

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ԵՐԵՎԱՆСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЕФН-МЭ-2(70)

*А.Б.Акопова, Л.В.Мелкумян,  
А.Г.Сальман*

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПО ОБРАБОТКЕ  
ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В АКУСТИЧЕСКОМ  
ПОЛЕ

АРУС



ԵՐԵՎԱՆ

1970

ԵՐԵՎԱՆ

Some Questions over Processing Nuclear Emulsions in  
the Acoustic Field

A.B. Akopova, L.V. Melkumjan, A.G. Salman

It has been investigated the influence of wide range frequency of the ultrasonics and sonics oscillations within the interval of 0,1-2500 KG/S to shorten the period of processing time of the nuclear emulsions.

In this work BP type emulsion layers of 400 and 600  $\mu$  thickness, irradiated by high energy protons have been used.

Some regularities of the intensification of processing dependence on the intensivity (amplitude) and the frequency oscillations have been established. It has been obtained, that the maximum acceleration (more than four-fold) to simultaneously considerable improvement of the photographic and physico-mechanical properties of the layers achieve on the frequency 100 G/S and amplitude oscillations 0,25 mm.

The sonic mounting has been described, which allowed simultaneously processing of a large number of layers in the identical conditions of the acoustic field.

The obtained results of photographic sensitivity, distortions, spurious scattering and mechanical strength undoubtedly point to effectiveness of the acoustic processing of nuclear emulsions.

Исследовано влияние звуковых и ультразвуковых колебаний широкого диапазона частот (0,1 - 2500 кгц) на ускорение полного цикла обработки ядерных эмульсий.

В этой работе использовались эмульсионные слои типа БР толщиной 400 и 600  $\mu$ , облучённые протонами высокой энергии.

Установлены некоторые закономерности интенсификации процессов обработки в зависимости от интенсивности (амплитуды) и частоты колебаний.

Показано, что максимальное ускорение (в четыре раза), при одновременном существенном улучшении физико-механических и фотографических свойств обрабатываемых слоёв, достигается на частоте 100 кгц при амплитуде колебаний 0,25 мм.

Описана звуковая установка, позволяющая одновременную обработку большого количества слоёв в идентичных условиях акустического поля.

Приведённые данные по фотографической чувствительности, искажениям общего и местного характера, а также по механической прочности, безусловно, указывают на эффективность звуковой обработки толстослойных ядерных эмульсий.

Задача определения возможности интенсификации процессов обработки тонкослойных ядерных эмульсий, в условиях акустического поля, потребовала тщательного исследования воздействия колебаний широкого диапазона частот.

В ходе эксперимента выяснилось, что ультразвуковые колебания (УЗК), возбуждаемые в обрабатываемой системе эмульсия-раствор как пьезоизлучателями с частотой 500-2500 кгц, так и магнито-стрикционными излучателями с  $f = 21$  кгц, не полностью удовлетворяют современным требованиям качественной химико-фотографической обработки в случае одновременного проявления большого количества слоев.

Неэффективность высокочастотного диапазона прежде всего объясняется значительной степенью поглощения энергии УЗК в рабочей среде, приводящей к существенному повышению температурных параметров обработки, которая накладывает на эффект ускорения трудно учитываемый специфический эффект термического воздействия [1].

Помимо нарушения теплового режима обработки в результате поглощения энергии УЗК, имеет место снижение величины интенсивности

ности УЗК по мере удаления от поверхности излучателя вдоль распространения колебаний, что приводило к неидентичности акустических параметров поля по всему рабочему объему ванны и, следовательно, к различию фотографических параметров обрабатываемых слоев.

С переходом в область более низких частот (21 кгц) наблюдалось значительное уменьшение величины поглощения, что следовательно ожидать в соответствии с уравнением Стокса:

$$\alpha = \frac{2\eta \cdot f^2}{3\rho c^3}$$

где  $\alpha$  - коэффициент поглощения;

$f$  - частота;

$\eta$  - вязкость.

Однако в акустическом поле с частотой 21 кгц, когда в рабочем объеме ванны укладывается целое число полувольт, наблюдалось некоторое различие в скорости обработки слоев, расположенных в местах, соответствующих узлам и пучностям волн.

