

**УДК 628.3**

**Степанова Татьяна Викторовна,  
старший преподаватель,**

**старший преподаватель кафедры «Водоснабжения и  
водоотведения»**

**Воронежский государственный технический университет**

**Россия, г. Воронеж**

**Кондратов Артем Сергеевич,**

**студент 3 курс, факультет «Инженерных систем и сооружений»**

**Воронежский государственный технический университет**

**Россия, г. Воронеж**

**Тулба Николай Георгиевич,**

**студент 3 курс, факультет «Инженерных систем и сооружений»**

**Воронежский государственный технический университет**

**Россия, г. Воронеж**

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ КАВИТАЦИИ**

**Аннотация:** Загрязнение окружающей среды – важнейшая проблема современности. Для решения данной проблемы необходимо непрерывно искать наиболее актуальные решения, которые будут наиболее эффективны. Рост городов и развитие технического прогресса и других факторов загрязнения окружающей среды стало проблемой глобального масштаба. В данной научной статье мы затронем одно из таких загрязнений, а также методы борьбы с ним.

**Ключевые слова:** загрязнение, очистка, сточные воды, кавитация, озонирование.

**Abstract:** Environmental pollution is the most important problem of our time. To solve this problem, it is necessary to continuously search for the most relevant

*solutions that will be most effective. The growth of cities and the development of technological progress and other environmental pollution factors has become a global problem. In this scientific article, we will touch on one of these pollutants, as well as methods of combating it.*

**Keywords:** *pollution, purification, wastewater, disinfection, ozonation.*

## **Введение**

Вода является одним из наиболее важных ресурсов мира. Если иссякнуть водные запасы – человек не сможет существовать. К примеру, без воды не возможны многие виды производств, невозможно сельское хозяйство: животные попросту вымрут от обезвоживания, а растение не смогут расти и давать плоды.

К счастью, в нашей стране достаточное количество водных запасов как подземных, так и надземных. Озеро Байкал, расположенное в Восточной Сибири, является самым глубоким озером на планете, это крупнейший резервуар пресной воды. Их объем составляет 23 615,39 км<sup>3</sup>.

Необходимо приложить все силы для сохранения водных ресурсов, исследуя факторы загрязнения воды, их характер и методы очистки воды.

Современные запросы к питьевой воде, пищевым продуктам, сбросам сточных вод ставят строгие лимитирования на остаточное содержание реагентов, применяемых для обеззараживания жидкостей, содержание вредных и небезопасных препаратов. В связи с данным увеличивается внимание к безреагентным способам обработки водянистых сред. Безреагентные способы очистки и дезинфекции не загрязняют природную среду хим. препаратами, не оказывают вредоносного или же раздражающего влияния на организм человека при контакте с расчищенной водой и другими жидкостями. В реальное время перспективны свежие экологичные способы обеззараживания жидкостей за счет их физиологической обработки и сокращения числа используемых для дезинфекции хим реагентов. К этим способам относятся

ультрафиолетовое облучение, электроразрядная, кавитационная обработка и иные методы физиологического влияния на воды. При сопоставлении всевозможных способов обеззараживания кавитация считается сравнительно доступным методикой обработки воды. В случае если денежные издержки на кавитационную дезинфекцию единицы размера питьевой воды принять за единицу, то издержки на ультрафиолетовую обработку более приблизительно в 1,6 раза, на хлорирование – в 3 раза, озонирование – в 10 раз по сопоставлению с расходами на кавитационную обработку воды.

Кавитационные технологии демонстрируют высшую эффективность для интенсификации химико-технологических процессов в жидкостях, в что количестве и для их чистки, пастеризации и обеззараживания

Сузим сказанное до загрязнения конкретной среды – *водной*, о которой пойдет речь в данной статье.

Ни для кого не секрет, что давно наметилась тенденция для перехода на новые, более совершенные, оборотные схемы водоснабжения и технологии очистки сточных вод с использованием современных научных достижений в этой области.

Рациональное использование водных ресурсов, охрана их от загрязнения истощения приобрели в настоящее время международное значение.

