

Марчук Л. В.

Прокопенко Г. В.

*Конопольская
линейная СЭС*

Луговской А. Ф.

Гришко И. А.

**Национальный
технический
университет Украины
«Киевский
политехнический
институт»****УДК 534-8, 621.647.23****ПОВЫШЕНИЕ ЭФЕКТИВНОСТИ
ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
КАВИТАЦИИ ПРИ ИНАКТИВАЦИИ
МИКРООРГАНИЗМОВ**

Представлені результати експериментального дослідження впливу ультразвукової кавітації на життєздатність мікроорганізмів. Дослідження ефекту знезараження рідких середовищ проводилися із застосуванням мікроорганізмів типу E. coli. Перевірено значимість температурної складової ультразвукової кавітації в процесах дезактивації мікроорганізмів. Виявлено ефект інтенсифікації процесу інактивації мікроорганізмів під впливом додавання механічних домішок.

The results of experimental investigation of the influence of ultrasonic cavitation on the viability of microorganisms. Investigation of the effect of decontamination of liquid media were carried out using microorganisms such as E. coli. Checked significance of the temperature component of ultrasonic cavitation in the process of deactivation of microorganisms. The effect of intensifying the process of inactivation of microorganisms under the influence of adding impurities.

Введение

Наиболее значимые антропогенные процессы загрязнения воды связаны со стоками с промышленных и сельскохозяйственных территорий. Биологическое загрязнение водоемов связано со сбросом ряда органических веществ, вызывающих процессы брожения. Эти вещества могут находиться в коммунальных и промышленных водах, содержащих пищевые отходы и фекалии, в сточных водах целлюлозно-бумажных комбинатов, животноводческих комплексов, мясных комбинатов, сахарных, молочных заводов и т. д. В зоне загрязнения органическими веществами происходит массовое развитие гетеротрофных микроорганизмов и бактериальное заражение воды. В сточных водах общее количество микроорганизмов может достигать значения нескольких миллионов в одном см³. Объем бактериальной массы при количестве 100 млн. бактерий в одном см³ составляет 0,04% от объема сточных вод [1].

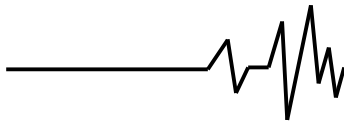
В нашей стране даже многие крупные города не имеют должных средств

биологической очистки стоков. Результатом этого являются бактериальное заражение водоемов, закрытие пляжей и гибель многих ценных гидробионтов, в том числе и рыб.

Кроме химических соединений в реки попадает большой объем фекалий и других органических остатков с ферм, где выращиваются мясо-молочный крупный рогатый скот, свиньи или домашняя птица. Много органических отходов также поступает в процессе переработки продукции сельского хозяйства (при разделке мясных туш, обработке кож, производстве пищевых продуктов, консервов и т.д.).

Наличие бактериальных загрязнений в бытовых сточных водах может быть причиной инфекционных заболеваний, возбудители которых могут распространяться через воду (холера, тиф, бактериальная дизентерия и др.) [2].

Проблемой водоснабжения больших городов является то, что в качестве источника питьевого водоснабжения используется вода поверхностных водоемов (чаще всего рек, где микробное загрязнение воды в тысячи раз превышает нормы для питьевой воды). Поскольку качество питьевой воды



непосредственно влияет на состояние здоровья населения и кардинальным образом определяет степень экологической и эпидемической безопасности целых регионов, вопрос обеспечения населения Украины качественной и безопасной для здоровья человека питьевой водой является многоаспектной межотраслевой проблемой и принадлежит к наиболее социально значимым. Вследствие этого очень остро стоит вопрос очистки этой воды до соответствия требованиям ДСанПіН 2.2.4-171-10. "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною".

Целью статьи является экспериментальное подтверждение возможности процесса инактивации микроорганизмов при помощи ультразвуковой кавитации в проточной камере повышенной интенсивности.

