

УДК 628.54

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ И  
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДОЖДЕВЫХ  
СТОЧНЫХ ВОД**

**Маликова Анжела Александровна**

магистрант

[aamakova@mail.ru](mailto:aamakova@mail.ru)

**Макова Наталья Евгеньевна**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

[nemakova@mail.ru](mailto:nemakova@mail.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация:** в работе проведен анализ современных методов очистки, доочистки и обеззараживания производственно-дождевых сточных вод, указаны основные загрязняющие вещества и описаны их неблагоприятные воздействия на человека.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, методы обеззараживания, очистные сооружения.

Ежегодно человечеством используется все больше и больше воды для своих хозяйственных, бытовых, производственных и сельскохозяйственных нужд. В результате образуются сточные воды различного происхождения и состава.

Сточные воды - это воды, использованные на бытовые, производственные или другие нужды, содержащие повышенные концентрации химических и механических примесей, изменивших их первоначальный химический состав и физические свойства. Воды, образующиеся на территориях населенных пунктов в результате выпадения атмосферных осадков и удаляемые через канализацию, тоже называются сточными водами. Такие воды содержат растворенные и нерастворенные вещества. Обладают токсичными, агрессивными и взрывоопасными свойствами [1, 2].

Таким образом, мы понимаем, что это воды, которые необходимо подвергнуть очистке перед сбросом в водный объект.

По происхождению сточные воды можно разделить на две основные группы:

- хозяйственно-бытовые;
- производственно-дождевые.

Хозяйственно-бытовые сточные воды образуются в результате бытовой деятельности человека. Они образуются как в жилых, общественных, так и в промышленных помещениях, на предприятиях, после санитарных уборок, стирок, при приготовлении пищи и т.п. Бытовые сточные воды образуются при эксплуатации на территории предприятий душевых, туалетов, прачечных и столовых. Такие воды чаще всего загрязнены органическими и минеральными веществами в растворенном и взвешенном состоянии [2, 3].

Производственно-дождевые сточные воды – это воды, использованные в технологических процессах. Они имеют концентрации загрязняющих веществ выше допустимого. Состав таких вод разнообразен и зависит от типов предприятия, используемых технологических процессов и мощности предпри-

ятия. Производственные сточные воды делят на загрязненные и условно чистые. Условно чистыми считаются воды, использованные для охлаждения технологических агрегатов [1, 4].

По характеру загрязнения сточные воды делят на:

- содержащие минеральные примеси (металлургия, машиностроение);
- содержащие органические примеси (пищевая промышленность);
- содержащие органоминеральные примеси (нефтеперерабатывающие, нефтедобывающие).

По кислотности выделяют:

- неагрессивные (рН — 6,5–8);
- слабоагрессивные (слабощелочные — рН 8–9 и слабокислые — рН 6–6,5);
- сильноагрессивные (сильнощелочные — рН >9 и сильнокислые — рН <6).

Классификация по токсическому действию и действию загрязнителей на водные объекты:

- содержащие вещества, влияющие на общесанитарное состояние водоема (например, на скорость процессов самоочищения);
- содержащие вещества, изменяющие органолептические свойства (вкус, запах);
- содержащие вещества, токсичные для человека и обитающих в водоемах животных и растений.

Система водоотведения и, соответственно, схема водоотводящей сети выбирается с учетом топографических и гидрогеологических условий местности, характера производственных процессов в данном регионе, расхода воды на хозяйственно-бытовые и производственные цели [2].

Различают следующие системы водоотведения: общесплавные, раздельные (полные или неполные) и полураздельные.

Очистка сточных вод — комплекс мероприятий по удалению загрязнений, содержащихся в бытовых и промышленных сточных водах перед выпуском их в водоёмы. Очистка сточных вод осуществляется на специальных очистных сооружениях.

На исследуемых нами объектах АО «Транснефть-Дружба» применяются отдельные системы водоотведения для хозяйственно-бытовых и производственно-дождевых сточных вод [1, 3].