В связи с этим, максимальная скорость обработки достигается в случае расположения слоя в пучности давления, где его значение равно удвоенному, т.е.  $2P$  (см. рис. 1), что подтверждает наблюдаемый в работе [2] факт интенсификации процесса проявления в пучности давления.

Обнаруженная локализация ускорения процесса в месте пучности колебаний на данной частоте, обусловленная градиентом давления в различных участках волны, делает частоту в 21 кгц практически непригодной для массовой обработки ядерных эмульсий. Помимо этого, при интенсивности колебаний, близкой к значению  $0,7-0,9$  вт/см<sup>2</sup>, возникает явление кавитации, приводящее к

механическому повреждению поверхности слоя и резкому потемнению ее, вследствие звукокавитационности, обусловленной электрическими разрядами в кавитационных полостях. На связь ультразвукового озвещения с кавитационными явлениями в водных растворах указывается и в работе [3].

Учитывая специфические особенности УЗК обработки, весьма затруднительное качественное проявление и исключительную практическую возможность одновременной обработки большого количества слоев представлялось интересным провести исследование на более низких звуковых частотах, когда длина волны несоизмеримо больше рабочего объема и достигает нескольких метров.

Объектом исследования в настоящем эксперименте явились звуковые колебания (ЗК) с частотой 100 гц, возбуждаемые в растворе электромагнитным излучателем, питаемым непосредственно от сети переменного тока с частотой 50 гц.

#### I. Описание звуковой установки.

Обработка толстослойных ядерных эмульсий, с использованием ЗК, осуществлялась в установке, выполненной на базе ванны для ультразвуковой очистки деталей типа УВВ-1,5. Ряд изменений и добавлений к указанной ванне позволил получить установку, обеспечивающую качественную обработку нескольких слоев в идентичных условиях акустического поля.

На рис.2 приведен общий вид установки, представляющей собой ванну емкостью 42 литра, из нержавеющей стали IX x 18N x 9T, обладающей высокой коррозионной стойкостью. На крышке ванны укреплен электромагнитный излучатель. При опускании крышки поток

с излучающей пластиной на конце устанавливается непосредственно над стойками со слоями и возбуждает ЗК в обрабатываемом растворе. Эмульсионные слои укладываются на перфорированные выдвижные полки, которые облегчают загрузку и смену слоев, а также наблюдение за ними в процессе обработки. Полки из капроновой сетки благоприятствуют двусторонней диффузии в случае обработки не-наклеенных слоев и, что очень важно, не оказывают сдерживающего действия на колебания, в отличие от стеклотканевых полок, применяемых нами ранее.

Термостатирование рабочих растворов осуществляется использованием эмальников, расположенных вдоль внутренних стен ванны, по которым циркулирует рассол с температурой 1-2°C. Благодаря применению резиновых прокладок, обеспечивается надежное герметичное уплотнение, повышающее эффективность звуко- и светозащиты.

Потребляемая электрическая мощность установки не превышает 0,5 квт. Помимо указанных преимуществ данного излучателя по сравнению с пьезо- и магнитоотрицательными, необходимо отметить и полное отсутствие перегрева его поверхности, исключительную необходимость специального охлаждения излучателя, что, несомненно, упрощает его эксплуатацию.

В настоящем эксперименте при работе на 100гц отпала необходимость исследования характера акустического поля из-за большой длины волны, исключительной перепады давления и тем самым обеспечивалась максимально однородное, по параметрам, поле по всему рабочему объему ванны.

Поэтому контроль за работой преобразователя на 100гц осуществлялся измерением амплитуды колебаний самого потока с точностью

до 1 мк с помощью измерительного микроскопа типа МИР-2. На конце штока располагался пластинчатый излучатель, а исследуемый слой под ним на расстоянии 2,5-3 см.

Результаты измерений амплитуды колебаний приведены на рис.3, где на оси ординат отложено напряжение в вольтах, приложенное к обмотке излучателя, а на оси абсцисс - величина измеряемой амплитуды в  $\text{см}^{-2}$ .