Основной материал

Для проведения экспериментов по инактивации микроорганизмов под воздействием ультразвуковой кавитации, были выбраны музейные штаммы микроорганизмов *Escherichia coli* ATCC № 25922, так как они являются специфическим показателем фекального загрязнения воды. Моделирование естественного загрязнения воды производилось в лабораторных условиях с помощью стандарта мутности и последующего десятикратного разведения микробной взвеси микроорганизмов *E. coli* в стерильной водопроводной воде, где количество микроорганизмов в 1 мл составляет 2×10^8 .

Экспериментальная установка (рис.1), которая применялась для инактивации микробной взвеси микроорганизмов *E. coli*, представляла собой кавитационную камеру выполненную в виде отрезка трубы, длина которого меньше половины длины волны, возбуждаемых в трубе, резонансных радиальных колебаний. Такое условие обеспечивает чисто радиальные колебания трубчатого вибратора (резонансная частота вибратора составляет 25 кГц, потребляемая мощность 100 – 500 Вт., интенсивность ультразвука вдоль оси вибратора – до 40 Вт/см^2 , объем кавитационной камеры - 260 мл) [3,4].

На наружной образующей поверхности вибратора устанавливаются четыре полуволновых ультразвуковых привода, выходные ступени трансформаторов скорости которых имеют ножевидную форму и

размещены вдоль образующих цилиндрической поверхности камеры. Такая реализация формы трансформаторов скорости дает возможность эффективно передавать ультразвуковые колебания в трубчатый вибратор при минимальном искажении формы колебаний.

В кавитационную камеру экспериментальной установки помещалась микробная взвесь (2×10^8 микробных клеток в одном мл.) и подвергались воздействию ультразвуковой кавитации течения 5 минут при условии подведения к ультразвуковым приводам 400 Вт мощности. По прошествии времени облучения производился замер температуры, которая составила - 49°C .



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

На чашки Петри с соответствующей для *E. coli* питательной средой Эндо было высеяно по 0,1 мл микробной взвеси исследуемых микроорганизмов, которые не подвергались ультразвуковой обработке. Эти чашки использовались в качестве контрольных образцов.

После воздействия на микробную взвесь ультразвуковым облучением высеяно по 0,1 мл взвеси опытного образца. Чашки с посевами помещались в термостат с температурой 37° на 24 часа для инкубации. Через 24 часа были получены результаты которые, представлены на рис.2.

На контрольном образце (рис.2.а) наблюдался сплошной рост колоний, что свидетельствует о хорошей жизнеспособности исследуемых микроорганизмов. Чашка с посевом микробной взвеси, подвергнутой ультразвуковой кавитационной обработке, оказалась чистой от колоний бактерий *E. coli*, что свидетельствует о их дезактивации.

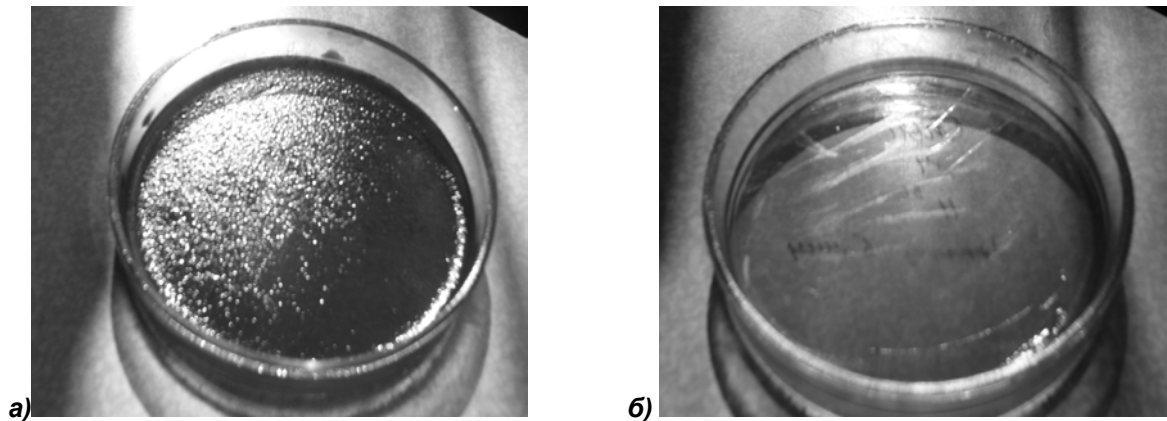
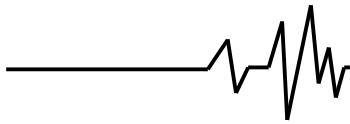


