



# ПРОТОЧНЫЙ КАВИТАТОР С ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД

Авторы:

Луговской А.Ф., д.т.н., проф.;

Мовчанюк А.В., к.т.н., доц.;

Гришко И.А., к.т.н., доц.;

Фесич В.П.;

Омелич М.Ф.;

Зилинський А.И.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ



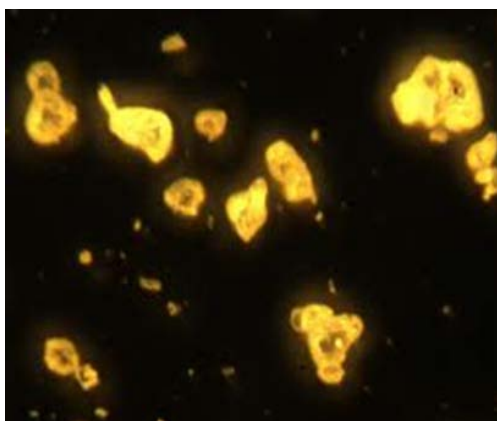
очистка изделий в  
ультразвуковом поле



распыление жидкостей и  
расплавов металлов



экстрагирование пектина  
из растительных  
компонентов



фильтрация в  
ультразвуковом поле



дегазация жидких сред



ультразвуковая очистка  
эластичных поверхностей



облучение нефти и  
нефтепродуктов с целью  
увеличения выхода  
светлых фракций



получение  
высококачественных  
нерасслаиваемых  
эмульсий



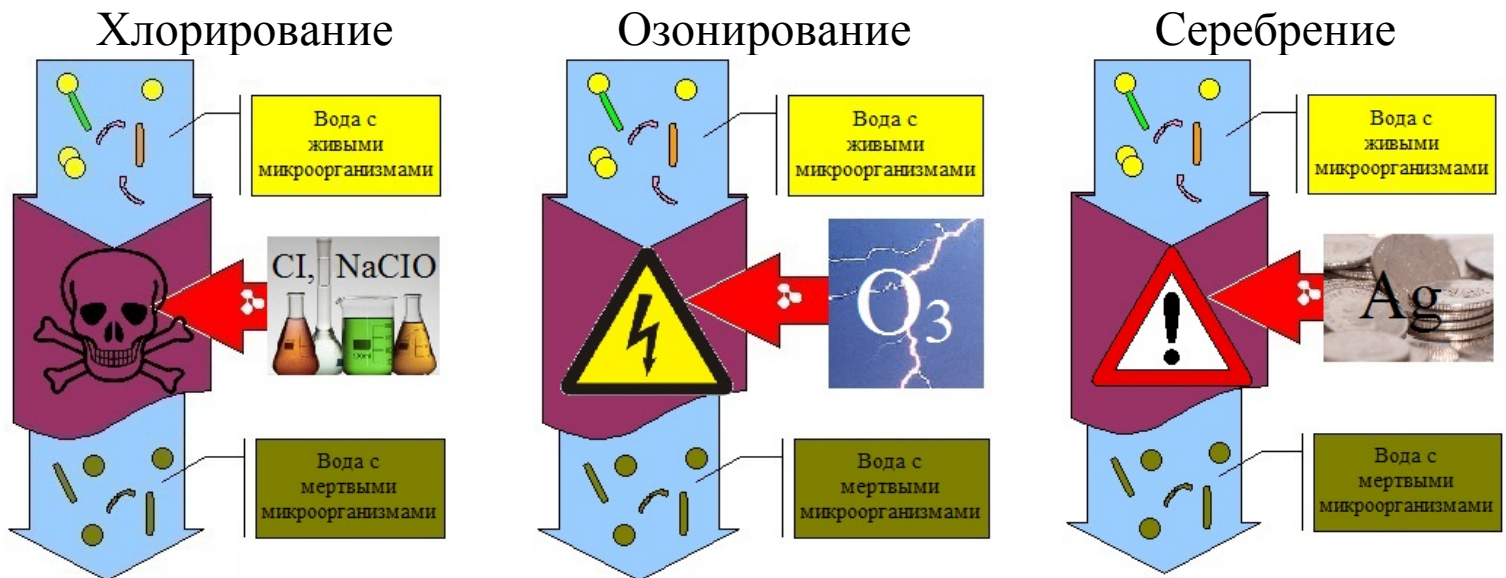
обработка бетонных  
смесей с целью  
повышения прочности  
снижения  
гигроскопичности и  
радиационной  
проницаемости

Наиболее важным, с точки зрения жизнедеятельности человека, несомненно, является процесс обеззараживания сточных вод, питьевой воды и жидких технологических сред, с которыми непосредственно контактирует человек.

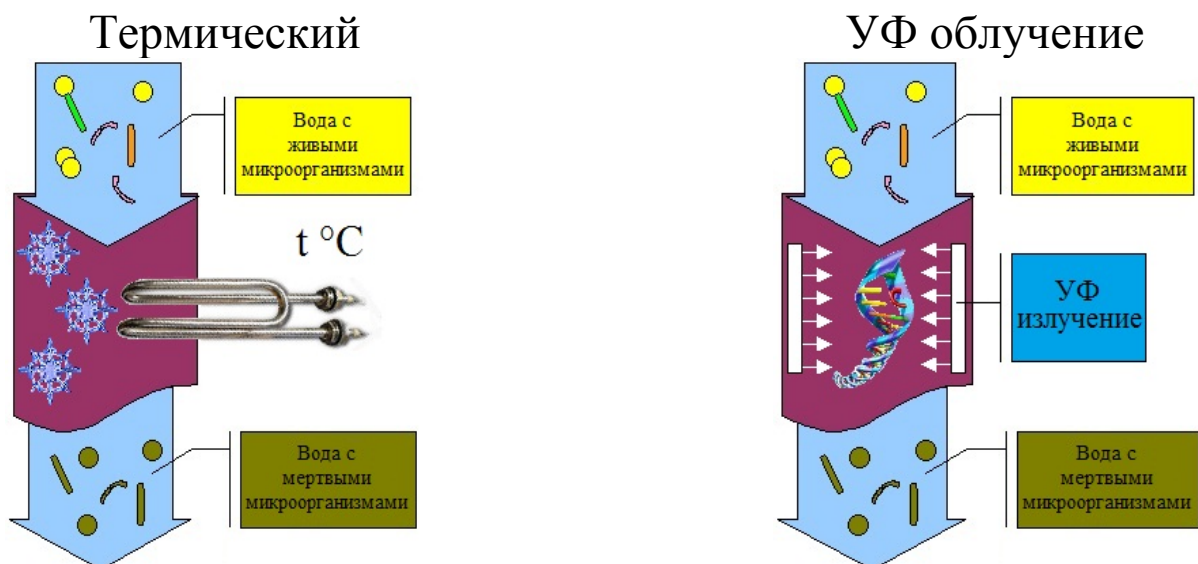


Проблема обеззараживания жидких сред не нова. Традиционно проблему решают путем применения реагентных способов, которые базируются на применении сильных окислителей, таких как хлор, озон или насыщающая жидкость ионами благородных и цветных металлов, обладающих бактерицидными свойствами.

# СПОСОБЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЖИДКИХ СРЕД

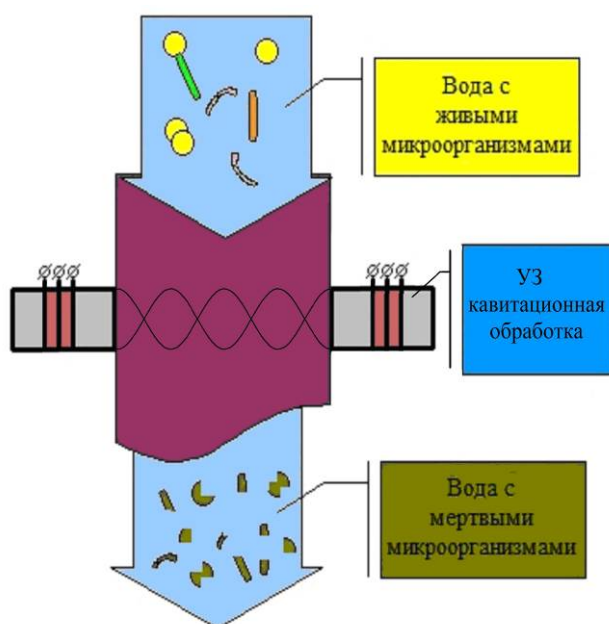


- высокая степень опасности процесса обеззараживания;
- необходимость контроля дозировки реагента;
- зависимость эффективности инактивации от химико-физического состава жидкости;
- наличие побочных продуктов химических реакций возникающих в процессе обеззараживания;
- остаточные вещества накапливаются в организме человека.



- большие энергозатраты термического способа обеззараживания при сравнительно малой производительности процесса;
- применение низких температур можно использовать только как способ продления срока хранения исходно чистой воды;
- высокая зависимость эффективности применения УФ-облучения от прозрачности жидкости и количества механических загрязнений;
- бактерицидное действие УФ-лучей эффективно на малом расстоянии.

Ультразвуковой способ обеззараживания, в отличие от других, не обладает перечисленными недостатками и потенциально может быть применен на практике для обеззараживания больших объемов жидкостей



Опыт известных научных школ Эльпинера, Аграната, Ульянова, Розенберга, Меттинга,... которые занимаются разработкой ультразвукового оборудования, показывает, что существующие ультразвуковые кавитационные аппараты, к сожалению, малоэффективны для процесса УЗ обеззараживания, т.к. для процесса инактивации микроорганизмов необходимы значения интенсивности УЗ выше  $20 \text{ Вт/см}^2$ .

# УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



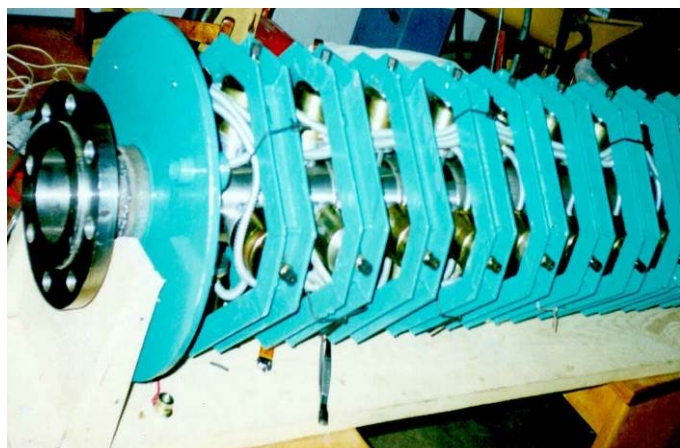
а)

$J \leq 8 \dots 10 \text{ Вт/см}^2$   
вблизи донной  
поверхности  
(торца излучателя)



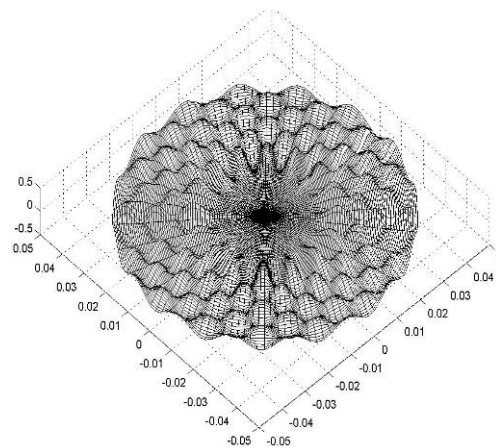
б)

Кавитационная ванна (а) с  $\frac{1}{2}$ - волновыми резонансными приводами-излучателями на донной поверхности и  $\frac{1}{2}$ - волновой излучатель (б)



а)

$J \leq 10$   
 $\text{Вт/см}^2$   
по всему  
объему  
камеры



б)

Многосекционная проточная толстостенная кавитационная камера (а) и форма ультразвукового поля в цилиндрической камере (б) с использованием радиально-изгибных колебаний



а)

$J \leq 18 \dots 20$   
 $\text{Вт/см}^2$   
вблизи  
торца  
излучателя

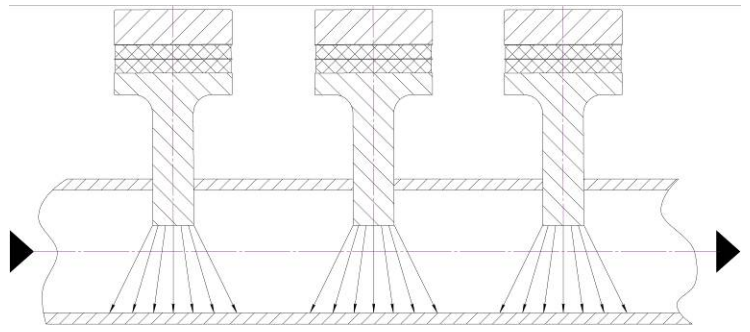


б)

Ультразвуковые кавитаторы со ступенчатым трансформатором колебательной скорости  
(а – 1-волновая акустическая схема; б –  $\frac{1}{2}$ -волновая акустическая схема)

