

## ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД НА ЛОКАЛЬНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СОРУЖЕНИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Степан Эпоян, Ирина Штонда<sup>1</sup>, Юрий Штонда<sup>2</sup>,  
Сергей Шаляпин, Татьяна Шаляпина<sup>3</sup>, Алексей Зубко<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40  
karagiaur@ramler.ru, shtonda@i.ua

<sup>2</sup>ООО «Водный проект КРЫМ»  
Украина 95004, АР Крым, г. Симферополь, ул. К. Маркса, 40  
shtonda-yurij@yandex.ru

<sup>3</sup>ООО «Харьковская электротехническая компания»,  
Украина, 61072, г. Харьков, пр. Ленина, 60  
vodogray@helco.com.ua

<sup>4</sup>ООО «НПФ ЭКВИК»  
Украина, 98500, АР Крым, г. Алушга, ул. В. Хромых, 29, оф. 5  
zubko@ekvik.com

**Аннотация.** Приведены данные по эффективному обеззараживанию сточных вод на локальных канализационных очистных сооружениях в АР Крым при использовании ультрафиолетового излучения.

**Ключевые слова:** локальные канализационные очистные сооружения, сточная вода, обеззараживание, хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое излучение.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время неэффективное обеззараживанию сточных вод на канализационных очистных сооружениях оказывает активное влияние на качество жизни населения, и это особенно заметно с ухудшением экологической обстановки в . Основным источником водоснабжения в Украине являются большие и малые реки. Более 70% населения Украины получает питьевую воду с поверхностных источников. В свою очередь, эти же реки являются общим коллектором для сброса и отвода сточных вод, от качества очистки и обеззараживания которых зависит качество воды, которую мы используем каждый день.

Согласно европейским стандартам сточные воды делятся на пять классов опасности. К первому и наименее опасному типу относятся сточные воды, в которых отсутствуют вредные для здоровья токсичные вещества, придающие воде неприятные привкусы и запахи. Ко второму типу относятся сточные воды, имеющие неприятные привкусы, запах и окраску. К третьему – те, что содержат довольно небольшое количество вредных веществ. К четвертому типу относятся сточные воды, содержащие ядовитые, канцерогенные или радиоактивные вещества. И, наконец, к пятому и особо опасному типу относятся сточные воды, содержащие большое количество возбудителей инфекционных заболеваний.

Микробиологическое качество сточных вод регламентируется следующими показателями [8]:

- вода не должна содержать возбудителей инфекционных заболеваний;
- коли-индекс сточных вод не должен превышать 1000 КУО/дм<sup>3</sup>;
- содержание колифагов не должен превышать 1000 БУО/дм<sup>3</sup>;
- вода не должна содержать жизнеспособных яиц гельминтов, онкосферы тениид и жизнеспособных цист патогенных кишечных простейших.

Практически все сточные воды содержат возбудителей таких опасных заболеваний как холера, дизентерия, тиф, сальмонеллез, вирусный гепатит, полиомиелит, энтеровирусные и аденовирусные инфекции, лямблиоз, лептоспироз, бруцеллез, туберкулез, гельминтозы и другие. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 65% населения земного шара имели инфекционные заболевания, обусловленные загрязнением водоемов, в том числе и сточными водами.

Учитывая большую эпидемиологическую опасность, очистные сооружения, на которых происходит очистка сточных вод, в обязательном порядке должны иметь специальное оборудование для обеззараживания очищенной сточной воды.

Обеззараживание сточных вод стоит менее остро в городах и поселках где имеются канализационные очистные сооружения. Но в селах, дачных кооперативах и пансионатах, лишенных возможности подключения к централизованной канализационной сети, где установлены и эксплуатируются локальные канализационные

очистные сооружения (септики, и т.п.), эта проблема стоит на первом месте [12].

На сегодняшний день в практике очистки сточных вод применяются три основных метода обеззараживания: хлорирование, озонирование и обеззараживание с помощью ультрафиолетового (УФ) излучения. Методы хлорирования и озонирования относятся к химическим методам обеззараживания. Принцип их действия основан на окислении оболочек клеток микроорганизмов, что приводит к их разрушению, и как следствие, к гибели самих микроорганизмов. Процесс обеззараживания длится не менее 30 минут, что требует наличия соответствующих реакционных камер, или достаточной длины коллектора, в котором будет проходить процесс обеззараживания. Метод УФ обеззараживания относится к физическим методам. Обеззараживание очищенной сточной воды происходит в результате мгновенного повреждения клеток микроорганизмов коротковолновым ультрафиолетовым излучением. Длительность обеззараживания составляет несколько секунд, что позволяет использовать этот метод без применения реакционных камер или контактных резервуаров и коллекторов. Кроме того, при ультрафиолетовом облучении сточных вод (в отличие от химических методов обеззараживания) происходит эффективное уничтожение таких опасных вирусов как гепатит, полиомиелит, а также энтеровирусов, аденовирусов и др. [10].