Рис. 2. Чашки Петри с высевными бактериями *Escherichia coli* после 24 часовой инкубации: а - контрольный образец; б - микробная взвесь, обработанная ультразвуковой кавитацией в течении 5 минут

Для подтверждения того, что основным фактором в дезактивации бактерий являлась ультразвуковая кавитация, а не тепловое воздействие, был проведен ряд дополнительных исследований. Для выявления степени влияния на жизнеспособность бактерий термического фактора микробная взвесь подвергалась термической обработке при 30, 50 и 70°C с последующим посевом (рис.3). При 30°C высевная микробная взвесь через 24 часа образовала колонии, что хорошо просматривается на рис.3а. При 50°C полного

уничтожения микроорганизмов достичь не удалось, хотя количество колоний значительно уменьшилось (рис. 3б). Что касается высевных микробных взвесей при температуре 60 и 70°C, то здесь наблюдается полное уничтожение (рис. 3в). Результаты полностью подтвердили тот факт, что именно кавитационные явления, а не температурный фактор, были ключевыми в дезактивации бактерий, так как температура жидкости при ультразвуковом облучении поддерживалась значительно меньшей, чем необходимо для термической дезактивации.

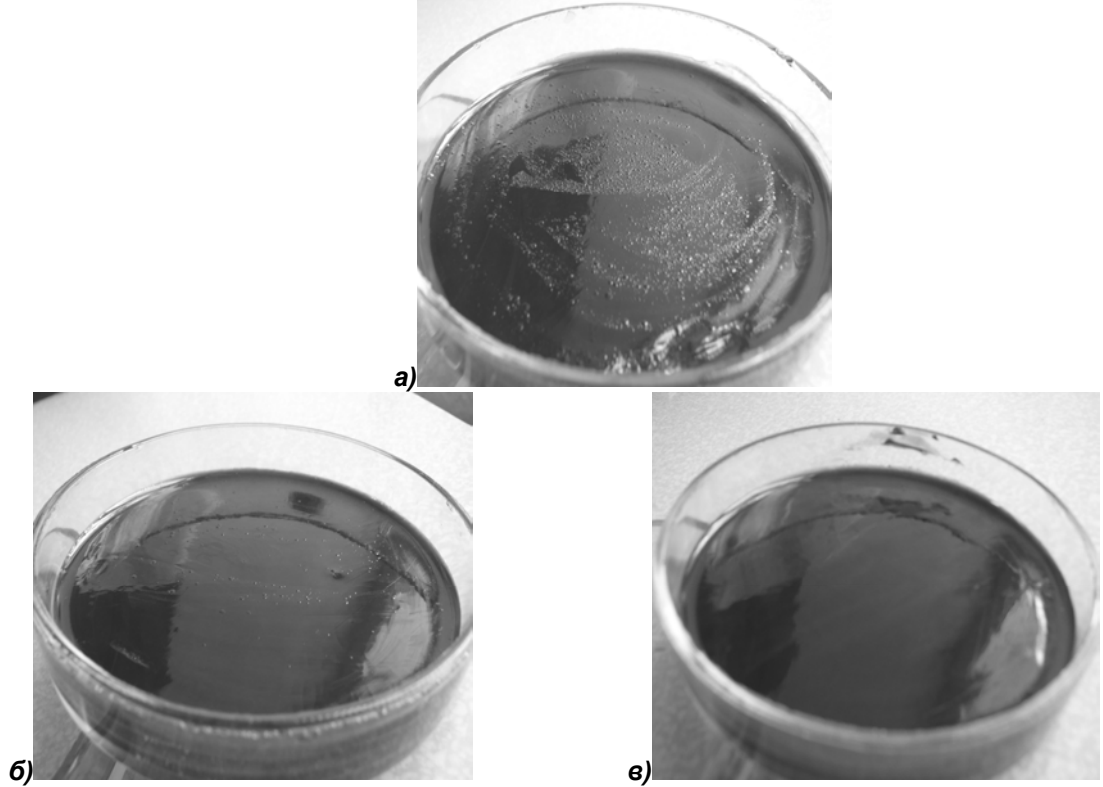
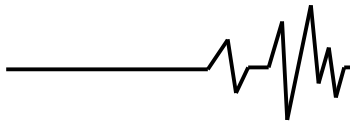


