

УДК 628.54

## **Интенсификация процесса обеззараживания методом акустической кавитации**

*Шаповал О.А., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

*Научный руководитель: Иванов М.В., к.т.н., доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

[mivanov@bmstu.ru](mailto:mivanov@bmstu.ru)

В современном мире весьма остро стоит вопрос, связанный с очисткой воды. Вода ненадлежащего качества может привести к различным заболеваниям: холера, дизентерия, гепатиты А и Е и т.д. Подобные болезни могут привести к серьёзным последствиям, вплоть до летального исхода.

Технологический процесс водоочистки и водоподготовки представляет собой сложную схему, состоящую из многих этапов. На одном из заключительных этапов происходит обеззараживание воды.

В настоящее время существует 3 наиболее распространенных метода промышленного обеззараживания воды: облучение ультрафиолетом, озонирование и хлорирование. У каждого из них есть серьезные недостатки. Основным недостатком озонирования является токсичность озона. Хлорирование опасно развитием кожных и онкологических заболеваний. При утилизации ртутных отходов ядовитые вещества не уничтожаются, а цементируются и захораниваются в землю.

Существует множество менее распространенных методов, например, обеззараживание импульсным током, плазменно-каталитический и другие методы [1, 2]. Встречаются способы, основанные на виброакустическом воздействии, среди которых известны обеззараживание ультразвуком и кавитацией [3].

Метод с использованием ультразвука нашел свое применение в таких областях как медицина, пищевая промышленность и т.д., но он избирателен по отношению к ряду организмов.

Кавитационное обеззараживание менее распространено, однако в работах [3, 4] показано, что кавитация оказывает существенное влияние на обеззараживание воды,

вследствие чего данным метод представляет интерес. Выделяют два типа кавитации: гидравлическая и акустическая. Принцип действия кавитации основан на мгновенном локальном нагреве, вызванном резким схлопыванием пузырьков. Недостатками являются конструктивная сложность и высокие энергозатраты.

В данной работе было сделано предположение о возможности устранения данных недостатков воздействием на микроорганизм опосредованно через водовоздушную смесь, т.е. вибрационное воздействие оказывается на собственных частотах водовоздушного столба жидкости. Используя подходы, изложенные в работе [5], была разработана математическая модель.

Для выбора режима воздействия использовалась установка, представленная на рис. 1. На ней были получены спектры собственных частот колебаний различных элементов флотационной колонны. Они представлены на рис. 2.

