем):

$$U_1^{*'} = A_1 e^{i\omega_1 t} [e^{-(\alpha_1 + ik_1)x} - \gamma_1 e^{-(\alpha_1 - ik_1)(2r-x)}]. \quad (4)$$

Знак минус учитывает потерю полуволны при отражении. Здесь  $\gamma_1$  — коэффициент отражения волны с частотой  $\omega_1$  от плоскости  $P$ .

\* Здесь использованы обозначения, принятые в [4].