В зависимости от требуемой степени очистки, производительности очистной станции, химического и физического состава загрязнений, выбирают метод очистки и технологические схемы очистных сооружений. Требования к степени очистки сточных вод постоянно повышаются. Поэтому их подвергают дополнительной более глубокой очистке. Существующие очистные станции нуждаются в модернизации, так как развитие очистных установок, а также методов очистки с каждым годом интенсифицируется [2, 5]. В процессе очистки необходимо обрабатывать осадки сточных вод и обеззараживать сточные воды перед сбросом в водоем.

Для очистки сточных вод используются следующие методы очистки:

- механические;
- химические;
- физико-химические;
- биологические.

Первой ступенью в обработке сточных вод, поступающих на очистные сооружения, является механическая очистка. Главная цель данного метода — подготовка вод к дальнейшей более глубокой очистке. Существует несколько разновидностей механической очистки. Методы механической очистки, основанные на гравитационном разделении материалов, позволяют извлекать из сточных вод нефтепродукты, находящиеся в грубодисперсном (капельном) состоянии. Поэтому методы механической очистки применяются лишь совместно с другими, более тонкими.

Химические методы используются в качестве предварительной очистки перед применением физико-химических или биологических методов. Основными химическими методами являются: окисление, восстановление, нейтрализация и осаждение [6].

Физико-химические методы используют для удаления из стоков тонкодисперсных взвешенных частиц, растворимых газов, минеральных и органических примесей.

Биологические методы очистки предусматривают использование углеводородокисляющих микроорганизмов, способных усваивать различные углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода. Биологический метод основан на использовании жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, для которых органические вещества сточных вод (в растворенном и коллоидном состоянии) являются источником питания. Эти вещества нельзя удалить из стоков механическим путем. Распад и минерализация органических веществ при биологической очистке сточных вод происходит так же, как и в естественных условиях [4].

Очистка сточных вод биологическим методом производится в естественных условиях и в искусственно созданных сооружениях. К естественным сооружениям относятся: поля фильтрации, орошения и биологические пруды. К искусственным - биологические фильтры, аэротенки и метантенки [6].

Таким образом, можно сделать вывод о разнообразии методов и технологических установок для очистки сточных вод. Самое важное при проектировании технологической схемы очистки, подобрать именно такую последовательность способов очистки, при которой будет достигаться наибольшая эффективность очистки. Каждая схема очистки будет зависеть от типа предприятия, от состава сточных вод, главным образом, а также от количества образовавшихся стоков.

Под доочисткой подразумеваются методы и процессы, дополняющие традиционные технологические схемы очистки сточных вод предприятий, го-

родов и населенных пунктов. Возможная степень удаления загрязнений в процессах доочистки практически не ограничена и определяется условиями сброса очищенных сточных вод или последующей их утилизации. К методам доочистки сточных вод относят:

- применение ионообменных смол;
- ультрафильтрационных мембран;
- мембран обратного осмоса;
- термический метод;
- сорбционный метод удаления из очищенных вод остаточных растворенных органических загрязнений;
- комбинации указанных методов.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики методов доочистки производственно-дождевых сточных вод.

Таблица 1

Сравнительная характеристика современных методов доочистки сточных вод

Материалы	Продолжительность фильтро-цикла, час.	Регенерация	Энергоемкость кВт-ч/м <sup>3</sup>	Срок эксплуатации	Себестоимость 1 м <sup>3</sup> очищенной воды, руб.	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4	5	6	7	8
Ионообменные смолы	12-24	Растворами кислоты хлористо-водородной (для Н <sup>+</sup> -формы) и натрия гидроксида (для ОН <sup>-</sup> формы)	0,3-0,6	до 5 лет	8,0-10,0	- эффективны для удаления анионов и катионов. - обеспечивает обессоливание воды, низкую удельную электропроводность воды. - простота, отсутствие принципиальных ограничений для достижения большей производительности.	- частая регенерация - наличие химически агрессивного реагентного хозяйства. - высокие эксплуатационные затраты; - необходимость утилизации регенерационных химически агрессивных сточных;