Водоотведение и очистка сточных вод представляют собой острую проблему, решение которой возлагается на плечи в первую очередь правительства, чтобы повлиять на глав предприятий, сбрасывающих отходы производства в водоемы.

Расходы на технологические и энергетические нужды и замену природных пресных вод очищенными сточными водами позволят снизить дефицит водных ресурсов и предотвратить истощение запаса пресных вод. Для этого необходимо создать замкнутые системы промышленного водоснабжения, основанные на многократном использовании для производственных целей сточных вод, очищенных до норм, отвечающих

требованиям, предъявляемым к качеству технической воды.

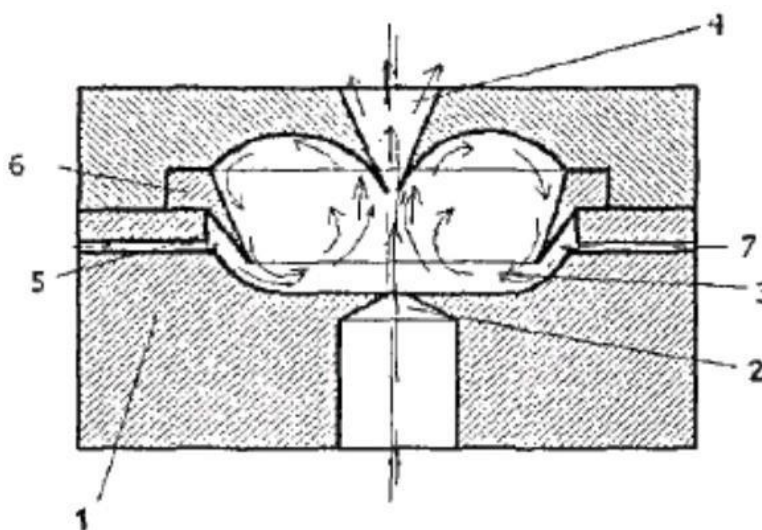
Для глубокой очистки сточных вод, содержащих фенолы или другие трудноокисляемые вещества, используется технологическая схема, в основе которой лежит струйный кавитатор вихревого типа.

Технологическая схема включает:

- коагуляционное осаждение примесей на первой ступени очистки фенолсодержащих сточных вод с последующим разделением фаз методом флотации;

- обработку осветленного стока пероксидом водорода с одновременным растворением стальной загрузки и воздействием кавитации на второй ступени очистки;

- осаждение гидроксидов железа и адсорбированных интермедиатов – продуктов деструкции фенолов на третьей ступени очистки.

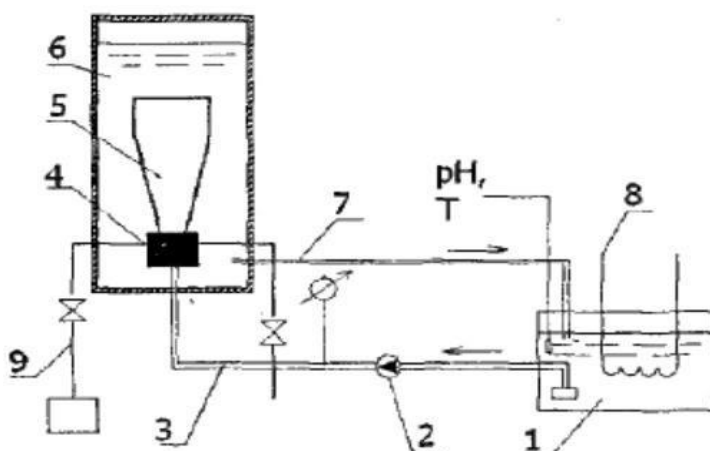


**Рисунок 1. «Схема струйного кавитатора»**

1 – цилиндрический корпус; 2 – входное сопло; 3 – торoidalная камера; 4 – конический диффузор; 5 – ниша в виде проточки; 6 – кольцо; 7 – отверстия для подачи воздуха (газа) или жидкости.