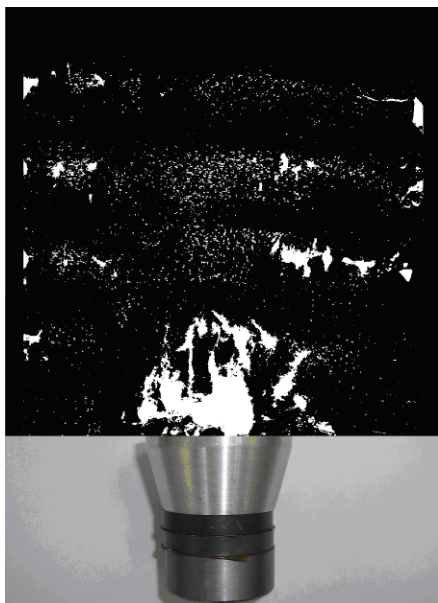


а)



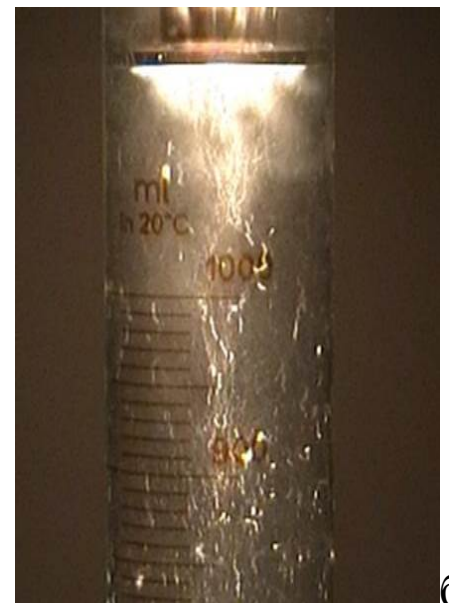
б)

Ультразвуковая кавитационная установка (а) и ее схема (б) на базе высокоамплитудных трансформаторов колебательной скорости



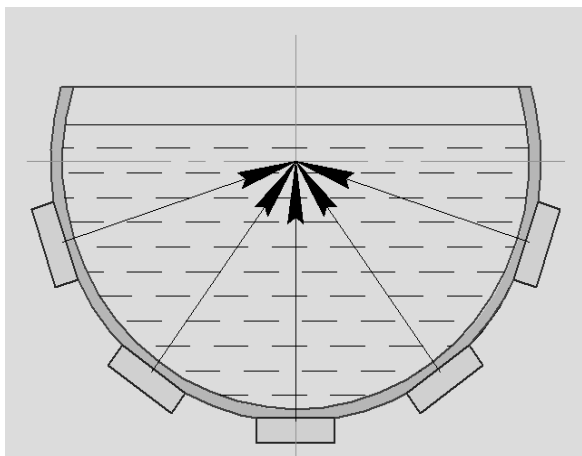
а)

Образование кавитационных зон вблизи излучающей поверхности малоамплитудного (а) и высокоамплитудного (б) резонансных пьезоэлектрических приводов



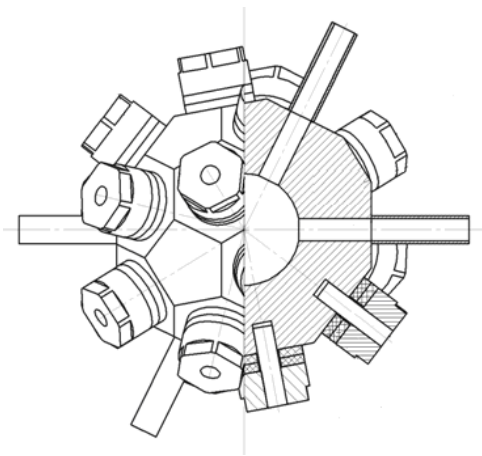
б)

Существенного локального повышения интенсивности звука удается достичь за счет фокусировки ультразвуковых колебаний вдоль оси трубы или в фокусе собирающей акустической линзы.



а)

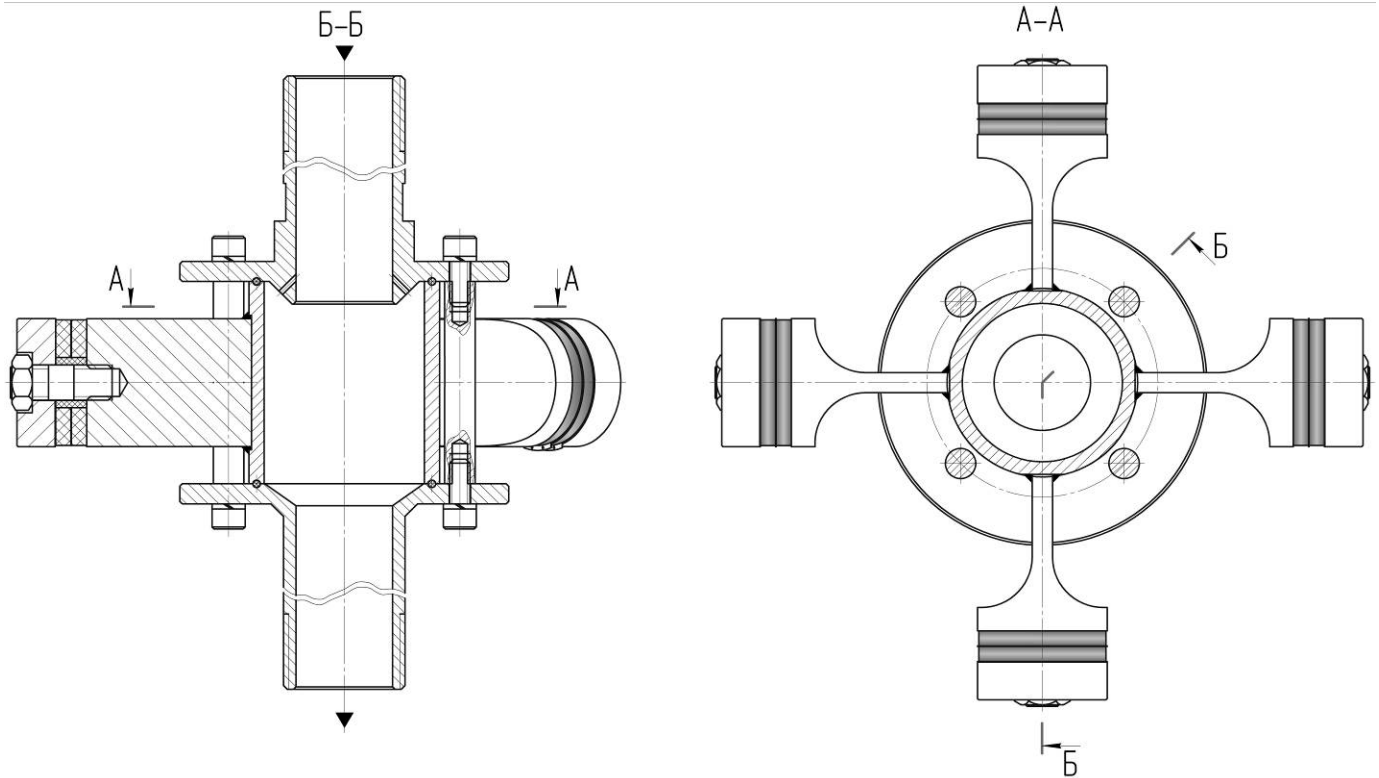
$J \geq 200 \text{ Вт/см}^2$   
в фокальной  
точке