							<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость предварительной очистки воды от нерастворимых твердых частиц, химически активных реагентов;</li> <li>- не обеспечивает микробиологической очистки.</li> </ul>
Адсорбенты (на примере активированного угля)	8-12	-	0,4-0,8	2 года	8,0-12,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- универсальный сорбент;</li> <li>- высокая сорбционная способность;</li> <li>- не требует предварительной подготовки воды;</li> <li>- невысокая стоимость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- невысокая механическая прочность;</li> <li>- отсутствие обеззараживающего действия.</li> </ul>
Ультрафильтрационные мембраны	0,2-1,0	Обратная промывка. Дополнительная химическая промывка специальными кислотными и щелочными реагентами.	0,2-0,5	3-5 лет	21,0-22,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- удаляют микроорганизмы и вирусы;</li> <li>- отказ от первичного хлорирования и снижения дозы хлора при вторичном хлорировании;</li> <li>- компактность установок, возможность полной автоматизации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- малоэффективны при снижении мутности, цветности и окисляемости воды, удалении хлорорганических веществ;</li> <li>- частота промывок, до 5 раз в час;</li> <li>- наличие стадии предочистки;</li> <li>- необходимость соблюдения постоянства температурного режима;</li> <li>- наличие реагентного хозяйства;</li> <li>- необходимость блока постобеззараживания;</li> <li>- высокая стоимость.</li> </ul>
Обратный осмос	0,1-1,0	Обратная промывка. Дополнительная химическая промывка мембран специальными кислотными и	0,6-0,8	1,5-2,0 года	30-35	<ul style="list-style-type: none"> <li>- задерживают все бактерии и вирусы, большую часть растворенных солей и органических веществ (в том числе железо и гумусовые соединения, придающие воде цветность и</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость тщательной предочистки;</li> <li>- большие капитальные затраты;</li> <li>- большие энергозатраты;</li> <li>- наличие реагентного хозяйства;</li> </ul>

		щелочными реагентами				патогенные вещества); - компактность установок, возможность полной автоматизации;	- необходимость блока постобеззараживания; - высокая стоимость. - низкая способность удаления растворенных органических веществ с очень малым молекулярным весом; - хрупкость мембран; - неустойчивость мембран к высоким температурам; - образование большого количества концентрата и последующая его утилизация
Термический метод	-	-	45-50	-	10-20	- высокое качество воды по взвесям; - возможность получения отходов минимального объема, вплоть до сухих солей; - возможность использования избыточного тепла; - удаление из воды растворенных газов.	- необходимость предочистки; - большие энергозатраты; - большие капитальные затраты; - необходимость очистки дымовых газов.

Для полного очищения сточных вод от патогенных бактерий и вирусов необходимо применять специальные методы обеззараживания, которые подразделяются на два вида:

- Химический метод – применение различных реагентов таких как диоксид хлора, гипохлорит натрия, перекись водорода, озон и др. Химический метод обеззараживания воды до сих пор используется в большинстве случаев. Но данный метод не безопасен для здоровья человека и окружающей среды, так как он подразумевает наличие в воде побочных продуктов и опасных соединений, после применения химических реагентов.



- Физический метод – воздействия на микробиологию различными физическими способами без применения химических реагентов. К таким способам относятся: термообработка, ионизация, электромагнитная обработка, УФ-стерилизация, ультразвуковое воздействие и др.

Есть и другие способы обеззараживания воды, которые изжили себя, но все-таки частично используются и сейчас, либо их эффективность еще полностью не доказана [1-3].