Рис. 3. Чашки Петри с высевными бактериями *Escherichia coli* после 24 часовой инкубации: а - термическая обработка при 30°C; б - термическая обработка при 50°C; в - термическая обработка при 70°C



Чтобы исключить чрезмерное нагревание микробной взвеси при проведении экспериментальных исследований по дезактивации, производился перерыв работы ультразвуковой камеры на 20 мин. через каждую минуту озвучивания с отбором соответствующих проб и контроля температуры. После посева и выдержки в термостате с оптимальной температурой для активного инкубирования 37°, через 24 часа был получен результат проведенных экспериментальных исследований (рис.4). При ультразвуковой кавитационной обработке удалось удерживать температуру обрабатываемой жидкости в пределах 30 - 47°C. Этот диапазон температур соответствует оптимальному режиму для роста и размножения данного вида бактерий, что было подтверждено в предыдущих сериях

экспериментов. По прошествии шести минут озвучивания с перерывами в работе на 20 мин. после каждой минуты полного уничтожения достичь не удалось. Этот факт можно объяснить тем, что для проведения исследований применялась стерильная вода, в которой гарантировано отсутствуют живые микроорганизмы, которые могли бы сыграть роль сдерживающего фактора роста), но все химические элементы, необходимые для полноценной репродукции, находились в избытке, то двадцатиминутные перерывы в работе дали возможность повторному заражению обрабатываемой среды. Это ярко проиллюстрировано на рис.4. Можно сделать вывод, что суммарная доза озвучивания не может равняться дозе при непрерывном процессе.

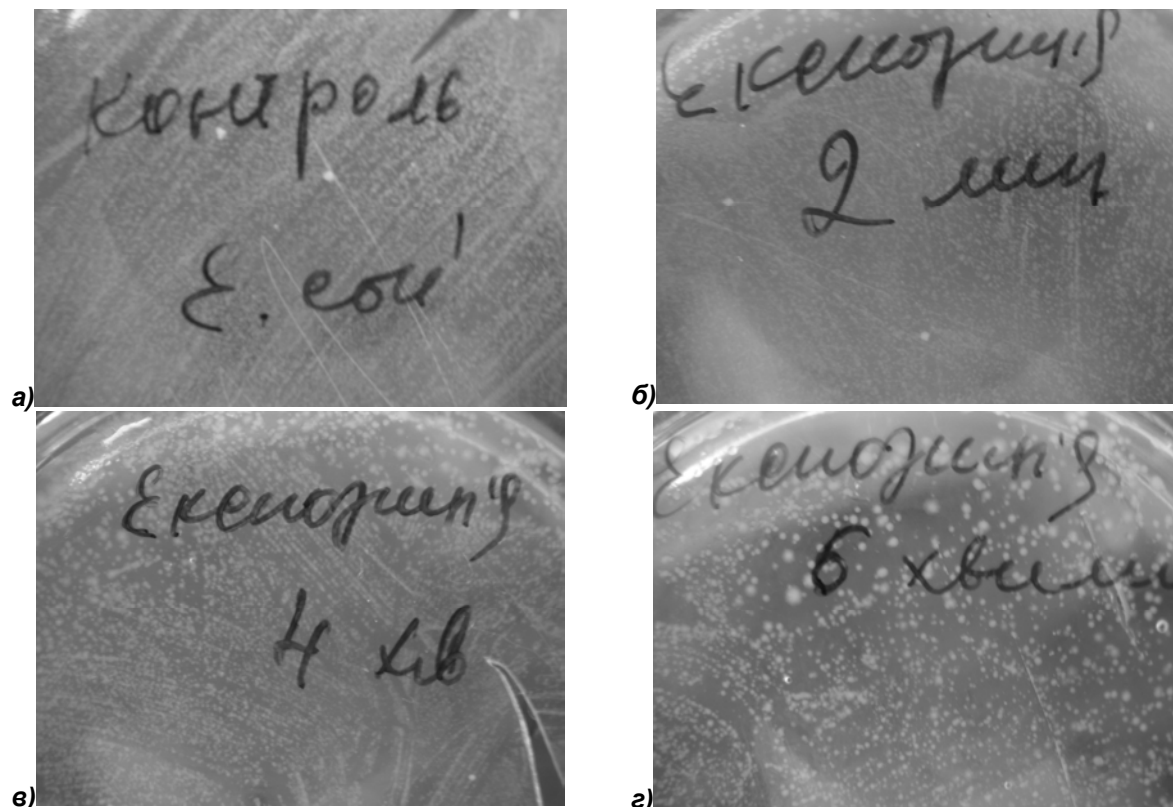
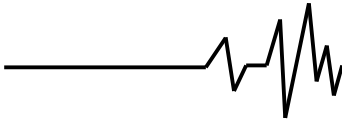