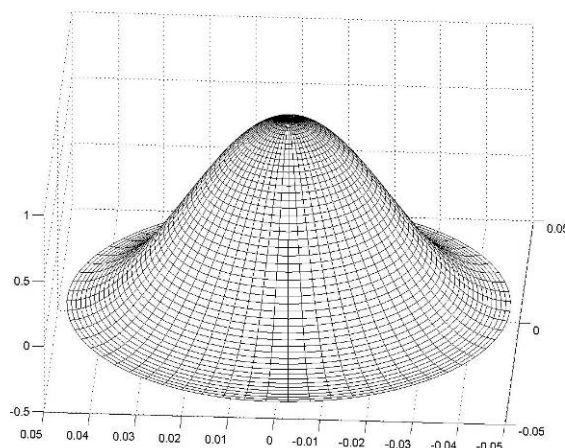
б)

Полусферический (а) и сферический (б) ультразвуковые кавитационные аппараты

# ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАТОРА

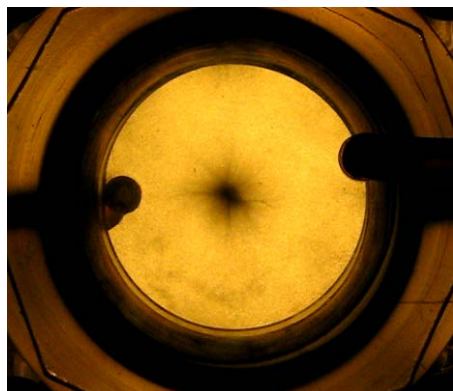


- большая поверхность излучения;
- концентрация ультразвуковой энергии вдоль оси камеры;
- долговечность излучающей поверхности;
- возможная интенсивность ультразвуковых колебаний до  $100 \text{ Вт/см}^2$ ;
- возможность применения повышенного статического давления;
- обработка жидкости в потоке.

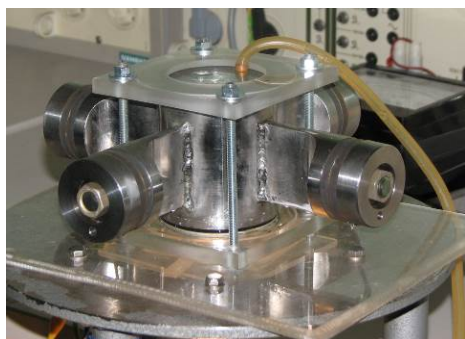


Форма ультразвукового поля в цилиндрической камере при возбуждении радиальных колебаний

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАТОРА



Визуально наблюдаемый эффект концентрации ультразвуковой энергии в цилиндрической кавитационной камере, совершающей радиальные колебания различной интенсивности



Внешний вид экспериментальной установки

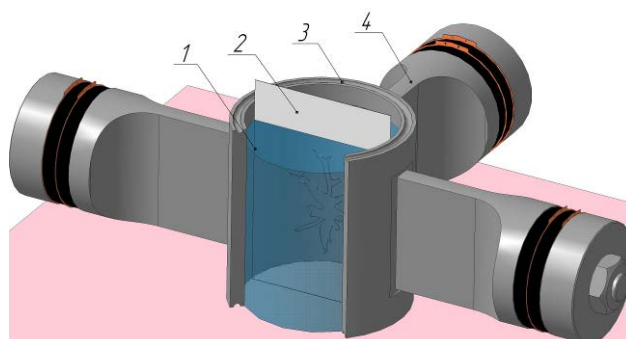
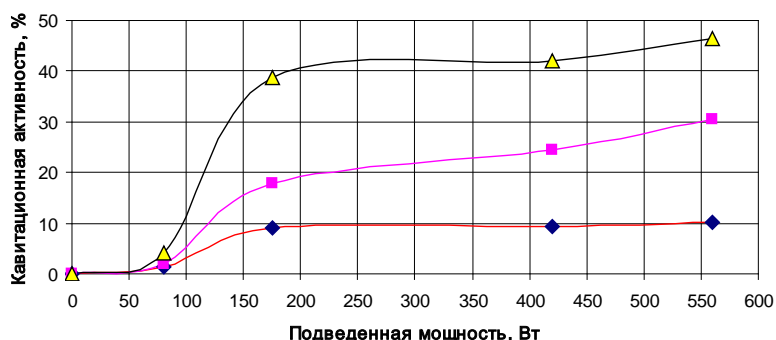


Схема размещения контрольных образцов фольги в камере



Результаты разрушения тестовых образцов фольги в трубчатом вибраторе при различных уровнях звукового давления



Зависимость кавитационной активности от величины подводимой мощности

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ ВДОЛЬ ОСИ ТРУБОПРОВОДА ТРУБЧАТОГО КАВИТАТОРА



Общий вид  
установки



Расположение  
индикаторной фольги



Область  
кавитационного  
разрушения

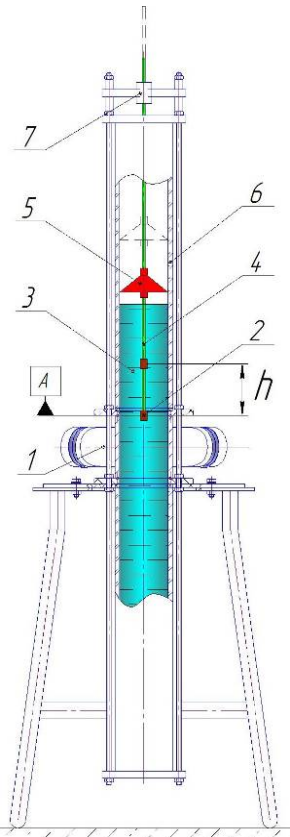
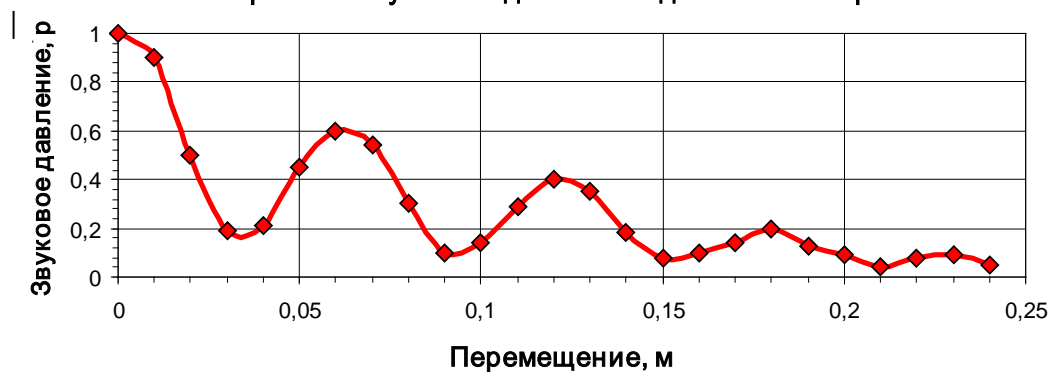