## 2. Исследование кинетики процессов обработки слоев в звуковом поле.

Для оценки вклада, вносимого ЗК в процесс интенсификации фотографической обработки слоев толщиной 400 и 600 мк, была применена стандартная методика НИКФИ с изменением лишь продолжительности каждой стадии обработки.

В связи с тем, что начальная стадия обработки (пропитка в 5%-ом растворе глицерина) заключается в набухании эмульсионного слоя для облегчения последующей диффузии проявляющего вещества в толщину слоя, данная стадия нами подробно не рассматривалась. За критерий продолжительности ее принималось ориентировочно время, обеспечивающее аналогичную с контрольным слоем величину набухания исследуемого слоя, определяемую весовым методом.

В специальных опытах продолжительность холодной стадии проявления (которая определяет степень равномерного проявления по глубине слоя) уменьшалась от 10 до 35 минут для 400 мк и от 20 до 35 минут для 600 мк. На рис.4 показано влияние продолжительности пропитывания проявителем при воздействии ЗК на плотность

сгустков в следах релятивистских частиц и на плотность зернового фона вуали в случае 600 мк слоев.

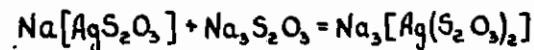
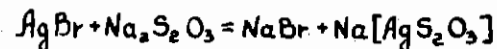
Как видно из приведенных кривых, время пропитки 25 мин уже приводит к некоторому проявлению следа заряженной частицы. Дальнейшее увеличение времени до 35 мин способствует увеличению чувствительности слоя до максимального значения, обеспечивающего наилучшее соотношение чувствительность - вуаль, после чего наступает почти острое насыщение: когда при постоянном значении плотности сгустков в следе несколько возрастает вуаль.

Процесс теплого проявления, как уже объяснялось ранее [4], не ускоряется в акустическом поле, поэтому он проводится обычным способом.

В течение 20-25 мин для 400 мк и 30-40 мин для 600 мк обеспечивается достаточно быстрое прекращение процесса проявления и успешное удаление продуктов окисления из слоя. Этим предотвращается возможность фланческого проявления, что в свою очередь исключает образование дихромической вуали в слое, в результате чего слой чище и прозрачнее контрольных слоев.

При рассмотрении кинетики процесса фиксирования нами получен максимальный эффект, достигающий примерно четырехкратного ускорения, что мы сможем объяснить прежде всего диффузионным характером кинетики данного процесса.

В ходе эксперимента была обнаружена следующая особенность обработки в звуковом поле. Обычно реакция растворения галогенного серебра идет в две стадии:

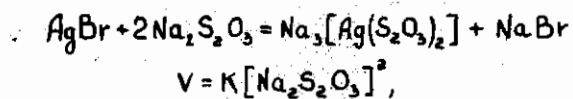


В тот момент, когда все бромистое серебро превратится в первое соединение, слой станет прозрачным, но процесс фиксирования нельзя считать законченным, так как  $\text{Na}[\text{AgS}_2\text{O}_3]$  - нерастворимое комплексное соединение, которое в случае недостаточного вымывания из слоя способно разложиться с образованием сернистого серебра, окрашивающего слой коричневыми пятнами. На основании этого в контрольных слоях после проветривания, как известно, процесс фиксирования продолжают еще значительное время до образования легко растворимого в воде вещества  $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ . В нашем же случае, видимо, в силу постоянного притока избытка гипосульфита натрия, чрезвычайно быстро, вслед за полным проветриванием слоя, происходит образование легко растворимой комплексной соли по вышеприведенной реакции. Это время составляет от одного до трех часов, соответственно для 400 и 600 мк слоев.

Особо надо отметить изменение кинетики процесса фиксирования в звуковом поле. Как видно из кривых на рис.5, проветривание рабочего слоя толщиной 600 мк наступает через 6 часов после начала процесса, в то время как в контрольных слоях аналогичная картина наступает только через 20 часов.

Указанная закономерность подтверждается различными величинами тангенса угла наклона соответствующих кривых, которые также характеризуют скорость процесса фиксирования в различных условиях.