Рис. 4. Чашки Петри с высевными бактериями *Escherichia coli* после 24 часовой инкубации: а - контрольный образец (30°C); б - обработанная микробная взвесь в течении 2 минут ультразвуком (35,5°C); в - обработанная микробная взвесь в течении 4 минут ультразвуком (42°C); г - обработанная микробная взвесь в течении 6 минут ультразвуком (47°C)

Для интенсификации процесса инактивации микроорганизмов и бактерий, в частности, возможно добавление механических примесей в рабочую зону ультразвуковой проточной камеры, которые будут приводить к

механическим повреждениям оболочки микроорганизмов. Для проверки данной гипотезы в кавитационную камеру помещалось 260 мл микробной взвеси (2×10^3 микробных клеток в одном мл.) с добавлением шести



граммов карбида брома. Данная смесь подвергалась воздействию ультразвуковой кавитации при подведенной мощности 400 Вт. Как и в предыдущем эксперименте, для исключения чрезмерного нагревания микробной взвеси при проведении экспериментальных исследований, производился перерыв работы ультразвуковой камеры на 10 мин. через каждую минуту озвучивания с отбором соответствующих проб и контроля температуры.

Контрольные образцы и рабочие пробы, которые были подвержены ультразвуковому облучению, были высеяны по 0,1 мл на чашки Петри с соответствующей питательной средой для - *Escherichia coli* ATCC № 25922 и помещены в термостат с температурой 37° на 24 часа для инкубации. Результаты данного лабораторного исследования представлены на рис.5.