Схема и внешний  
вид  
экспериментальной  
установки  
для определения  
уровня звукового  
давления вдоль оси  
камеры



Уровень звукового давления вдоль оси камеры



# КОНСТРУКЦИИ РАЗРАБОТАННЫХ КАВИТАТОРОВ

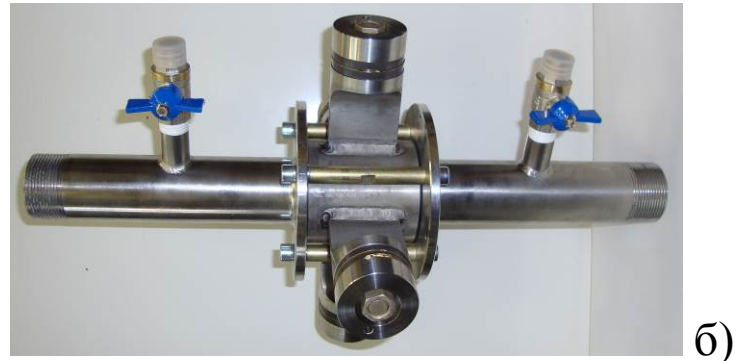
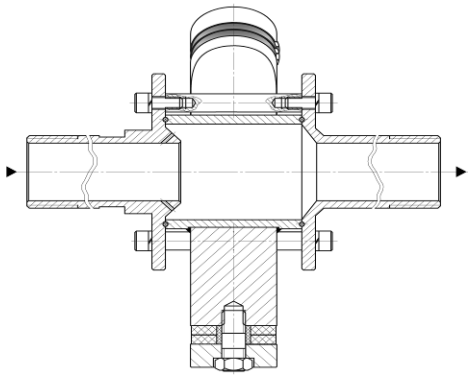


Схема а) и готовое изделие б) односекционной проточной установки повышенной интенсивности ультразвука, мощностью 400 Вт

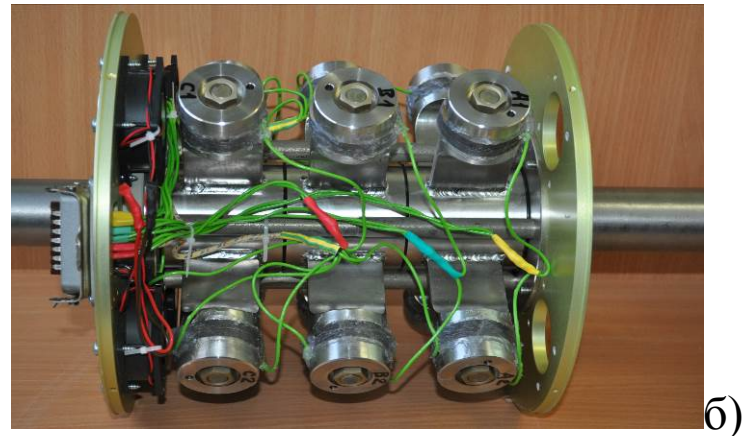
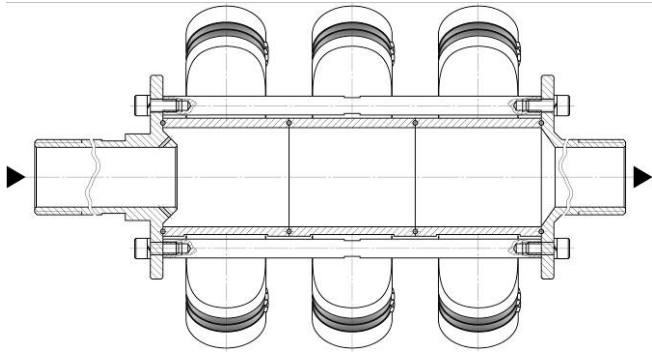


Схема а) и готовое изделие б) трехсекционной проточной установки повышенной интенсивности ультразвука, мощностью 1200 Вт

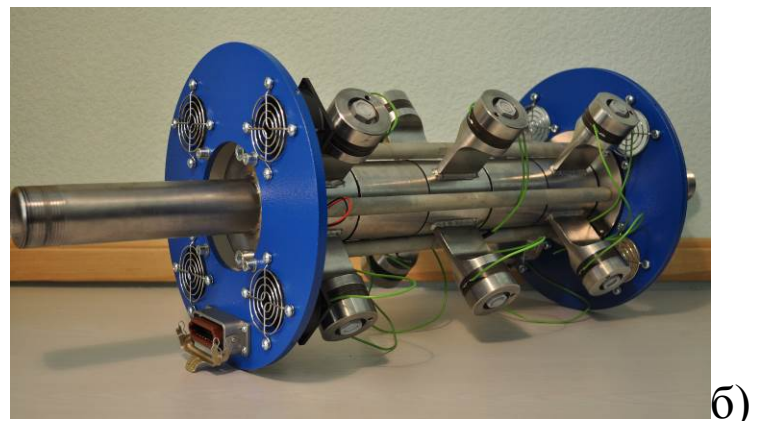
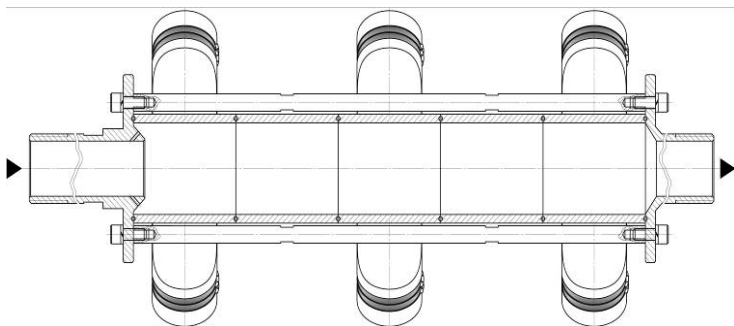