На эффективность обеззараживания сточных вод влияют следующие показатели:

- общее содержание в воде органических веществ;
- концентрация взвешенных веществ,
- начальная концентрация бактерий и вирусов;
- температура и водородный (для химических методов обеззараживания) показатель воды;
- количество реагентов, попадающих в воду, или количество энергии УФ излучения, которая поглощена микроорганизмами (величина дозы УФ излучения) и т.д.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Среди химических методов обеззараживания сточных вод наиболее распространённой в настоящее время является технология хлорирования. Широкое внедрение этой технологии обусловлено, прежде всего, её относительной простотой и небольшими эксплуатационными расходами. Для обеззараживания сточных вод используются как газообразный хлор  $Cl_2$ , так и гипохлорит натрия  $NaClO$  или диоксид хлора  $ClO_2$ . Широкое использование газообразного хлора и гипохлорита натрия обусловлено их доступностью и небольшой ценой. Обеззараживание сточных вод с помощью хлора или гипохлорита натрия обеспечивает достаточно высокую бактерицидную эффективность и низкие эксплуатационные

расходы. Однако их использование имеет недостаточно высокую эффективность в отношении вирусов, присутствующих в сточных водах. Более высокую эффективность в отношении вирусов имеет диоксид хлора  $ClO_2$ . При обработке воды диоксидом хлора процент выживших клеток, бактерий и вирусов гораздо меньше, чем при применении хлора в той же концентрации и при таком же времени контакта. Однако увеличение загрязнённости воды органическими соединениями и взвешенными веществами существенно уменьшает обеззараживающее действие хлора и его производных, что приводит к необходимости значительного (в несколько раз) повышения доз реагента. Кроме того, применение технологии обеззараживания сточных вод с помощью хлора и хлорсодержащих реагентов требует внедрения достаточно эффективных мер безопасности, что приводит к росту себестоимости обеззараживания. Кроме того, диоксид хлора имеет повышенную взрывоопасность и является достаточно дорогим реагентом.

Несмотря на высокую эффективность обеззараживания, хлорирование (при дозе остаточного хлора  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ ) не обеспечивает необходимой санитарно-эпидемиологической безопасности относительно присутствующих в сточных водах вирусов, цист простейших, лямблий и устойчивых к действию хлора форм микроорганизмов, что приводит к микробиологическому загрязнению городских систем водоотведения. Отрицательным свойством хлорирования также является образование таких опасных хлорорганических соединений как тригалогенметаны, хлорфенолы, хлорамины, а также различные диоксиды, образующиеся при взаимодействии хлорированной воды с фенольными соединениями, находящимися в сточных водах. Эти хлорорганические соединения обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью. Они обладают повышенной устойчивостью к биологическому окислению и не поддаются удалению при биологической очистке на очистных сооружениях.

В последние годы поднимается вопрос о необходимости полного отказа от хлорирования сточных вод при их очистке. Так, согласно действующим в Российской Федерации нормативным документам [4] по организации государственного санитарно - эпидемиологического надзора за обеззараживанием сточных вод, количество остаточного хлора в сточных водах, сбрасываемых в водоёмы, не должно превышать  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ . Но даже такое небольшое количество остаточного хлора оказывается очень токсичным для флоры и фауны водоёмов и приводит к практически полному прекращению процессов самоочищения этих водоёмов. Беспокойство, вызванное повышенной токсичностью следов остаточного хлора и хлораминов, диктует

необходимость снижения остаточной концентрации хлора до  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

Наряду с хлорированием для обеззараживания сточных вод также используется метод озонирования. При сравнении с методом обеззараживания сточных вод с помощью хлора озон имеет более сильное бактерицидное, вирулицидное и спороцидное действие. Он эффективно разрушает оболочки клеток бактерий, вирусов, спор, плесени, что приводит к их гибели. Благодаря высокому окислительному потенциалу озон вступает во взаимодействие со многими органическими веществами и обеспечивает их трансформацию в минеральные соединения. Однако применение озона для обеззараживания сточных вод имеет свои особенности. Так, при наличии в сточной воде достаточно высоких концентраций органических соединений в обработанной озоном воде могут образовываться токсичные вещества. Поэтому, обеззараживание сточных вод озоном целесообразно применять после ее предварительной очистки, обеспечивающей снижение содержания взвешенных веществ до  $3-5 \text{ мг/дм}^3$  и БПК<sub>полн</sub> до  $10 \text{ мг/дм}^3$ .