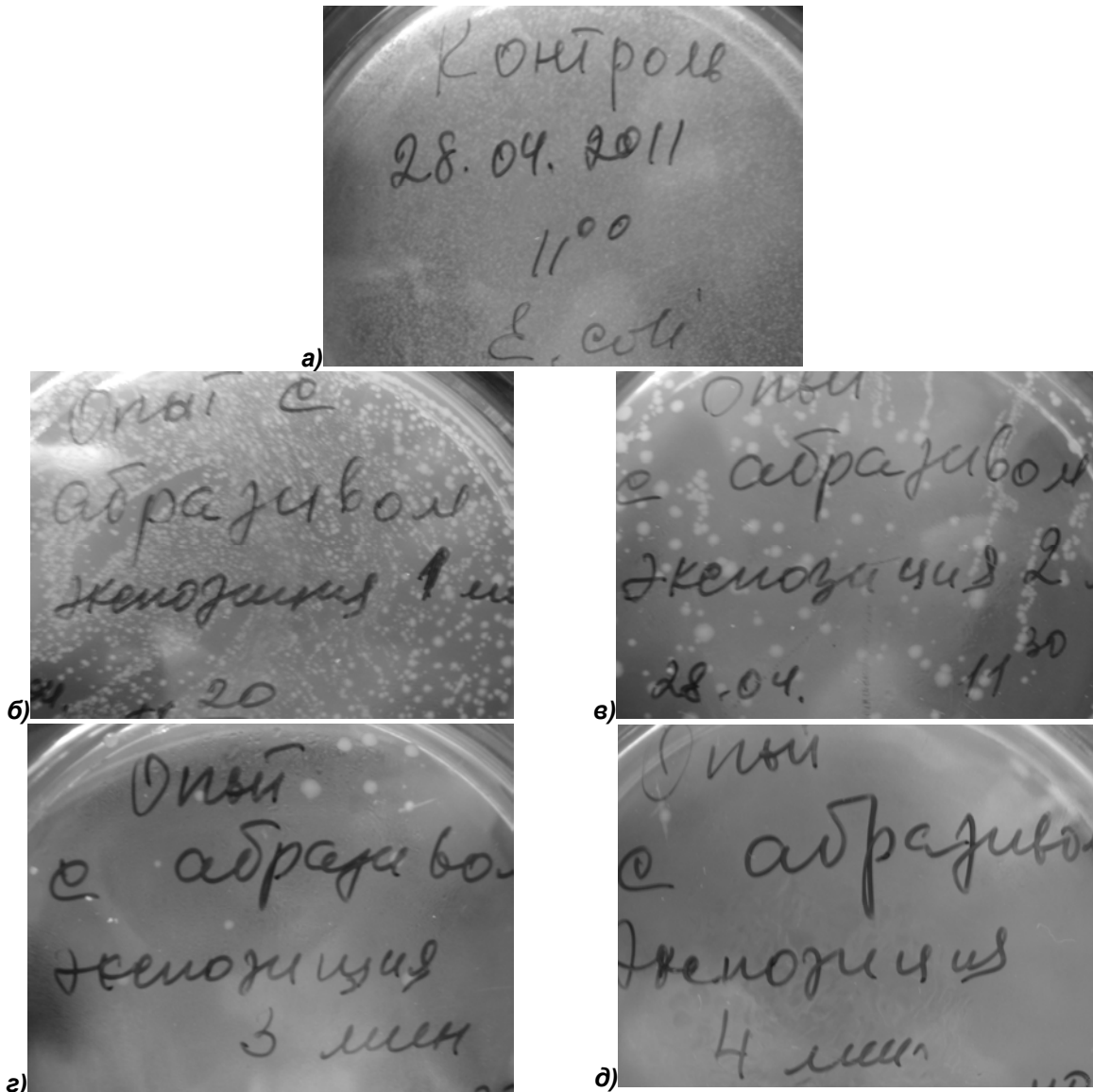
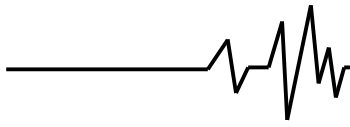
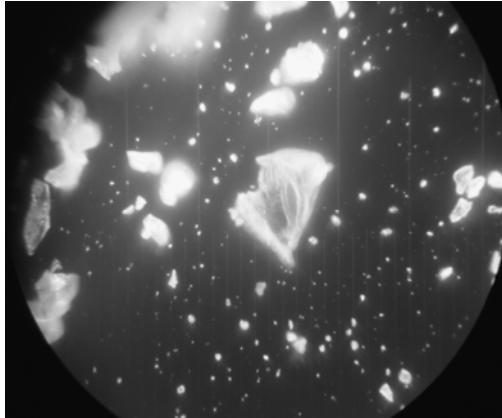