Последовательность работы кавитатора: поток рабочей жидкости, нагнетаемой насосом под давлением, подается в сопло 2, при этом часть потока попадает в торoidalную камеру 3, а оставшаяся часть выходит через конический диффузор 4. В кавитаторе входное сопло смещено относительно

оси вращения тороидальной камеры, что позволяет увеличить количество жидкости, попадающей в камеру.



**Рисунок 2. «Схема установки кавитационного процесса»**

1 – бак с модельным раствором; 2 – подающий насос; 3 – подающая линия; 4 – кавитатор; 5 – реактор с взвешенным слоем загрузки; 6 – реакционная зона аппарата; 7 – возврат раствора; 8 – теплообменник; 9 – подача окислителя.

Кавитация дает собой средство локальной концентрации энергии невысокой плотности в высшую плотность энергии, связанную с вибрациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В фазе разрежения акустической волны или же за счет районного снижения давления, к примеру при обтекании жесткого тела, в воды образуются каверны. В фазе сжатия под воздействием наружного давления и сил поверхностного натяжения каверна захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Сквозь стенки каверны в нее диффундирует растворенный в воды газ, который вслед за тем подвергается крепкому адиабатическому сжатию. В момент схлопывания кавитационной каверны нажим и жар газа локально имеют все шансы добиться значимых величин (по расчетным сведениям до 100 МПа и до 10000 °С)

При кавитационном воздействии на воду сносятся коллоиды и частички, изнутри коих имеют все шансы находиться бактерии, мельчайшие организмы лишаются обороны перед другими хим и физиологическими влияниями кавитации. Антибактериальное воздействие кавитации напрямую пропорционально ее интенсивности, кратности или же времени обработки. Кавитация способна делить большие молекулы органики, являющиеся центрами образования кавитационных пузырьков буквально например же, как и вирусы считаются центрами притяжения кавитационных образований. По объему вирусы соизмеримы с большими молекулами органических соединений.

В водоеме можно выделить несколько этапов процесса его закисления:

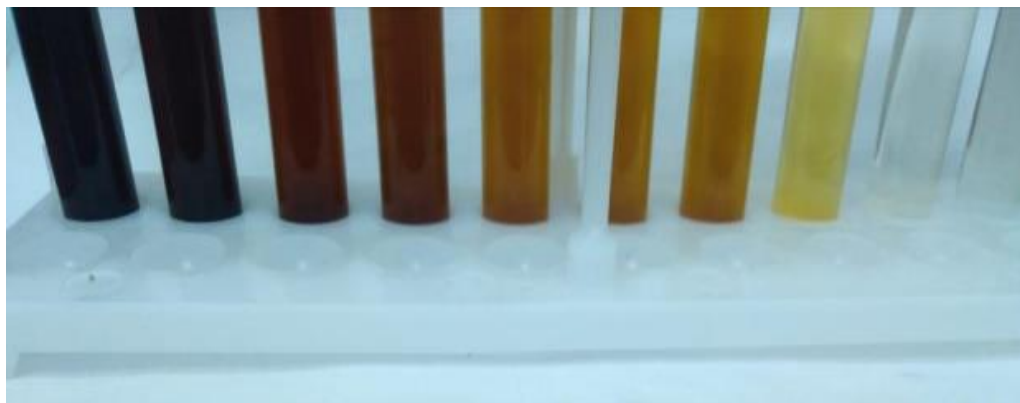
1. На первом этапе  $pH$  практически не меняется (ионы бикарбоната успевают полностью нейтрализовать ионы  $H^+$ ). Так продолжается до тех пор, пока общая щелочность в водоеме не упадет примерно в 10 раз до величины менее 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

2. На втором этапе закисления водоема  $pH$  воды обычно не поднимается выше 5,5 в течение всего года. Такие водоемы называются «умеренно кислые». На этом этапе закисления происходят значительные изменения в видовом составе живых организмов.

3. На третьем этапе закисления водоема  $pH$  стабилизируется на значениях  $pH=0$ , что говорит о существовании в исследованных зависимостях прямой стохастической связи. При этом величина корреляционной связи бактерицидного эффекта со всеми исследованными параметрами велика и примерно одинакова. Это дает возможность сделать вывод о необходимости исследования влияния комплекса параметров на обеззараживание.