Принципиальные трудности при обеззараживании сточных вод озоном связаны с достаточно большими затратами электроэнергии, которая необходима для получения озона, сложностью электроразрядных озонаторов, низкой растворимостью озона в теплой воде, высокой токсичностью самого озона и возможностью образования токсичных побочных продуктов. Вследствие образования в воде органических соединений, которые являются питательной субстанцией для бактерий, озонирование сточных вод может способствовать вторичному росту микроорганизмов, что значительно снижает эффективность процесса обеззараживания. Как уже отмечалось, обеззараживание сточных вод озоном требует достаточно больших затрат электроэнергии, удельные расходы которой составляют от  $27-35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ кг}$  озона (полученного из осушенного воздуха) до  $43-57 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ кг}$  озона (который получен из неосушенного воздуха) [5]. Что приводит к достаточно высоким эксплуатационным расходам. Это резко ограничивает область применения озоновых технологий для обеззараживания сточных вод.

Применение озона для обеззараживания сточных вод становится целесообразным на заключительном этапе очистки сточных вод, когда для достижения обеззараживающего эффекта требуется значительно меньший расход озона или требуется получить более высокую степень очистки сточных вод и обеспечить обезвреживание присутствующих в воде токсичных соединений.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Практически все локальные канализационные очистные сооружения для очистки бытовых сточных вод в Украине, а также в странах СНГ, являются системами с биологической очисткой. Биологическая очистка сточных вод осуществляется при помощи микроорганизмов, которые окисляют органические загрязнения, присутствующие в сточных водах, при этом выделяя энергию. Наличие в бытовых сточных водах большого количества соединений азота и фосфора, при попадании их в поверхностные и подземные водные объекты, приводит к ухудшению качества воды и почв, и как следствие наличие нитратов в плодах растений произрастающих на этих почвах, а также развитию токсичных микроорганизмов в водоемах [2,3,7,9,13,20]. Для удаления с бытовых сточных вод соединений азота и фосфора применяются процессы нитрификации, денитрификации и биологического удаления азота.

Нитрификация – это микробиологический процесс, в ходе которого аммоний превращается в нитрит, а нитрит в конечном итоге – в нитрат. Нитрификацию осуществляет очень ограниченная группа автотрофных микроорганизмов. Процесс проходит в два этапа. На первом этапе аммоний окисляется до нитрита под действием бактерий, называемых *Nitrosomonas*. Затем нитрит окисляется до нитрата под действием другой группы бактерий – *Nitrobacter*.

Денитрификация – это процесс превращения нитрата в атмосферный азот под действием бактерий. При этом для окисления органических веществ используется не кислород, а нитрат. Денитрификация происходит там, где имеется нитрат и отсутствует (или почти отсутствует) кислород. Большинство денитрифицирующих бактерий – факультативные аэробы, т.е. при наличии кислорода они предпочитают его в качестве окислителя.

В процессе биологического удаления фосфора бактерии потребляют большие количества фосфата, который используется ими в качестве энергетического запаса, позволяющего разлагать субстрат в анаэробных условиях. Восполнение израсходованного фосфата происходит в аэробных и аноксидных условиях. В аэробных условиях количество потребленных из воды фосфатов больше, чем количество фосфатов, выделенное на предыдущем анаэробном этапе. Таким образом, разница между этими двумя величинами обуславливает эффективность удаления фосфора из сточных вод.

Для эффективной биологической очистки сточных вод в локальных канализационных очистных сооружениях [6,18,19] используются анаэробные, аэробные и аноксидные процессы. По способу применения этих процессов локальные канализационные очистные сооружения возможно разделить на две группы.

Первая группа – это локальные канализационные очистные сооружения в которых биологическая очистка бытовых сточных вод осуществляется в результате использования аэробных и анаэробных процессов в аэротенках при наличии достаточного количества растворенного кислорода. Данная группа локальных канализационных очистных сооружений эффективно удаляет с бытовых сточных вод соединения азота и органические загрязнения.

Вторая группа – это локальные канализационные очистные сооружения, в которых биологическая очистка бытовых сточных вод осуществляется в результате использования анаэробных процессов в септической зоне и аэробных процессов в аэротенках при наличии достаточного количества растворенного кислорода. Данная группа локальных канализационных очистных сооружений эффективно удаляет с бытовых сточных вод органические загрязнения, соединения азота и фосфора [11,14-17].