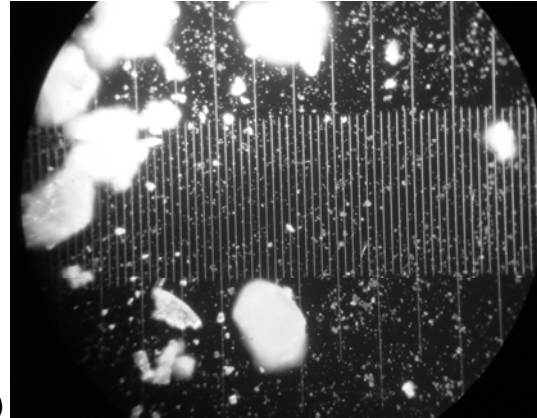
Рис. 5. Чашки Петри с высевными бактериями *E. coli* после 24 часовой инкубации:
а - контрольный образец (30°C); б - обработанная микробная взвесь в течении 1 минуты ультразвуком (32°C); в - обработанная микробная взвесь в течении 2 минут ультразвуком (38°C); г - обработанная микробная взвесь в течении 3 минут ультразвуком (43°C); д - обработанная микробная взвесь в течении 4 минут ультразвуком (45,5°C)



Добавление механических примесей (рис.6а) в рабочую зону ультразвуковой камеры действительно способствовало интенсификации процесса инактивации бактерий *Escherichia coli*. Несмотря на перерывы в работе, которые несомненно приводили к повторному заражению обрабатываемой среды, удалось значительно уменьшить время, необходимое для полной инактивации бактерий. Температурный режим также удалось соблюсти в необходимом диапазоне.



а)



б)

Рис. 6. Микрофотографии абразивных порошков (цена деления 10 мкм): а- карбида Бора (x210); б – песок молотый на шаровой мельнице (x210)

Данные, полученные при проведении лабораторных исследований позволили предложить новый эффективный физический способ обеззараживания жидких технологических сред, в которых допустимы некоторые концентрации механических примесей, или технология допускает дальнейшую фильтрацию обеззараженной жидкости от механических примесей.

Выводы

Проведенные исследования позволили подтвердить факт дезактивации микроорганизмов в кавитационной среде, созданной ультразвуковой волной высокой интенсивности.

Показано, что кавитационные явления, а не температурный фактор были ключевыми в процессе дезактивации бактерий, поскольку температура жидкости при ультразвуковом облучении нагревалась значительно меньше, нежели необходимо для термической дезактивации.

Установлено, что прерывистое ультразвуковое облучение зараженной жидкости значительно менее эффективно, чем непрерывное, поскольку имеет место повторное заражение жидкости.

Экспериментально подтверждено, что добавление механических примесей в рабочую

зону ультразвуковой камеры способствует интенсификации процесса инактивации бактерий.

Применение карбида Бора не всегда является экономически целесообразным, тем более в таком не традиционном применении, как технологический процесс обеззараживания. Поэтому в качестве заменителя можно рекомендовать подготовленный с помощью шаровой мельницы речной песок (рис. 6б), дисперсность основной фракции которого не превышает 3 мкм., что сопоставимо с размерами инактивируемых микроорганизмов.

зону ультразвуковой камеры способствует интенсификации процесса инактивации бактерий.

Литература

1. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація в процесах дезінфекції води / Т.М. Вітенько, Н.М. Волікова // Вісн. УНТУ "Київ. політехн. ін-т" - машинобудування. — 2002. — Т. 1, Вип. 42 — С.77—80.
2. Кочемасова З.Н. Санитарная микробиология и вирусология / З.Н. Кочемасова, С.А. Ефремова, А.М. Рыбакова — М. : Медицина, 1987. — 352 с.
3. Луговской А.Ф., Мовчанюк А.Ф., Гришко И.А. Исследование рабочей зоны высокоамплитудного кавитационного ультразвукового привода. — В кн.: Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. Вип.. 2/2008 (49).Частина 2, -Кременчук, 2008, с.81-85.
4. Луговской А.Ф., Гришко И.А., Кривошеев В.С. Ультразвуковая проточная кавитационная установка для повышения эффективности технологических процессов. — В кн.: Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування, Вип. 63, - Київ, 2011, с.230-232.