Полученное максимальное ускорение очевидно из уравнения закона действующих масс для рассматриваемого процесса



т.е. скорость данной реакции, в основном, зависит от концентрации гипосульфита натрия в слое. Это наглядно можно проследить также на рис.6, где дана зависимость изменения длительности фиксирования  $\Delta t$  в акустическом поле от толщины фиксируемого слоя, где  $\Delta t = t_2 - t_1$ ,  $t_2$  - время фиксирования контрольного слоя,  $t_1$  - время фиксирования рабочего слоя.

Как видно из рис.  $\Delta t$  резко возрастает с увеличением толщины <sup>\*</sup> слоя, что лишний раз указывает на диффузионную кинетику данного процесса для ядерных эмульсий.

Аналогичное четырехкратное ускорение достигается и при окончательной промывке слоев, где роль ЗК сводится к интенсификации диффузии молекул воды вглубь слоя и обратной диффузии продуктов реакции из слоя в раствор.

Заметим, что интенсифицирующее действие ЗК на процесс обработки слоев рассматривалось в зависимости от амплитуд колебаний в интервале значений 0,05-3мм. Было установлено постепенное повышение скорости процесса до приближения к постоянной по мере возрастания амплитуды ЗК. Оптимальное значение величины амплитуды равно 2,5мм.

Рассмотрев степень интенсификации различных стадий обработки, можно заключить, что наибольшее ускорение наблюдается на стадиях, в которых существенна роль диффузионного обмена. В связи с этим, именно на стадии фиксирования (как на самой типичной с этой точки зрения) приведем некоторые наши соображения относительно предполагаемого механизма действия акустических колебаний.

<sup>\*</sup> Для построения этой кривой использованы также времена фиксирования слоев толщиной 200 и 1200мк.

Процесс фиксирования можно разбить на три последовательные стадии:

1. диффузия в жидкой фазе через пограничный слой
2. диффузия в самом слое
3. химическая реакция между тиосульфатом натрия и бромистым серебром, причем скорость каждой из них обладает своим диффузионным или кинетическим "сопротивлением". Последнее представляет собой величину, обратную скорости, о которой протекает процесс во времени.

Пользуясь данными работы [5], проведенной для тонких светочувствительных слоев, можно приведенную ниже формулу

$$\frac{1}{K_n} = \frac{\delta}{D_1} + \frac{d}{D_2} + \frac{a}{K_p}$$

где  $K_n$  - константа скорости фиксирования,  $\delta$  - толщина диффузионного слоя,  $d$  - толщина эмульсионного слоя,  $K_p$  - константа скорости химической реакции,  $D_1$  и  $D_2$  - коэффициент диффузии реагирующих веществ, соответственно, в жидкости и в эмульсии,

$a$  - коэффициент пропорциональности, учитывающий степень влияния продуктов реакции взаимодействия на скорость растворения, применять для случая толстослойных эмульсий с целью оценки суммарного диффузионного сопротивления стадии фиксирования.

Для определения роли указанных факторов в суммарном эффекте ускорения процесса, необходимо оценить скорость каждой из последовательных стадий с целью выяснения фактора, определяющего в большей степени ускорение в результате воздействия ЗК.

Если для кинофотоэмонок весьма тонких эмульсионных слоев ( $d \sim 20 \text{ мк}$ ) разрушение пограничного слоя является существенным фактором [6], то для толстослойных эмульсий  $d = 400-1200 \text{ мк}$  этот

фактор весьма незначителен, в связи с резким изменением соотношения толщины эмульсионного слоя к пограничному слою. Поэтому первый член приведенного уравнения ( $\frac{\delta}{D_1}$ ) в нашем случае не является решающим.

Аналогичный вывод можно сделать в отношении величины  $K_p$ , входящей в третий член ( $\frac{a}{K_p}$ ) равенства, так как величина его постоянна и характеризует, главным образом, природу реагирующих веществ.

Что касается множителя  $a$ , то он уменьшается, в связи с ускорением диффузии продуктов фиксирования из слоя, что оказывает некоторое влияние на увеличение скорости процесса.