Учитывая общегосударственную направленность на внедрение эффективных технологий, для устойчивого обеспечения обеззараживания на локальных канализационных очистных сооружениях разработана система обеззараживания с помощью ультрафиолетового облучения, которая приводит к дезинфекции сточных вод и не способствует образованию в обеззараженной сточной воде опасных токсичных соединений.

УФ излучение является губительным для большинства присутствующих в воде

микроорганизмов. Особенно опасно УФ излучение действует на бактерии и вирусы, которые возбуждают такие опасные заболевания, как дизентерия, холера, тиф, туберкулез, вирусный гепатит, полиомиелит и другие. УФ обеззараживание сточной воды осуществляется за счёт прямого действия ультрафиолетовых лучей на клеточную и молекулярную структуру микроорганизмов, что вызывает разрушение молекул ДНК и повреждение оболочек клеток микроорганизмов, что приводит к их мгновенной гибели. Обеззараживание воды с помощью УФ излучения осуществляется без внесения в воду вредных химических соединений. Единственным условием применения метода УФ обеззараживания является правильно выбранная доза УФ облучения, т.е. количество ультрафиолетовой энергии, которая необходима для уничтожения находящихся в воде микроорганизмов.

Благодаря высокой эффективности обеззараживания и своей простоте технология УФ обеззараживания воды получает все большую популярность. Так, только в Северной Америке более 1500 муниципалитетов используют ультрафиолетовое облучение для обеззараживания сточных вод. Крупнейшая в мире станция УФ обеззараживания сточных вод, производительностью более 1 млн. м<sup>3</sup>/сут, расположена в г. Калгари (Канада). Технология УФ обеззараживания сточных вод начала активно применяться в России и Украине. Сравнительные дозы обеззараживания приведены на рис. 1 [1].

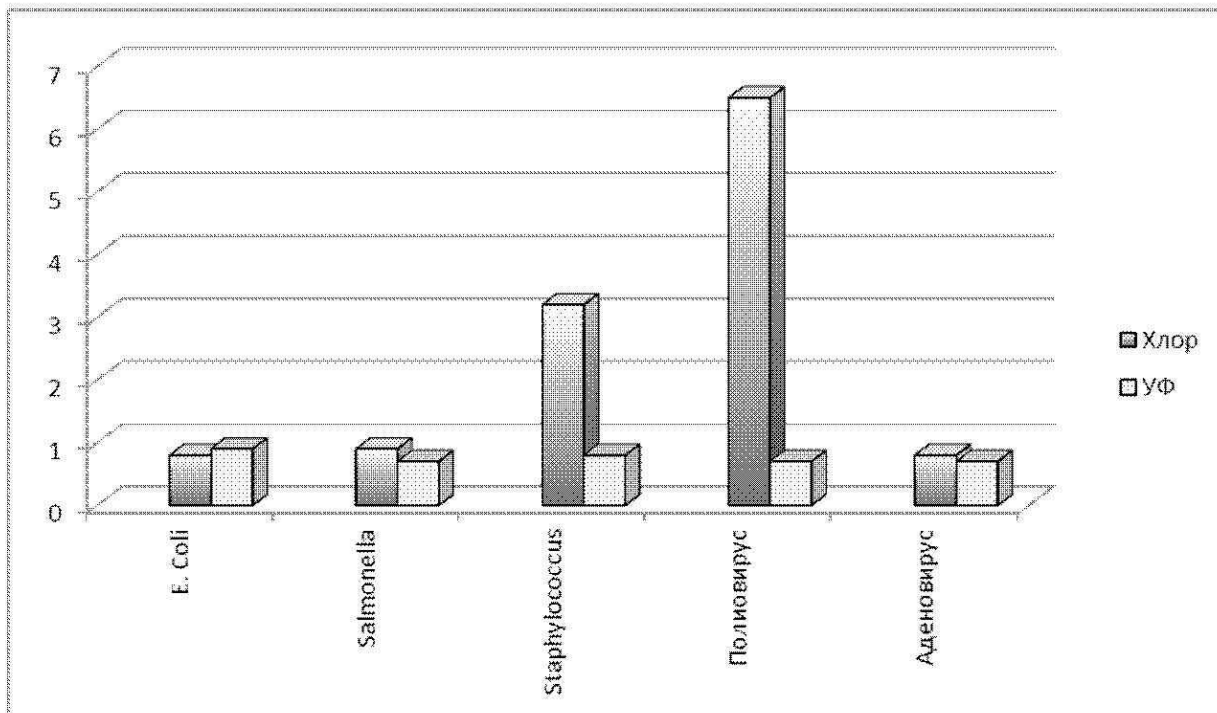


Рис. 1. Относительные дозы хлора и УФ облучения, которые необходимы для обеззараживания сточных вод [1]