Многие из физических методов обеззараживания воды, до сих пор, не внедрены на уровне промышленных масштабов, так как являются до конца не изученными и дорогостоящими в применении. Тем не менее интерес к таким технологиям сохраняется в связи с тем, что физический метод обеззараживания воды не способствует образованию в воде опасных химических соединений и вода при этом не теряет своих полезных и вкусовых качеств.

Рассмотрим два физических способа обеззараживания воды, которые на сегодняшний день являются самыми проверенными и не образуют большое количество побочных продуктов, как это происходит при использовании химических методов. Так же рассмотрим возможность их совмещения в единую систему обеззараживания воды любого качества и для любых целей.

#### Ультрафиолетовое обеззараживание

Ультрафиолетовая обработка воды – самый популярный способ обеззараживания, получивший доверие во всех областях жизнедеятельности человека. Эффективность воздействия ультрафиолета на микробиологию заключается в его мощном электромагнитном облучении простейших биологических объектов с последующей их гибелью. На сегодняшний день, на мировом рынке представлена широчайшая линейка ультрафиолетовых стерилизаторов для воды от простейших приборов, до оборудования премиум класса. Они имеют разную мощность излучения, разные конструкции и направленность – для питьевой воды, для бассейнов, для стоков и т.д. Не секрет, что практически в каждой системе водоподготовки используется УФ-

стерилизатор и обусловлено это, как уже говорилось выше, «доверием» к данному оборудованию. Но даже у такого проверенного и эффективного оборудования есть свои недостатки:

- Чувствительность к прозрачности воды – так как источником ультрафиолетового излучения является УФ-лампа, эффективность обеззараживания уменьшается при обработке мутной воды. Если жидкость имеет нулевую видимость, то эффект обработки сводится к нулю.

- Чувствительность к скорости потока воды – большинство УФ-стерилизаторов выполнены в виде проточной колбы через которую проходит вода в системе трубопровода. В традиционных технологиях УФ-облучения усиление эффекта может быть достигнуто только в одном случае - при длительном воздействии и очень низком содержании в воде спорных и простейших организмов, причем, этот метод обеззараживания не уничтожает плесень. Во многих случаях скорость потока воды в трубопроводе очень большая и этот фактор не позволяет обеззаразить воду при ее одном проходе через УФ-стерилизатор. Поэтому, на многих предприятиях промышленности, сельского хозяйства, водного хозяйства ставят от нескольких УФ-стерилизаторов до десятка [3]. Обычно их устанавливают последовательно, друг за другом, что бы проход воды через этап обеззараживания можно было удлинить и повысить качество данного этапа. За счет этого повышается себестоимость процессов водоподготовки и водоочистки.

- Ограниченный рабочий ресурс УФ-лампы – как и у обычной лампочки, которая обеспечивает освещение в помещении, у УФ-лампы тоже есть рабочий ресурс (от 5000 до 9000 часов или более), после которого необходимо ее заменить. С каждым часом работы УФ-лампы ее эффективность уменьшается и в итоге сводится к нулю.

- Необходимость частого обслуживания – так как УФ-лампа не может соприкасаться на прямую с водой, в конструкции любого УФ-стерилизатора предусмотрена специальная колба/кожух в которой размещается УФ-лампа. Материал колбы стекло. Так как ультрафиолет чувствителен к прозрачности

то необходимо постоянно проверять и очищать защитную колбу от возможных налетов, биообрастаний и обрастаний кристаллами, которые уменьшают эффективность облучения, в следствии чего приходится останавливать работу оборудования и проводить очистку с помощью химических и физических методов.

- Ограничения по применению – ультрафиолет неэффективен в водах, которые содержат большое количество минеральных солей или иных взвешенных частиц. Такая вода поглощает УФ-излучение. Если размер взвешенных частиц превышает 50 мкм то эффективность обеззараживания существенно уменьшается.

#### Ультразвуковое обеззараживание

Об эффективности ультразвукового обеззараживания любых водных растворов известно давно. Тем не менее активная популяризация данного метода началась только в последнее десятилетие.