Однако, наиболее существенный вклад в ускорение, по-видимому, вносит второй член равенства ( $\frac{d}{D_2}$ ), так как воздействие ЗК увеличивает скорость набухания слоя, что благоприятствует расширению межцилиндрических каналов желатина и тем самым способствует интенсификации диффузии тиосульфата через желатиновый гель к эмульсионным кристаллам.

Следовательно, увеличение коэффициента диффузии в самом деле может привести к значительному уменьшению сопротивления или к увеличению скорости рассматриваемого процесса.

Таким образом, можно полагать, что приложенная извне энергия к обрабатываемой системе в виде акустических колебаний, видимо, способствует уменьшению энергии активации, в связи с повышением кинетической энергии диффундирующих молекул, что экспериментально подтверждается наблюдаемым ростом относительного звукового эффекта  $\frac{\Delta t}{t}$  с увеличением величины амплитуды колебаний.

Таблица 1.

Характеристика фотографических параметров эмульсионных слоев типа БР, проявленных обычным и акустическим методом.

Способ обработки	Толщ. слоя	Поверхность		Середина		Стекло	
		N	n	N	n	N	n
Обычный	400 мк	26,1±0,3	1,40	24,8±0,3	1,32	25,9±0,3	1,42
Акустический		29,2±0,3	1,31	28,4±0,3	1,26	28,9±0,3	1,34
Обычный	600 мк	24,3±0,2	1,56	23,0±0,2	1,41	24,1±0,2	1,52
Акустический		27,0±0,3	1,45	26,1±0,3	1,36	26,7±0,3	1,50

Таблица 2.

Характеристика механических слоев, обработанных различными методами.

Метод обработки	$P_p$ кг/мм <sup>2</sup>	$\epsilon$	$B$ кг/мм <sup>2</sup>
Обычный	2,8	0,68	4,1
Акустический	3,5	0,59	5,9

### 3. Влияние ускоренной обработки на фотографические и физико-механические параметры эмульсионного слоя.

При оптимальном режиме обработки эмульсионных слоев, звуковые колебания с частотой 100Гц при амплитуде  $0,25\text{см}^{-2}$  обеспечивают, как видно из таблицы 1, наилучшее соотношение чувствительность-визуаль, при одновременном повышении степени однородности проявления слоя по глубине.

Возможно, что увеличение чувствительности слоев на 12-15% является одним из следствий повышения однородности проявления, что позволяет несколько повысить конечную степень проявления фотослоев.

За счет четырехкратного сокращения времени нахождения эмульсионных слоев в различных растворах (выпр. 22 часа против 88 час для 600мк слоев) при звуковой обработке предотвращается чрезмерное набухание слоев выше предела упругости, поэтому остаточная деформация в рабочих слоях значительно снижается, по сравнению с контрольными.

Экспериментальные данные, полученные с помощью динамометра типа Шоппер с постоянной скоростью растяжения, равной 10мм/мин, указывают на возрастание механической прочности рабочего слоя более чем на 30% (см. табл. 2).

Предел прочности рабочего слоя  $P_p$  определяется по формуле

$$P_p = \frac{P}{F_0} \text{ кг/мм}^2,$$

где  $P$  - предельная нагрузка в кг,

$F_0$  - площадь сечения эмульсионного слоя в мм<sup>2</sup>.

Полученное улучшение механических свойств рабочих слоев немаловажно с точки зрения уменьшения возникновения дисторсии и ложного рассеяния.

Для оценки указанных показателей исследовалось многократное рассеяние по описанной ранее методике [7].

Измерения, проводимые на слоях, облученных в ОИЯИ пучком протонов с  $E = 10 \text{ ГэВ}$ , показали снижение более чем на 15% величины ложного рассеяния по сравнению с контрольным слоем, что несколько повышает надежность физических измерений.

Интересно отметить, что при работе в высокочастотном диапазоне искажения были немного больше, чем в случае обработки со ЗК. Причина эта, вероятно, вызвана термическим эффектом ЗК, вызывающим местный нагрев слоя при больших частотах. Если учесть известное, в настоящее время, мнение многих авторов о влиянии температурного фактора на ложное рассеяние, то полученный результат станет закономерным.