Fig. 1. The relative doses of chlorine, and UV radiation required to disinfect waste water

Появление мощных и энергосберегающих источников УФ – излучения с достаточно большим ресурсом (более 16000 часов) и новые конструктивные решения УФ установок сделали этот метод конкурентоспособным, по сравнению с химическими методами обеззараживания, особенно при учете повышения устойчивости микрофлоры к воздействию на неё хлора, озона и ультрафиолета. За последние 15-20 лет устойчивость патогенной микрофлоры к влиянию на неё хлора повысилась в 5-6 раз, что с учётом дальнейшего повышения устойчивости микроорганизмов к обеззараживающим факторам, при проектировании очистных сооружений, необходимо закладывать повышенные дозы хлора или озона, что, безусловно, приведёт к дальнейшему загрязнению водоемов токсичными продуктами хлорирования и озонирования. Повышение дозы ультрафиолетового облучения с 20-30 мДж/см<sup>2</sup> до 40-100 мДж/см<sup>2</sup> в силу своей природы не окажет отрицательного воздействия на окружающую среду.

Опыт применения технологии УФ для обеззараживания сточных вод на локальных канализационных очистных сооружениях Южного берега Крыма показывает, что при использовании УФ излучения на лотковых установках В-1КС – В-4КС необходимо учитывать все факторы, влияющие на процесс дезинфекции. Установлено, что УФ излучение действует на вирусы намного эффективнее, чем хлор, и не приводит (в отличие от хлорирования или озонирования) к образованиям в сточных водах токсичных веществ, что в свою очередь делает целесообразным широкое внедрение

УФ технологий обеззараживания сточных вод на малых, средних и крупных очистных сооружениях.

Дальнейшее развитие технологий обеззараживания сточных вод способствовало появлению еще одного метода обеззараживания – так называемого комбинированного метода или технологии активного окисления (Advanced Oxidation Process). Суть этого метода заключается в совместной обработке воды ультрафиолетовым излучением и окислителем, таким как озон, пероксид водорода или гипохлорит натрия. Применение такой обработки воды позволяет не только обеспечить высокую эффективность уничтожения бактерий и вирусов, находящихся в воде, но и исключить загрязнение воды токсичными хлороорганическими соединениями. Кроме того, применение комбинации ультрафиолетового излучения с озоном, пероксидом водорода или гипохлоритом натрия обеспечивает снижение цветности воды, а также обеспечивает эффективное уничтожение грибов, плесени и размножающихся в воде водорослей (табл. 1).

При выборе метода комбинированной обработки воды особое внимание следует обращать на экономическую целесообразность и технологическую возможность его применения. Так, при применении для обработки воды УФ излучения и озона (УФ + О<sub>3</sub>) необходимо учитывать, что озон является токсичным и очень неустойчивым газом. В связи с чем, его необходимо получать непосредственно на месте эксплуатации обеззараживающего оборудования.

Таблица 1. Сравнительная таблица различных методов обеззараживания сточных вод  
Table 1. Comparative table of different methods of disinfection of wastewater

Показатели	Качественные показатели эффективности применения различных методов обеззараживания сточных вод						
	Cl <sub>2</sub> (NaOCl)	Озон (O <sub>3</sub> )	УФ	УФ + NaOCl	УФ + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	УФ + Озон	Озон + УФ + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Уничтожение бактерий	+	+	+	+	+	+	+
Уничтожение вирусов	-	+	+	+	+	+	+
Уничтожение простейших микроорганизмов	±	++	+	++	++	++	++
Образование токсинов	+	+	-	-	-	-	-
Окислительная способность	+	++	+	+	++	++	+++
Деструкция органических веществ, сине-зелёных водорослей, плесени и др.	+	++	++	++	++	++	+++
Снижение цветности воды и интенсивности её запахов	+	++	++	++	++	++	+++
Снижение ХПК и БПК	+	+	+	+	+	+	+
Увеличение прозрачности воды	±	++	+	++	++	++	+++
Наличие в воде остатков	++	-	-	±	-	-	-

хлорорганических веществ							
--------------------------	--	--	--	--	--	--	--

При этом необходимо соблюдать строгие меры безопасности, так как концентрация озона в зоне нахождения обслуживающего персонала не должна превышать предельно-допустимой концентрации (ПДК  $< 0,1 \text{ мг/м}^3$ ). Кроме того, получение озона связано со значительными энергозатратами ( $27\text{-}57 \text{ кВт}\cdot\text{год/кгO}_3$ ). Поэтому на средних и особенно крупных очистных сооружениях становится целесообразным применение вместо озона других окислителей, например, пероксида водорода или гипохлорита натрия, т.е. становится целесообразным применение метода обеззараживания воды, основанного на совместном действии ультрафиолетового облучения и пероксида водорода ( $\text{УФ} + \text{H}_2\text{O}_2$ ) или гипохлорита натрия ( $\text{УФ} + \text{NaOCl}$ ).