Схема а) и готовое изделие б) трехсекционной проточной установки повышенной интенсивности ультразвука с проставками, мощностью 1200 Вт

# ЛАБОРАТОРНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ

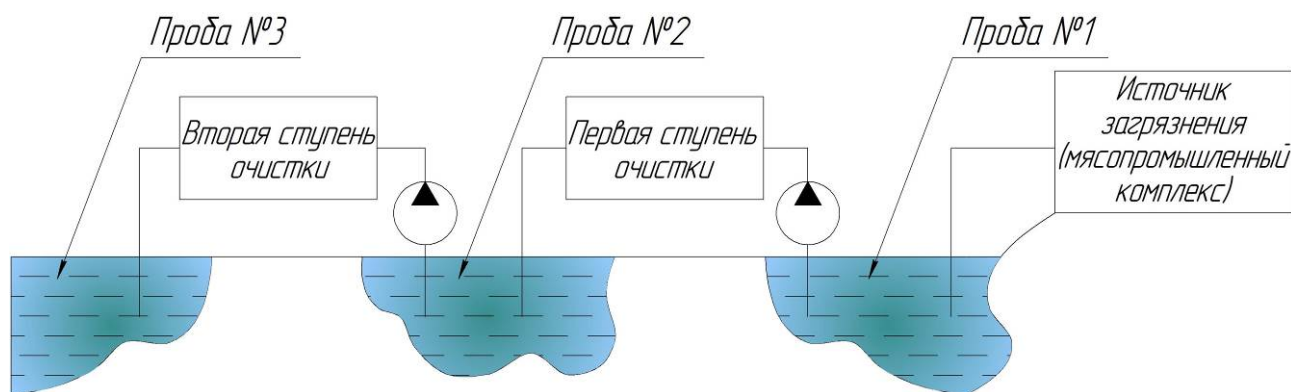


Схема забора проб

(Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины)

## Результаты обеззараживания жидкости

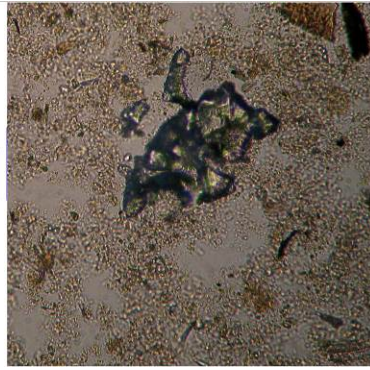
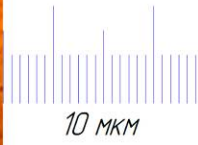
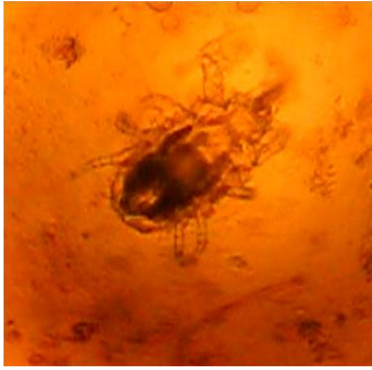
№ забора пробы	Обработка	Результаты	Размер
1	Без обработки	Яйца аскариды – 5 шт. в 5-ти полях зрения	40...50 мкм
2	Без обработки	Амеба – 2-3 в поле зрения	20...30 мкм
3	Без обработки	Яйца аскариды – 1 шт. в 5-ти полях зрения	40...50 мкм
1	УЗ обработка (УЗО) - 6 с	Амеба – 1 в поле зрения	20...30 мкм
1	УЗО – 12 с	Яйца аскариды – 5 шт. в 5-ти полях зрения	40...50 мкм
1	УЗО – 30 с	Не обнаружено	-
2	УЗО – 30 с	Не обнаружено	-
3	УЗО – 30 с	Не обнаружено	-

(Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины)

## Результаты процесса дезинтеграции клеток микроорганизмов в зоне ультразвуковой кавитации

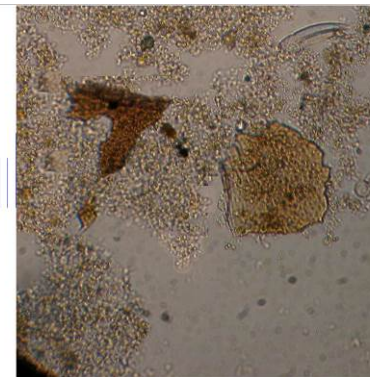
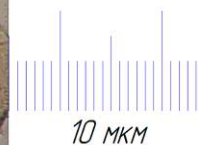
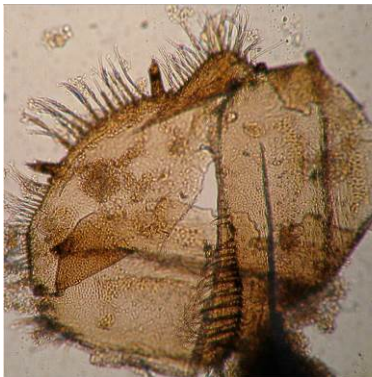
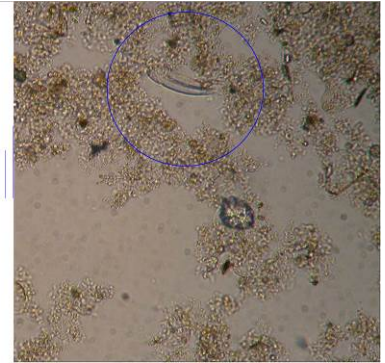
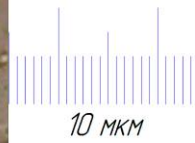
Показатели	Вид микроорганизмов								
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 27			<i>Bacillus subtilis</i> 36			<i>Desulfovibririo sp.</i> 10		
Температура, °С	28			28			28		
Время обработки, мин.	4,5			6			6		
Интенсивность ультразвукового поля, Вт/см <sup>2</sup>	5	7	10	5	7	10	5	7	10
Степень дезинтеграции, %	100	50	75	100	50	50	100	50	75

# МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ



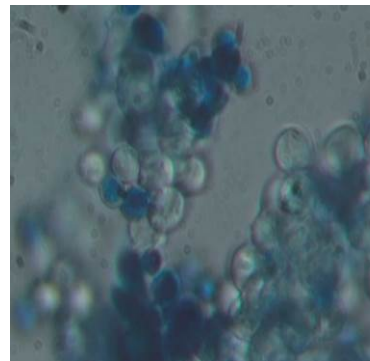
Представитель  
ракообразных  
(микрофотография)