Таким образом, исследовав ряд важнейших характеристик эмульсионных слоев, обработанных в звуковом поле, можно говорить об эффективности и целесообразности низких частот, которые при максимальном ускорении процесса обработки обеспечивают наилучшие фотографические и физико-механические свойства ядерных эмульсий.

Учитывая, в дополнение к указанному, экономичность, простоту и удобство в эксплуатации установки, рассчитанной на 100Гц, позволяющей к тому же одновременную обработку нескольких слоев в идентичных условиях акустического поля, следует предпочесть из рассмотренного нами широкого диапазона частот (0,1-2500Гц) звуковые колебания, которые могут быть успешно применены для обработки фольжных эмульсионных камер.

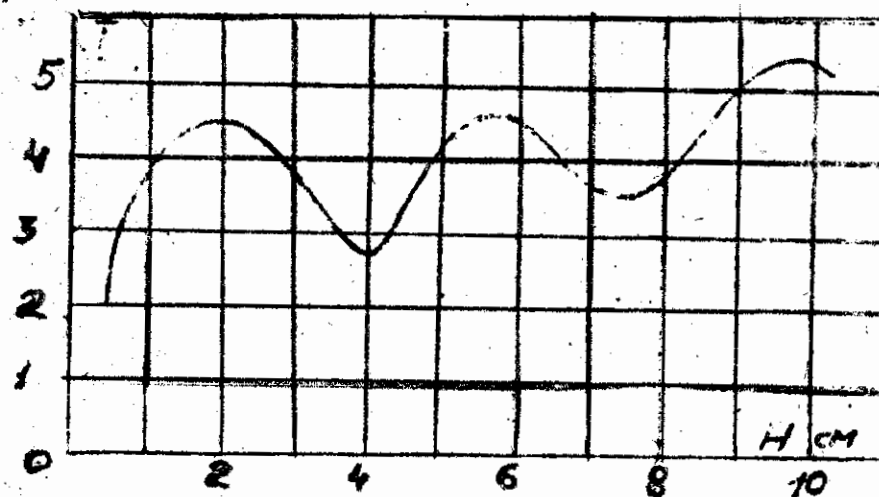
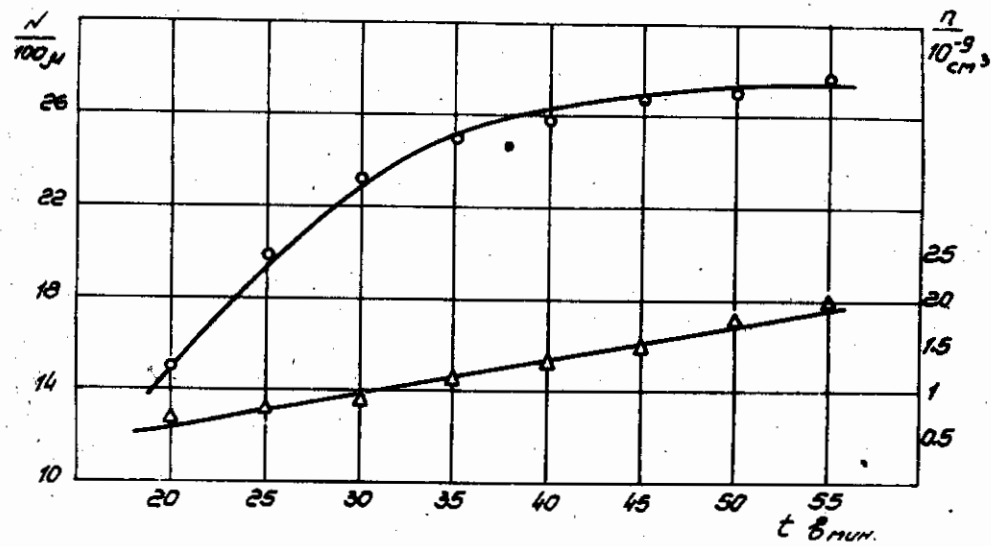
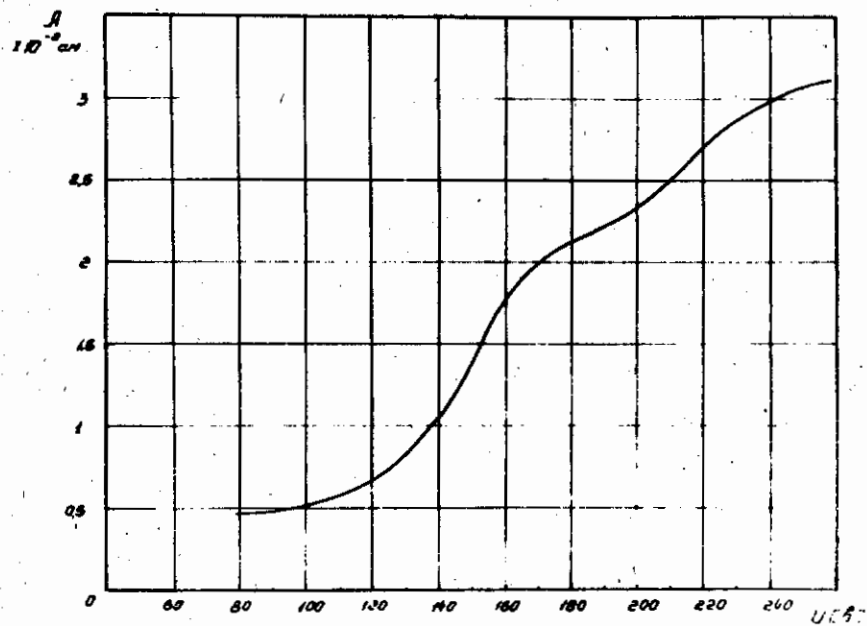
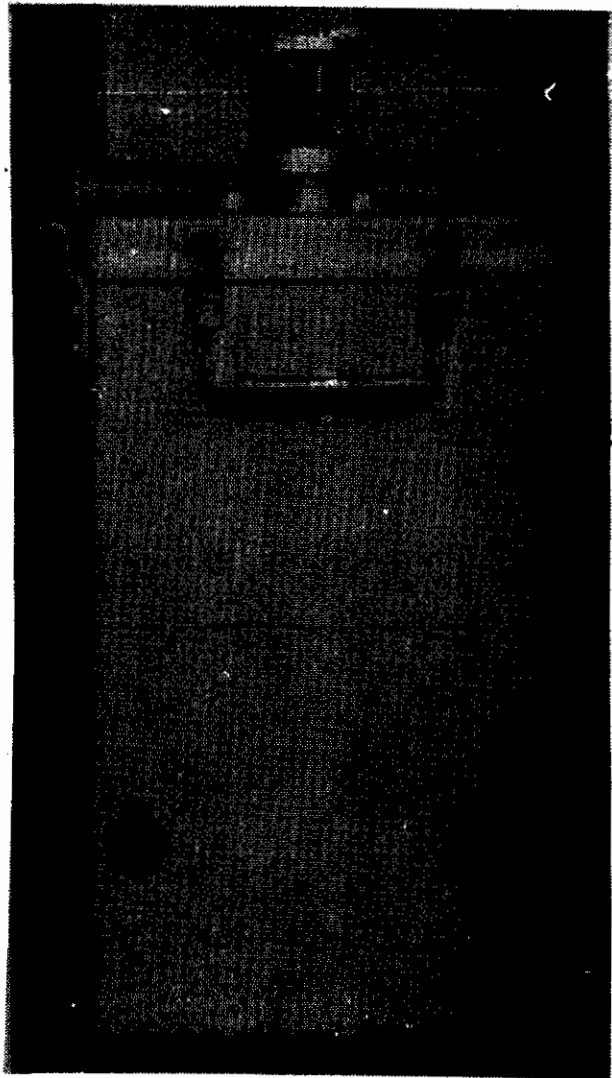
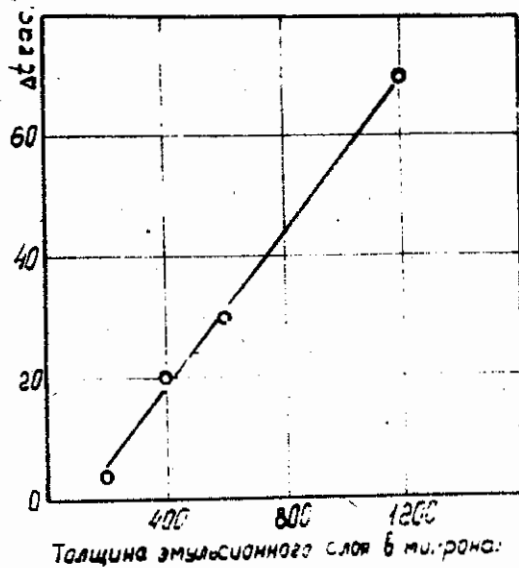
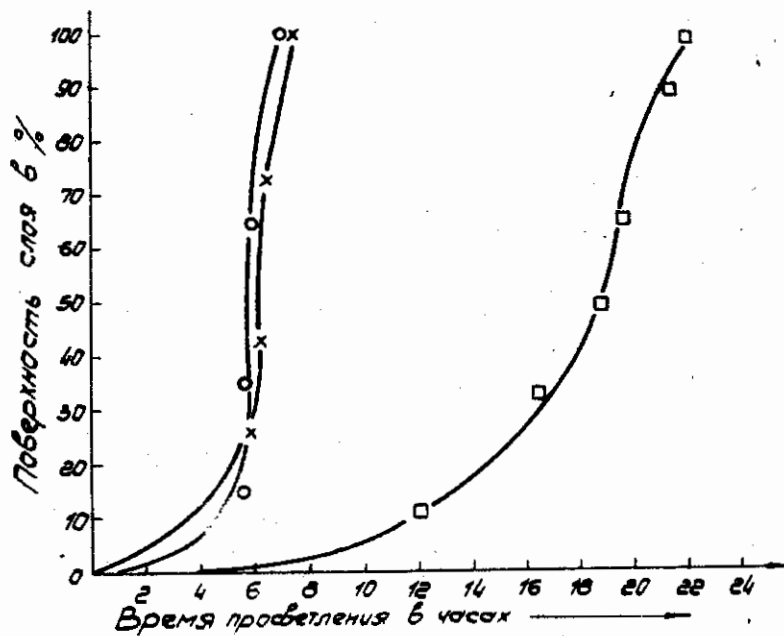