Пероксид водорода представляет собой бесцветную жидкость. Ввод в обеззараживаемую воду пероксида водорода производится с помощью широко распространенных дозирующих насосов, применяемых для введения в воду гипохлорита натрия. Принцип обеззараживания сточных вод методом комбинированной обработки ультрафиолетовым излучением и пероксидом водорода основан на явлении фотолиза пероксида водорода под действием УФ излучения. При ультрафиолетовом облучении пероксида водорода происходит его разложение и образование свободных радикалов  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $2\text{OH}\cdot$ , которые являются одними из самых сильных и экологически безопасных окислителей. Они способны разрушать достаточно стойкие органические соединения и микроорганизмы, в том числе такие, как цисты лямблий, споры грибов, плесень, водоросли и органические соединения, которые размножаются в воде и придают ей зеленоватый цвет и неприятный болотистый запах.

Образующиеся в результате фотолиза свободные радикалы не являются устойчивыми веществами, они быстро разлагаются на воду и кислород. Продолжительность рекомбинации свободных радикалов, которые образуются в воде в результате фотолиза пероксида водорода, не превышает несколько десятков минут. В результате чего концентрация остаточного пероксида водорода не превышает предельно допустимых значений:  $0,1$  и  $0,01 \text{ мг/дм}^3$  в водоёмах культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения соответственно. Следует заметить, что при применении комбинированного метода обеззараживания (Advanced Oxidation Process), расход озона или пероксида водорода, или гипохлорита натрия значительно меньше, чем при их раздельном использовании. Это положительно сказывается на себестоимости обеззараживания сточных вод.

Эффективность действия того или иного метода обеззараживания зависит от многих факторов, в том числе от начальной концентрации

взвешенных веществ, исходного количества бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, находящихся в воде, а также от других её показателей. На качество обеззараживания сточной воды влияет количество обеззараживающих реагентов, которые добавляются в воду, или величина дозы ультрафиолетового облучения. Все эти факторы влияют на экономические показатели процесса обеззараживания.

Для оценки себестоимости процесса обеззараживания сточных вод необходимо оценить удельные затраты, которые необходимо понести для осуществления обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод. Эти расходы состоят из стоимости хлора или гипохлорита натрия, стоимости их транспортировки к очистным сооружениям и эксплуатационных расходов (которые в свою очередь состоят из расходов на заработную плату обслуживающего персонала), расходов, связанных с обеспечением мер безопасной эксплуатации хлораторного или озонаторного оборудования и др.

Согласно действующим нормам расход хлора для обеззараживания  $1 \text{ дм}^3$  сточных вод составляет от  $5$  до  $10 \text{ мг}$  активного хлора. То есть, удельный расход активного хлора для обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод составляет от  $5$  до  $10 \text{ г/м}^3$ . Учитывая, что цена  $1$  тонны хлора составляет  $6500$  грн., а гипохлорита натрия  $3300$  грн./т (при массовом содержании активного хлора  $11\text{-}13\%$ ), стоимость хлора, который необходимо затратить для обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод составит  $0,032\text{-}0,065$  грн./ $\text{м}^3$ . Количество гипохлорита натрия, который необходимо использовать для обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод (при среднем массовом содержании активного хлора  $12\%$ ), будет в  $8,3$  раза больше, чем хлора. То есть, для обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод с помощью гипохлорита натрия необходимо потратить  $41,5\text{-}83$  грамм этого реагента. При этом удельная стоимость гипохлорита натрия, который необходимо использовать для обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод составит  $0,137\text{-}0,274$  грн./ $\text{м}^3$ .