Промежуточное заключение: для визуального подтверждения важности всех представленных методов на качество и состояние воды, приведу пример лабораторного исследования. С помощью метода «озонирование» и его

результата (Рис. 3) можно проследить изменение запаха (только вживую), мутности, цветности, прозрачности и водородного показателя pH (с помощью лакмусовой бумажки) и сделать соответствующий вывод о последовательной очистке взятого для пробы образца.



**Рисунок 3. «Результат лабораторного исследования методом озонирования»**

Нами проделаны следующие эксперименты в целях осветления и очищения исходного материала. В первом случае мы взяли пробы отходов мусорки и сахарного свекольника (г. Москва).

Отходы мусорки имеют цвет черного кофе. В исходный образец добавили в разных соотношениях:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (сульфат аммония) и  $\text{NaOCl}$  (белизна).

Исх. + 5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 5%  $\text{NaOCl}$

В течение 2 часов исходная жидкость практически не изменила цвет; запах – не резкий хлора; наблюдается серо-зеленый осадок;  $\text{pH}=8,2$ .

Исх. + 15% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 15%  $\text{NaOCl}$

В течение 2 часов исходная жидкость приобрела янтарно-коричневый цвет; запах хлора преобладает больше, чем белизны;  $\text{pH}=7,8$ .

Исх. + 10% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 10%  $\text{NaOCl}$

За аналогичное время реакции с представленными добавками жидкость приобрела светло-коричневый цвет со смешанным терпким запахом белизны и сульфата аммония; наблюдается серо-зеленый осадок.

Исх. + 5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 10%  $\text{NaOCl}$

В результате реакции наблюдается осветление до светло-коричневого цвета; имеет небольшой серо-зеленый осадок; преобладает запах хлора.

Исх. + 5%(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 15% NaOCl

Время наблюдения: 2 часа; в данном соотношении жидкость приобрела светло-коричневый цвет с желтоватым оттенком; запах хлора; осадка не наблюдается; pH=8,7.

Исх. + 10%(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 1 5% NaOCl

Осветление в 2 раза: светло-коричневый цвет с желтоватым оттенком; запах хлора; легкий осадок светло-серого цвета; pH=7,9.

При обработке озоном:

Исх. + 5%(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 15% NaOCl + Озон

Время наблюдения: 2 часа; произошло координальное осветление жидкости; имеет желтый оттенок; в сравнении с предыдущими образцами отсутствует явный запах хлора, нет осадка.

### **Результаты лабораторных исследований**

**Ход работы:** в лабораторных условиях проводили исследования влияния процесса кавитации на обеззараживание осадка сточных вод. Обработку осадка проводили в гидродинамической установке с высокой производительностью. Осадок из вторичного отстойника обрабатывали в течение 5-15 минут в гидродинамической установке и анализировали его до и после кавитации по химическим и микробиологическим показателям.

Контроль процесса обработки проводили по *показателям влажности и сухому остатку*. Контроль влияния процесса кавитации на жизнедеятельность микроорганизмов проводили по санитарно- бактериологическим показателям: общему микробному числу (сапрофитная микрофлора), бактериям группы кишечной палочки (БГКП), патогенным энтеробактериям (сальмонеллы).

Результаты физико-химических и санитарно-бактериологических показателей влияния процесса кавитации на осадок сточных вод представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты исследований влияния процесса кавитации на физико-химические и бактериологические показатели осадка.**

Наименование пробы	Влажность осадка, %	Сухой остаток осадка, мг/см <sup>3</sup>	Количество микроорганизмов в 1 см <sup>3</sup> пробы			Количество бактерий в 1 см <sup>3</sup> осадка фактической влажности
			Общее микробное число, кол-во/см <sup>3</sup>	БГКП	Патогенные энтеробактерии (сальмонелла)	
Осадок до обработки кавитацией	98,77	12,390	1,29*10 <sup>8</sup>	1,6*10 <sup>6</sup>	обнаружены	1,29*10 <sup>9</sup>
Осадок после обработки кавитацией	99,26	12,389	7,1*10 <sup>7</sup>	3,0*10 <sup>5</sup>	обнаружены	3,0*10 <sup>6</sup>

**Анализ табличных данных:** физико-химические показатели в обеих пробах оказались примерно одинаковы - это связано с поступлением на кавитационную установку осадка с большой плотностью и влажностью.