рис 1





ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 - Характер акустического поля по вертикали над излучающей поверхностью преобразователя с частотой 21кГц.
- Рис.2 - Общий вид звуковой установки для обработки ядерных эмульсий.
- Рис.3 - Зависимость амплитуды колебаний от переменного напряжения.
- Рис.4 - Влияние продолжительности холодной стадии проявления на плотность сгустков и зернового фона вуали, в 600мк слоях.
- Рис.5 - Зависимость скорости просветления эмульсионных слоев толщиной 600мк от времени его фиксирования
- - при обычной обработке
  - x - при звуковой обработке
  - o - при УЗК обработке 21кГц
- Рис.6 - Зависимость изменения длительности процесса фиксирования от толщины обрабатываемых слоев.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.Б.Акопова, Диссертация, Научно-исследовательский институт кино-фото, М., 1967.
2. М.Е.Архангельский, Акуст.Ж., 5, 3, 363, 1959.
3. Maxilesco N, Proprietes des ultrasons. v. 2. Paris (1937)
4. А.Б.Акопова, Х.Б.Пачаджан, Л.В.Мелкумян, ПТЭ, 2, 64, 1964.
5. М.Е.Архангельский, Акуст.Ж., 12, 3, 273, 1966.
6. И.Б.Блумберг, Технология обработки кинофотоматериалов, Изд. "Искусство", М., 1958.
7. А.Б.Акопова, ПТЭ, 2, 66, 1964.

Рукопись поступила 20-го мая 1970г.

Вахв II99

T-00042

Тираж 350

Множительно-копирующая станция Ереванского физического  
института, Ереван 36, Меркряна 2