Аналогично можно оценить себестоимость обеззараживания сточных вод озоном. Учитывая, что расход озона для обеззараживания сточных вод составляет от  $6$  до  $10 \text{ мгO}_3/\text{дм}^3$ , и то, что для получения  $1 \text{ кг}$  озона необходимо потратить от  $27$  до  $57 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  электроэнергии, можно оценить себестоимость процесса обеззараживания сточных вод озоном. Удельные затраты электроэнергии для осуществления процесса обеззараживания сточных вод составляют  $0,16\text{-}0,57 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3$  сточных вод. При стоимости электроэнергии, равной  $1,2$  грн./ $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ , стоимость электроэнергии, которая необходима для обеззараживания  $1 \text{ м}^3$  сточных вод, составит  $0,194\text{-}0,648$  грн./ $\text{м}^3$ . Оценивая затраты, связанные с эксплуатацией озонаторов в  $10\text{-}15\%$  затраченной электроэнергии, можно приблизительно оценить

себестоимость обеззараживания сточных вод озоном. Эта себестоимость составит 0,213-0,745 грн./м<sup>3</sup>.

При обеззараживании сточных вод ультрафиолетовым облучением основными факторами, которые влияют на себестоимость процесса обеззараживания, являются удельные расходы электроэнергии, ресурс УФ ламп, их стоимость и расходы, связанные с непосредственной эксплуатацией УФ оборудования. Учитывая, что удельные затраты электроэнергии для обеззараживания 1 м<sup>3</sup> предварительно очищенных сточных вод составляют от 20 до 30 Вт/м<sup>3</sup>, стоимость затраченной на обеззараживание 1 м<sup>3</sup> сточных вод электроэнергии составит 0,024-0,036 грн./м<sup>3</sup>. Учитывая цены на УФ лампы, их ресурс (9000-16000 часов), а также среднюю удельную производительность УФ ламп, которая при обеззараживании очищенных сточных вод составляет 0,04-0,05 м<sup>3</sup>/(Вт·ч), становится возможным оценить удельную стоимость УФ ламп, которая составляет 0,017-0,024 грн./м<sup>3</sup>. Также учитывая, что современные УФ установки практически не требуют обслуживания, эксплуатационными затратами которые связаны с их техническим обслуживанием можно пренебречь. Подсчитывая удельные расходы, связанные с затратами на используемую электроэнергию и закупку УФ ламп, можно сделать вывод, что удельные затраты на УФ обеззараживания предварительно очищенных сточных вод составляют 0,041-0,06 грн./м<sup>3</sup>. Что практически совпадает с удельными затратами обеззараживания очищенных сточных вод хлором и значительно ниже, чем при обеззараживании стоков гипохлоритом натрия или озоном.

Учитывая экологические, эксплуатационные и экономические аспекты обеззараживания сточных вод различными методами можно сделать вывод о перспективности применении метода обеззараживания сточных вод ультрафиолетовым облучением.

## ВЫВОДЫ

1. Для обеспечения экологической безопасности прибрежной зоны Черного и Азовского морей, предлагается для устойчивого и бесперебойного обеззараживания очищенной сточной воды, на примере локальных канализационных очистных сооружений Южного берега Крыма, использовать разработанные технические решения для обеззараживания очищенной сточной воды с помощью ультрафиолетового облучения.

2. Технология обеззараживания сточной воды УФ излучением является наиболее простой как в реализации, так и при обслуживании УФ оборудования. Применение метода УФ обеззараживания сточных вод полностью исключает

загрязнение окружающей среды, поверхностных и подземных вод хлором и хлорорганическими соединениями.

3. УФ облучения, в отличие от химических методов обеззараживания (хлорирования и озонирования) не изменяет химический состав воды и не оказывает вредного воздействия на окружающую среду, что в полной мере обеспечивает сохранность флоры и фауны водоёмов, в которые сбрасываются очищенные и обезвреженные сточные воды. Многочисленные исследования показали отсутствие вредного воздействия УФ излучения на воду при дозах облучения, которые намного превышают практически необходимые для её обеззараживания.

4. Применение комбинированных методов обеззараживания позволяет не только обеспечить высокую эффективность уничтожения находящихся в сточной воде бактерий и вирусов, но и исключить её загрязнение токсичными соединениями. При этом обеспечивается деструкция органических загрязнителей, а также эффективное уничтожение грибов, плесени и водорослей, которые размножаются в воде.