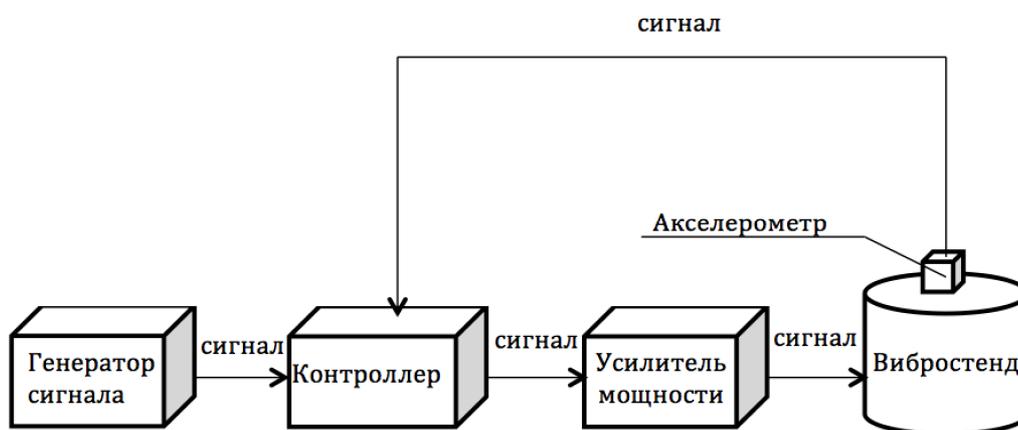


Рис. 1. Схема установки для определения собственных частот колебаний

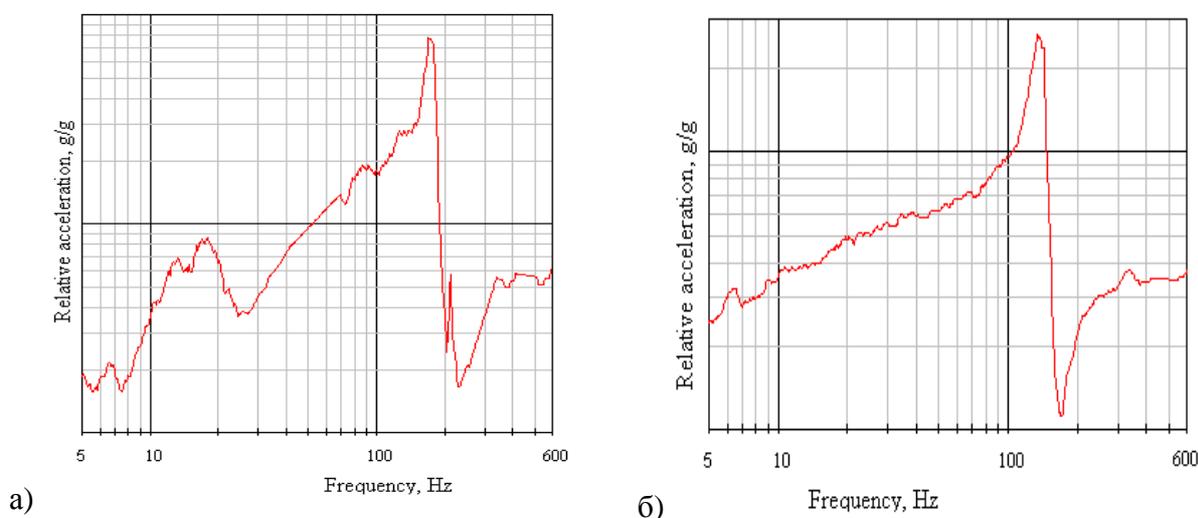


Рис. 2. Собственные частоты столбов жидкости объемами а) 215 мл, б) 430 мл

Результат определения собственных частот колебаний различных элементов флотационной колонны сведен в таблицу 1.

Таблица 1

Собственные частоты колебаний различных элементов флотационной колонны

Элемент флотационной колонны	Собственная частота колебаний, Гц
Водовоздушная смесь объемом 215 мл	207,5
Водовоздушная смесь объемом 430 мл	142,2

Эксперимент проводился следующим образом. Предварительно выращивались культуры дрожжей *Candida maltose* и бактерий *Bacillus subtilis*. Полученные культуры добавлялись в дистиллированную воду. Таким образом получали модельный сток, который затем обрабатывали на вибрационной установке, представленной на рис. 4. После вибрационной обработки осуществлялся посев обработанной и контрольной культур на твердых питательных средах - скосах L-агара или сабуро для дрожжей и бактерий соответственно. По результатам посева проводилась оценка эффективности метода.

На рис. 3 представлена схема лабораторной установки для обработки модельного стока. Вибровоздействию подвергается флотационная колонна, содержащая суспензию из микроорганизмов.

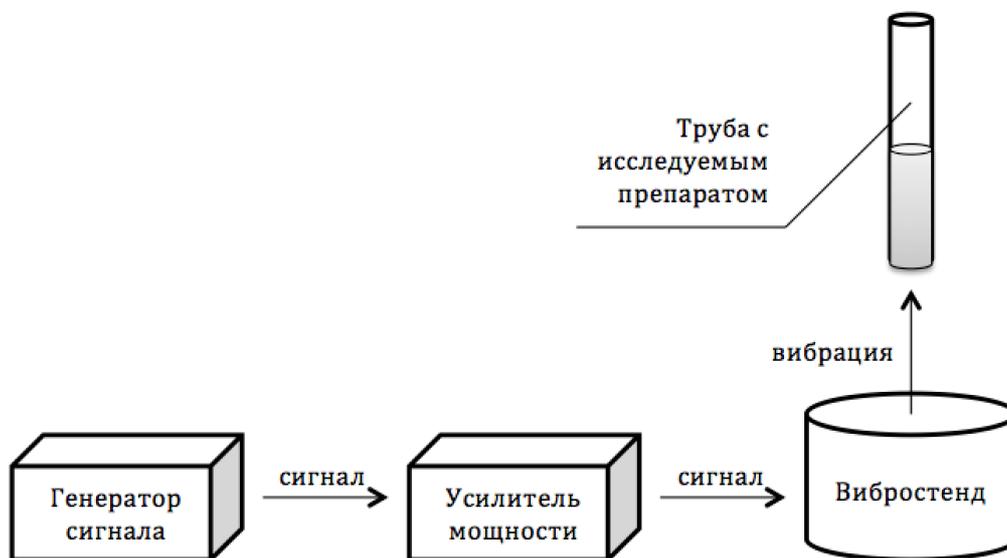


Рис. 3. Схема установки

Определение числа выживших микроорганизмов происходило методом Коха (высевом клеток на твердые питательные среды). В отличие от подсчета под микроскопом этот метод дает возможность определить только число жизнеспособных клеток, в его

основе лежит принцип Коха, согласно которому каждая колония является потомством одной клетки.

### Результаты и обсуждение

Эксперимент показал эффективность применения данного метода при обработке дрожжей *Candida maltosa*, в общем случае количество жизнеспособных клеток снизилось в 10 раз. Результаты серии экспериментов показаны в таблице 2.