Полезные свойства ультразвука до сих пор полностью не раскрыты. Это говорит о том, что у данного метода неограниченные скрытые возможности, которые поэтапно внедряются во все сферы деятельности современного мира и может в ближайшее время это послужит полному изменению нашего понимания о привычных, уже существующих технологиях.

Обеззараживание жидкости происходит за счет процесса ультразвуковой кавитации - образования и активности газовых или паровых пузырьков (полостей) в среде, облучаемой ультразвуком, а также эффекты, возникающие при их взаимодействии со средой и с акустическим полем. Выделяют два сильно отличающихся вида ультразвуковой кавитации:

– инерционная кавитация, природа которой связана с образованием в жидкости парогазовых полостей вследствие растяжения жидкости во время отрицательного полупериода колебаний в акустической волне. После наступления полупериода сжатия эти полости резко захлопываются, при этом возникают локальный нагрев и гидродинамические возмущения в виде микроударных волн, кумулятивных струек и микропотоков жидкости;

– неинерционная кавитация, характеризующаяся колебаниями длительно существующих, стабильных газовых пузырьков. Если порог инерционной кавитации превышен, то одновременно могут проявляться оба вида кавитации, тем более если учесть, что акустическое поле, как правило, неоднородно.

Разрывы тканей образуются на кавитационных зародышах или «слабых точках» жидкой среды. Механизм длительного существования (стабилизации) в жидкостях слабых точек, каковыми по преимуществу являются микроскопические газовые пузырьки, уже давно представлялся загадочным и длительное время был предметом дискуссии. Дело в том, что большие пузырьки должны всплывать за счёт стоксовой силы плавучести (например, скорость всплытия пузырька радиусом 10 мкм составляет 0.2 мм/с), а малые пузырьки должны раствориться под действием давления, обусловленного поверхностным натяжением  $2\sigma/R$ , где  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения на границе газа и жидкости, а  $R$  — радиус пузырька. Для примера для пузырька радиуса 1 мкм это добавочное давление составляет 1.5 атм. Для объяснения возникновения и стабильного существования в жидкостях газовых пузырьков — кавитационных зародышей были привлечены различные механизмы, подробно рассмотренные в ряде книг и обзоров. Так, было показано, что зародыши кавитации могут непрерывно создаваться в воде под действием космических лучей, нейтронов и других частиц высоких энергий. Фокс и Герцфельд выдвинули предположение, что органические молекулы могут формировать оболочку на поверхности пузырька, которая препятствует диффузии газа из него. Другая теория связана с наличием микротрещин на пылинках и примесных частицах; эти микротрещины, так же как и твердые частицы, могут служить ловушками для газа.

Для биологических структур «слабыми точками», вероятно, становятся покрытые плёнкой органических примесей микроскопические газовые пузырьки, всегда имеющиеся в нормально насыщенных газом тканях, а также находящиеся в трещинах примесей или порах мембран [4]. Эти пузырьки

можно обнаружить с помощью специальных акустических методов. Другим типом «слабых точек» в биологических структурах могут быть границы раздела разных тканей или сред, например, крови и стенок кровеносных сосудов. Кавитационные ядра могут быть созданы намеренно, например, при использовании ультразвуковых эхоконтрастных агентов.



Рисунок 1 - Механизм ультразвуковой кавитации

Недостатки ультразвука невозможно определить однозначно. Аргументируется это тем, что эффективный диапазон ультразвуковых волн имеет разброс от 20 до 100 кГц. Определенные недостатки ультразвукового воздействия можно определить только на основании имеющегося в наличии ультразвукового прибора, соответственно опираясь на его технические характеристики и на результаты его работы в том или ином технологическом процессе.

К сожалению, на рынке РФ, особого выбора среди ультразвуковых обеззараживателей воды нет. В основном это большие промышленные установки отечественного производства, потребляющие очень большое количество электроэнергии и делают их только под заказ [6, 7]. К тому же излучатели отечественных приборов имеют ограниченный ресурс из-за разрушительного воздействия на них ультразвуковой кавитации и в последствии требуют либо замены, либо капитального ремонта. Но несмотря на это, ультразвук используют и его полезные свойства очень востребованы.