Представитель  
коловраток  
(микрофотография)

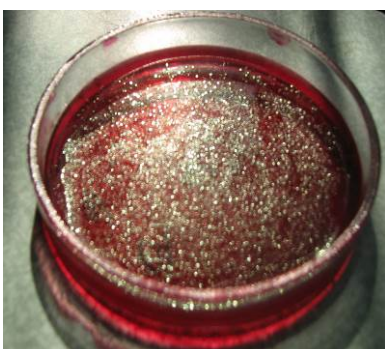
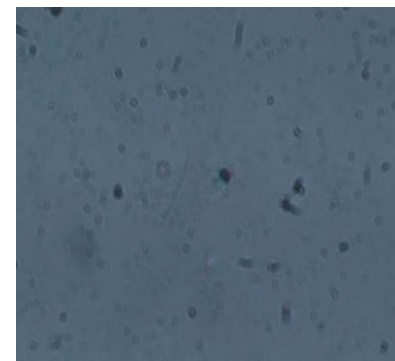


Представитель  
чревоучастых  
(микрофотография)

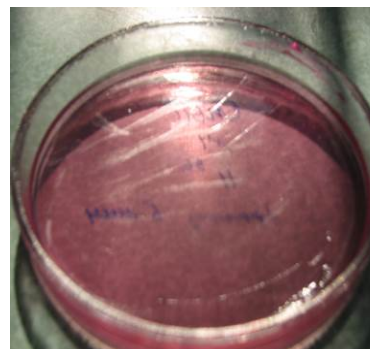
Представители рода  
дрожжей  
(микрофотография)



5 – 10  
мкм



0,4 – 3  
мкм



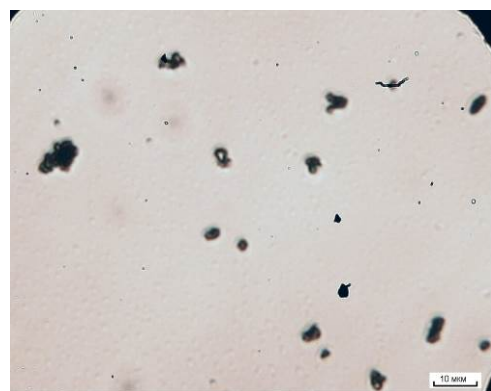
Чашки Петри с  
высеянными  
бактериями *E. coli*  
после 24 часовой  
инкубации

# ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОЖ

Индикатором биоповреждения СОЖ может служить появление резкого гнилостного и сероводородного запахов, изменение цвета жидкости от опалово-синего до черного цвета, повышение кислотности и т.д.

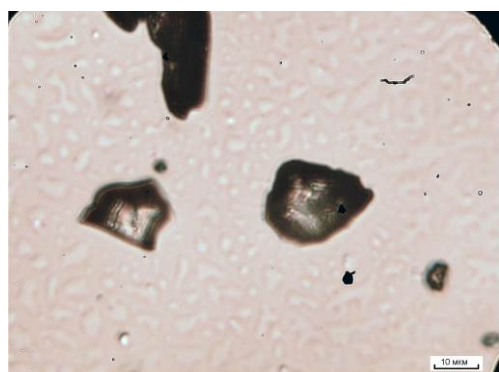


СОЖ в процессе эксплуатации накапливает большое количество мелких частиц

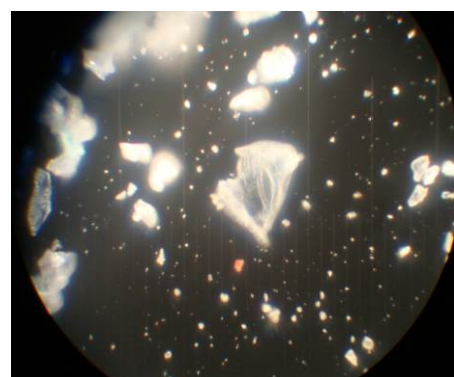


Пример механических примесей

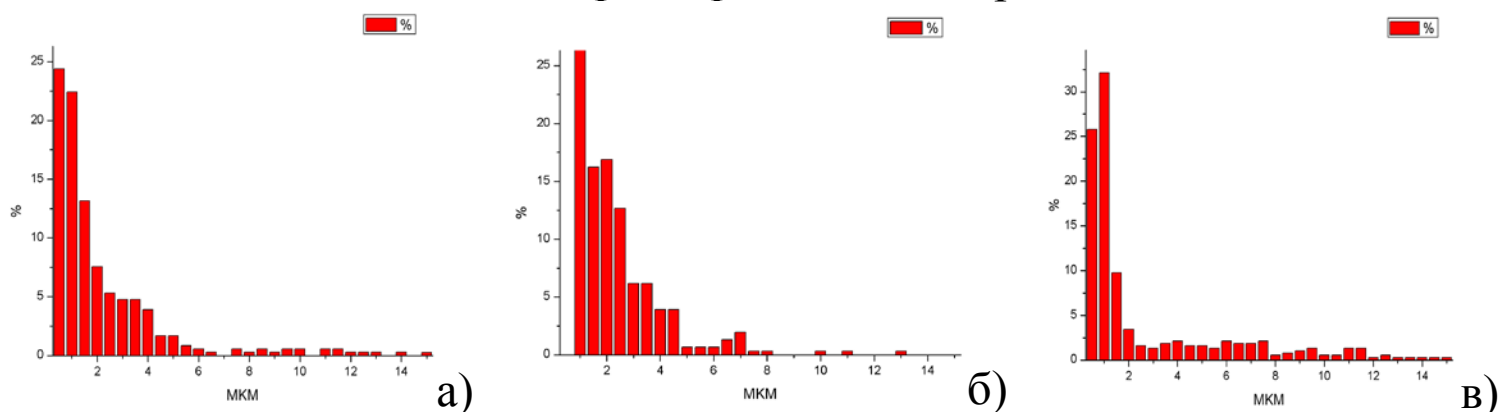
(а- микрофотография песка; б- микрофотография угольной пыли.)