5. Эксплуатация обеззараживающих УФ установок значительно проще, чем станций, предназначенных для обеззараживания сточных вод хлорированием или озонированием, и не связана с применением высокотоксичных ядовитых веществ, которые негативно влияют на здоровье обслуживающего персонала. При этом полностью исключается возможность возникновения аварийных ситуаций, связанных с утечкой хлора. Это позволяет размещать станции УФ обеззараживания рядом с жилым сектором или зонами отдыха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бутин В.М., Волков С. В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Якименко А.В. Обеззараживание питьевой воды УФ – излучением. Водоснабжение, №12 – 96. – <http://www.waterland.ru>.
2. Василенко О.А., Грабовський П.О., Ларкіна Г.М., Поліщук О.В., Прогульний В.Й. 2010 Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення. – К.: ІВНВКП «Укреліотех». –212-219.
3. Гончарук Е.И., Давиденко А.И., Каминский Я.М., Кигель М.Е., Полищук Ю.С. 1974 Малогабаритные очистные сооружения канализации. – К.: – Будівельник. – 144-154.
4. Методические указания МУ 2.1.5.800 – 99: Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод. – Минздрав России, Москва 2000.
5. Очистка сточных вод озонированием. – <http://stroy-spravka.ru/ochistka-stochnykh-vod-ozonirovaniem>.

6. Пацай Ю.И., Штонда Ю.И., Штонда И.Ю. 2011 Локальные канализационные очистные сооружения для коттеджей и частных домов. // Научно-практический журнал «Вода і водоочисні технології». – Київ – №1. - 56 – 59.
7. Разумовский Э.С., Медриш Г.Л., Казарян В.А. 1986 Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. – М. : – Стройиздат. – 36-38, 60-73.
8. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН 4630 – 88.- М., 1998.
9. Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения: СанПиН 4631 – 88. – М., 1988.
10. Шаляпин С.М., Штонда Ю.И., Шаляпина Т. С. 2013 Застосування УФ опромінення для знезараження стічних вод на малих очисних спорудах. // Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – Київ – №2/13. – 14-19.
11. Штонда Ю.И., Зубко А.Л. 2010 Интенсификация очистки сточных вод на малогабаритных очистных сооружениях Крыма. // ВСТ. Водоснабжение и Санитарная Техника – Москва – Houstechnik. – № 9.- 8 – 12.
12. Штонда Ю.И., Зубко А.Л. 2011 Решение проблемы очистки сточных вод курортных городов (На примере Украины). // Производственный и научно-популярный журнал «ЖКХ. Экономика и управление предприятием ЖКГ». – Москва. — №5.- Ч. I. – 71-73.
13. Штонда Ю.И., Коломийцев Н.И., Фирсенков Ю.А., Штонда И.Ю. 2009 Влияние активной застройки на Экологическую безопасность и экосистему прибрежной зоны Черного моря в посёлках восточного региона Большой Алушты. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, V міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 7-11 вересня 2009 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер». – Т. 1. – 105 – 109.
14. Эпоян С.М., Михал Нос, Штонда Ю. И., Пацай Ю.И., Коваль С.П. 2013 Сооружения для очистки сточных вод рекреационного комплекса "Аян-Дере". // Научный вестник строительства. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - Вып. 71.- 376-379.
15. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л., Звягинцев Ю.М. 2010 Интенсификация работы малогабаритных канализационных очистных сооружений с использованием солнечной энергии. // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 12 C. – Simferopol – Lublin. – 315-321.
16. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л., Намяк Д.Е. Повышение эффективности работы малых канализационных очистных сооружений. // Сборник статей Международного конгресса и технической выставки ЭТЭВК-2013. Украина, АР Крым, г. Ялта, 01 – 05 июня 2013 г. – 270-274.
17. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Интенсификация очистки сточных вод на малых канализационных очистных сооружениях. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення // VII міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 12-16 вересня 2011 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер». 2011.- Т. 1. –323 – 326.
18. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю. И., Пацай Ю.И., Коваль С. П. 2012 Локальные канализационные очистные сооружения «AS-VARIOcomp» для частных домов и малых объектов водопользования. // Научный вестник строительства. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.- Вып.69.- 279-283.
19. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И. 2011 Локальные канализационные очистные сооружения для частных домов и малых объектов водопользования. // Научный вестник строительства. — Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - Вып.65.- 335-339.
20. S. Eporjan, I. Shtonda, Y. Shtonda, A. Zubko, Y. Zvyagintsev. 2011 Solar energy usage for the improvement of the treatment efficiency and operation stability at small-scale wastewater treatment plants. // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 13C. – Simferopol-Lublin. – 91-96.

#### DISINFECTION OF WASTE WATER ON THE LOCAL SEWAGE TREATMENT FACILITIES WITH USE ULTRAVIOLET RADIATION

**Summary:** the data of increase of efficiency disinfection of waste water on the local sewage treatment facilities of Crimea with use ultraviolet radiation.

**Key words:** local sewage treatment facilities, waste water, disinfection, chlorination, ozonization, ultraviolet radiation.