Также отмечены положительные изменения к уменьшению числа бактерий в осадке. После двух часов обработки общее количество бактерий уменьшилось в 1,8 раза, а количество БГКП снизилась в 5,3 раза. Можно предположить, что при увеличении времени пребывания осадка в кавитационной установке, число бактерий снизится до нормативных значений. Зафиксировано недостаточное воздействие кавитации на подавление патогенных энтеробактерий, их присутствие наблюдалось до и после обработки пробы.

В экспериментальных условиях, в зависимости от температуры теплоносителя на входном патрубке и объема прокачки установлено, что за один проход через устройство, теплоноситель (вода) нагревается до 10 °С. Таким образом, при осуществлении предлагаемого способа использования эффекта кавитации появляется возможность в промышленном масштабе преобразовать внутреннюю энергию жидкости (воды) в тепло.

### **Выводы**

Выбор метода обеззараживания обуславливается рядом таких факторов, как физико-химический состав сточных вод, экономичность, безопасность, возможность образования токсичных побочных продуктов в осадках, климатические особенности местности и так далее. В каждом отдельном случае выбор оптимальных решений и схем должен быть сделан на основании всестороннего технико-экономического и санитарно-экологического обоснования;

К недостаткам физических методов обеззараживания можно отнести их высокую энергоемкость, значительные затраты на оборудование, избирательное воздействие на группы микроорганизмов, неглубокое проникновение в слой обрабатываемого осадка.

Обработка осадка в кавитационной установке исключает все вышеперечисленные проблемы. Это принципиально новый, безопасный метод обработки, который требует поддержания определенных условий для обеспечения полного обеззараживающего эффекта.

Экспериментальные исследования по обработке осадка на модельной лабораторной кавитационной установке подтверждают эффективность данного метода. Наблюдается постепенное снижение патогенной микрофлоры. За два часа работы общее количество бактерий уменьшилось в 1,8 раза, а количество БГКП снизилась в 5,3 раза.

Патогенные микроорганизмы активного ила оказались устойчивыми к методу кавитации. Незначительный бактерицидный эффект физических

методов, возможно, связан с высокой вязкостью осадка, неглубоким проникновением в слой, избирательным воздействием на определенные виды микроорганизмов.

Экономический эффект от предложенной технологии после усовершенствования работы установки заключается в том, что данный метод не требует применения дорогостоящих химических реагентов, что позволяет полностью исключить затраты на их приобретение; обработка осадка в кавитационной установке может осуществляться на уже существующих очистных сооружениях, тем самым отсутствует потребность в строительстве новых сооружений; применение данного метода после усовершенствования основных параметров, позволит в короткие сроки проводить обработку осадка, тем самым быстрее освобождать площади земли, занятые под иловые площадки.

Необходимо произвести доработку основных параметров работы кавитационной установки, увеличить время пребывания осадка сточных вод в камере обеззараживания, чтобы обеспечить полный обеззараживающий эффект.

Таким образом, используя кавитацию ускоряется процесс реакции и обеззараживания. Данный метод также является наиболее экономным по сравнению с озонированием и любыми другими методами очистки воды.

#### **Использованные источники:**

1. Фомина И.Г. Методология исследования качества осадков сточных вод для возможности использования их в качестве удобрений: Сборник II Межотраслевой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, 2013 г.

2. Васильева Н.Б. Очистка сточных вод с использованием гидродинамической кавитации: тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.23.04.

3. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений.
4. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
5. Исследования по интенсификации методов очистки сточных вод // Сб. научн. трудов МИСИ. – М., 1987 г.
6. Батмангхелидж Ф. Вода для здоровья. / Минск: Попурри, 2004 г;
7. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества, М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001 г.
8. Сенявин М.М., Мясоедов Б.Ф. Основные свойства нормируемых в водах органических соединений. М.: Наука, 1987. 105 с.