Преимущества у ультразвука, по отношению к тому же самому ультрафиолету очень много:

- Независимость от качественного состава воды и прозрачности: ультразвук уничтожает микроорганизмы даже при полной нулевой прозрачности воды или жидкости, независимо от ее химического состава. Связано это с явлением ультразвуковой кавитации.

- Неограниченный ресурс работы – если производитель ультразвуковых приборов использует правильные материалы для производства излучателей, закладывает малые потребляемые мощности (до 100Вт), а такие производители есть, то ультразвуковые приборы могут работать в непрерывном режиме многие годы, решая сложные задачи по обеззараживанию воды.

- Независимость от удаленности биообъекта – если поместить в статичную воду (в бассейн, в большой резервуар или прочее) ультрафиолетовую лампу в открытом виде (только в колбе), то произойдет эффект уничтожения микробиологии. Но этот эффект будет только вблизи от УФ-лампы. Чем дальше находятся от УФ-лампы одноклеточные, тем меньше вероятности что они погибнут.

### Список литературы:

1. Макова А.А. Повышение эффективности очистных сооружений для нефтезагрязненных сточных вод / А.А. Макова, И.П. Криволапов, Н.Е. Макова // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: сборник материалов Международной научно-практической конференции 24-26 октября 2018 года / под общ. ред. В.А. Солопова. – Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ – 2018. – с. 64-71.
2. Макова А.А. Разработка способа доочистки и обеззараживания нефтезагрязненных сточных вод / А.А. Макова, И.П. Криволапов, Н.Е. Макова // Агротехнологии XXI века. «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова». – 2019 – с. 341-347
3. Макова Н.Е. Статистические свойства биометрических показателей / Н.Е. Макова, Э.Н. Аникьева, А.А. Аникьев // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 34. – № 2. – С. 20-29.
4. Автоматизированная система оценки урожайности сортов плодовых и ягодных культур по их морфометрическим индексам / А.А. Аникьев, Н.Е. Макова, Э.Н. Аникьева, А.А. Макова // Сб. тр. между. научно-практ. конф. «Робототехника в сельскохозяйственных технологиях». – Мичуринск: Издательство ООО «БИС». – 2014. – С. 52-57.
5. Проблемы утилизации отходов сельскохозяйственных производств и пути их решения / М.С. Колдин, И.П. Криволапов, С.И. Киселев, Т.Ю. Холопова // В сборнике: Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых Материалы научно-практической конференции с международным участием. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный аграрно-технологический университет имени П.А. Костычева». – 2018. – С. 45-49.
6. Завражнов А.И. Применение газоразделительных мембран при производстве ягодного сока функционального назначения / А.И. Завражнов, Е.

Кузнецова // International Journal of Engineering and Advanced Technology. - 2019. - Т. 9. - № 1. - С. 6616-6619.

7. Determination of the air purification efficiency when using a biofilter // I.P. Krivolapov, A.Yu. Astapov, D.V. Akishin, A.A. Korotkov, S.Yu. Shcherbakov // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – Т. 20. – № 11. – С. 232-239.



UDC 628.54

**ANALYSIS OF MODERN METHODS OF TREATMENT AND  
DISINFECTION OF INDUSTRIAL RAINWATER**

**Angela Alexandrovna Malikova**

Undergraduate

[aamakova@mail.ru](mailto:aamakova@mail.ru)

**Natalia Evgenievna Makova**

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

[nemakova@mail.ru](mailto:nemakova@mail.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The paper analyzes modern methods of purification, post-treatment and disinfection of industrial and rain wastewater, identifies the main pollutants and describes their adverse effects on humans.

**Key words:** wastewater treatment, disinfection methods, treatment facilities.