Микрофотография карбида бора



Метод стереологической металлографии для количественной оценки линейных размеров частиц порошка

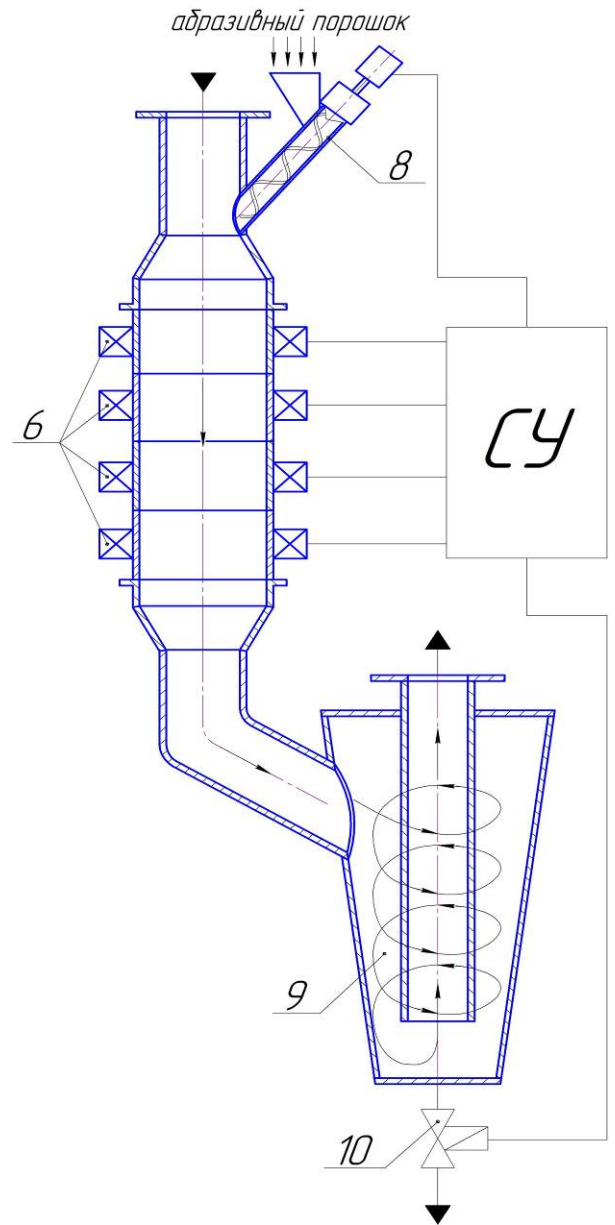


Распределение частиц по средним диаметрам Фере

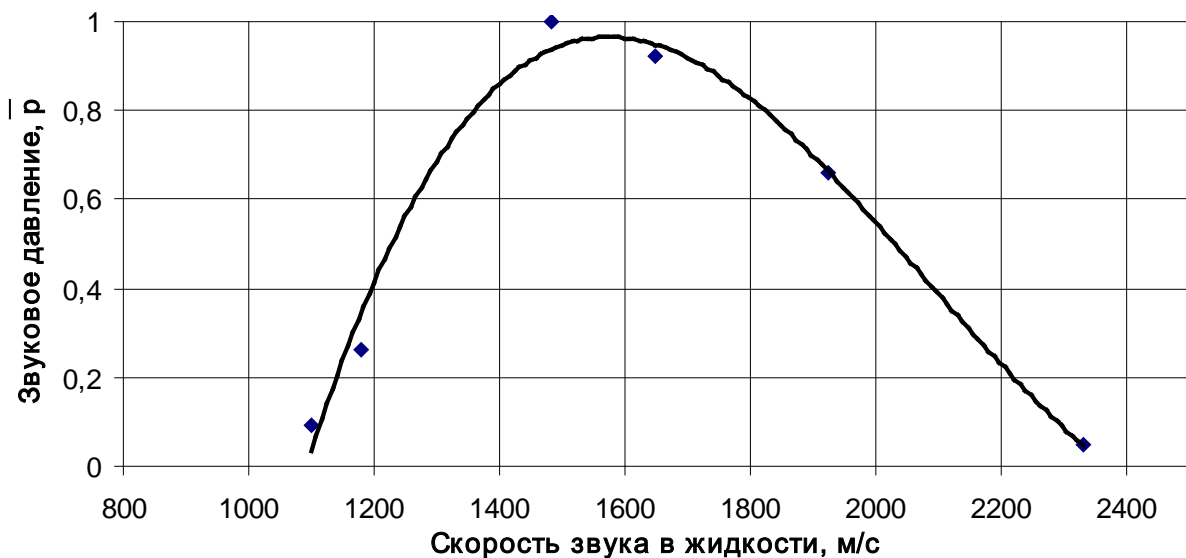
(а - карбид бора; б - песок; в - угольная пыль)

Помимо борьбы с бактериальным загрязнением проточная ультразвуковая установка улучшает реологические и смазывающие свойства СОЖ за счет постоянного интенсивного перемешивания составляющих компонентов на молекулярном уровне.

# Схема проточного трубчатого ультразвукового кавитатора повышенной производительности для обеззараживания промышленных и бытовых стоков



## Прогнозирование работы ультразвукового трубчатого кавитатора с различными типами жидкостей



В работе решена важная научно-техническая проблема создания проточных ультразвуковых резонансных кавитаторов с высокой интенсивностью ультразвуковых колебаний для обработки жидких сред в различных технологических процессах с учетом реологических свойств обрабатываемой жидкости, что дает возможность не внося в технологическую магистраль дополнительного гидравлического сопротивления повысить эффективность этих процессов за счет образования в центральной части кавитатора области с высокой интенсивностью ультразвуковых колебаний, обеспечив при этом долговечность кавитационного оборудования за счет создания минимальной интенсивности на излучающей поверхности.

Разработаны научные основы расчета и методика проектирования проточного кавитатора с высокой интенсивностью ультразвука для жидких сред.

Предложены новые подходы в решении актуальной задачи безреагентного обеззараживания жидкости путем добавления в кавитирующую среду абразивного материала, что позволило в 5...6 раз повысить эффективность технологического процесса обеззараживания. Новизна подтверждена патентами Украины на способ и полезную модель.

Практическое применение разработанного и исследованного кавитационного оборудования обеспечило повышение эффективности технологических процессов обеззараживания воды в открытых водоемах, дезинтеграции микроорганизмов, повышение долговечности и безопасности смазывающе-охлаждающих жидкостей, что подтверждено соответствующими актами внедрения, предоставленными Институтом биоорганической химии и нефтехимии НАНУ, Институтом микробиологии и вирусологии НАНУ и ОАО «Редуктор - ПМ».

Результаты работы имеют значение для легкой и тяжелой промышленности, пищевой промышленности, сельского хозяйства, медицины, фармакологии.

О мировом уровне научной работы свидетельствует то, что она была представлена в штаб-квартире ООН и в штаб-квартире международной организации «Юг-Юг» (International Organization for South - South Cooperation (IOSSC)) в Нью-Йорке (США).

Результаты исследований по теме работы изложены в 14 статьях, 12 тезисах докладов. Получено 2 патента Украины на изобретение и 5 на полезную модель. Работы авторов процитированы в 16 научных журналах, *h* - индекс = 3. Общее количество публикаций авторов 38.