Таблица 2

Испытание на дрожжах штамма *Candida maltosa*

Длительность воздействия, мин	Исходная концентрация, шт./мл	Итоговая концентрация, шт./мл	Эффективность, %
30	$2 \times 10^6$	$2 \times 10^5$	90

В ходе эксперимента отбирались из которых были созданы препараты для исследования на микроскопе.

На рис. 4а видны исходные округлые клетки, находящиеся в комфортной для них среде, крупные вакуоли (видны как яркие круги внутри клеток) свидетельствуют о зрелости микроорганизмов.

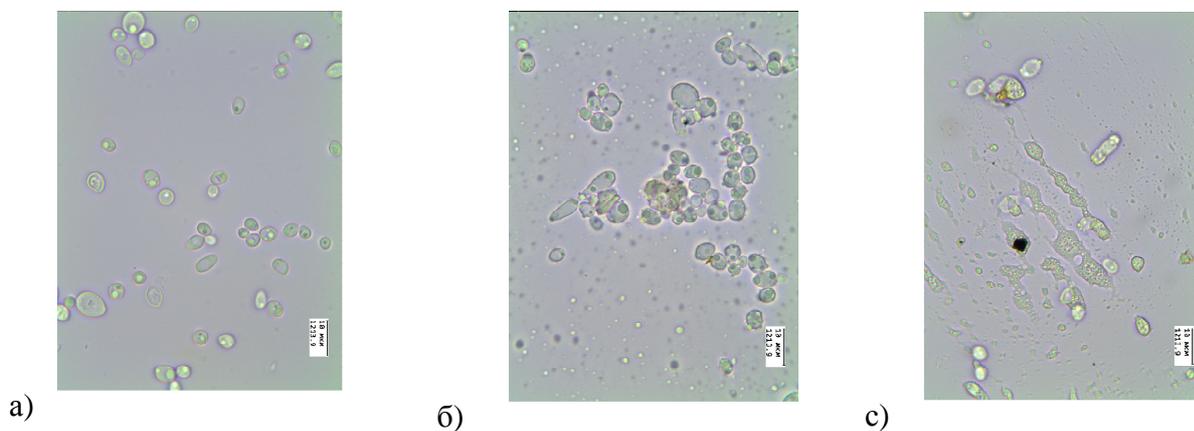


Рис. 4. Результаты анализа эффективности метода обеззараживания на микроскопе.

а) клетки до вибрационного воздействия, б) Клетки после вибрационного воздействия в течении 20 минут, в) Клетки после вибрационного воздействия в течении 30 минут

На рис. 4б видно, что после обработки в течении 20 минут клетки сгруппировались, некоторые изменили форму, стали более вытянутыми, что свидетельствует о том, что микроорганизмы находятся в условиях стресса. В свободном пространстве около клеток видны отдельные липиды, значит, некоторые клетки уже разрушились.

В таблице 3 представлены результаты испытаний на бактериях в споровой фазе штамма *Bacillus subtilis*.

Таблица 3

Режим воздействия и результаты обработки штамма *Bacillus subtilis*

Длительность воздействия, мин	Частота вибрации, Гц	Исходная концентрация, шт/мл	Итоговая концентрация, шт/мл	Эффективность, %
40	200	$1,1 \times 10^8$	$0,61 \times 10^8$	45
60			$0,54 \times 10^8$	51

Проведенные качественные испытания показали в отношении наиболее устойчивых микроорганизмов эффективность 50%, которая может быть повышена оптимизацией режима обработки.

Существующие методы обеззараживания воды обладают рядом недостатков и ограниченным применением. Предлагаемый метод вибрационного обеззараживания позволяет решить ряд проблем, вызванных традиционными методами обеззараживания, таких как присутствие химических веществ в воде, низкая эффективность, высокая стоимость и сложная утилизация отработавшей аппаратуры. Разработана концепция вибрационного обеззараживания воды, представляющую из себя флотационную колонну, подвергающуюся постоянному вибровоздействию в заданном режиме при постоянном протекании через нее обработанной воды. Наиболее эффективно обеззараживание воды происходит на частотах собственных колебаний столба газожидкостной смеси. Эффективность обеззараживания по дрожжам составляет около 90%, а по споровой фазе бактерий около 50%.

### Список литературы

1. Квиткова Е.Ю., Плазменно-каталитическая очистка водных растворов от фенолов: дисс. ... канд. хим. наук. Иваново, 2006. 118 с.
2. Филатов А.П. Обоснование способа и параметров установки для обеззараживания воды импульсным током: дисс. ... канд.техн. наук. Ставрополь, 2007. 183.
3. Дубровская О.Г. Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации: дисс. канд. ... техн. наук. Красноярск, 2007. 134 с.

4. Jyoti K.K., Pandit A.B. Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation // Biochemical Engineering Journal. 2001. Vol. 7. Issue 3. P. 201-212.
5. Маркелов Г.Е. Математическая модель в узком смысле // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 4. Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/hidden/673.html> (дата обращения 30.06.2014).