

УДК 621.315

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ахмедова О.О.

Камышинский технологический институт (филиала) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: kti@kti.ru

В статье рассмотрен комплексный подход к проблеме очистки сточных вод от биологически стойких органических загрязнений и тяжелых металлов. Перед вторичным использованием регенерированной воды необходимо обеспечить определённый уровень качества, особенно в отношении санитарно-гигиенических требований. Традиционные методы обработки воды, направляемой на сброс, для обеспечения такого качества недостаточны. Необходимы новые альтернативные технологий очистки и дезинфекции, при помощи которых удаётся снизить уровень содержания в воде микробов, питательных веществ, токсических веществ и выйти на требуемый уровень качества воды при относительно невысокой стоимости. Наиболее перспективными методами обеззараживания воды является: ультрафиолетовое облучение, озонирование, ультразвуковая и сверхвысокочастотная обработка. Однако использование в одной установке сразу четырех электрофизических методов воздействия связано с применением дорогостоящего оборудования, и высокими эксплуатационными затратами.

Ключевые слова: вторичное использование стоков, ультрафиолетовое, ультразвуковое, сверхвысокочастотное воздействие, озонирование

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF LOCAL WASTEWATER DISINFECTION INSTALLATION BY ELECTROPHYSICAL METHODS OF INFLUENCE

Akhmedova O.O.

Kamyshinsky institute of technology (branch) of federal public budgetary educational institution of higher education «Volgograd state technical university», Kamyshin, e-mail: kti@kti.ru

The article describes a comprehensive approach to the problem of wastewater treatment by biologically persistent organic pollutants and heavy metals. Prior to reuse of recovered water it is necessary to ensure a certain level of quality, especially with regard to health and sanitation requirements. Conventional water treatment methods directed to discharge are insufficient to ensure the quality required. New alternative technologies for treatment and disinfection are needed, by means of which we can succeed in reducing the levels of bacteria in the water, nutrients, toxic substances and reach a desired level of water quality at a relatively low cost. The most promising disinfection methods of contaminated water are: UV radiation, ozonation, ultrasound and microwave treatment. However, the application in a single unit of the four electrophysical methods at once is associated with the use of expensive equipment and high operational costs. Therefore, the most efficient use is possible in the case of a «directed» application to destruct contaminants.

Keywords: reuse of wastewater, ultraviolet, ultrasound, microwave exposure, ozonation

Перед вторичным использованием регенерированной воды необходимо обеспечить определённый уровень качества, особенно в отношении санитарно-гигиенических требований. Традиционные методы обработки воды, направляемой на сброс, для обеспечения такого качества недостаточны. Необходимы новые альтернативные технологий очистки и дезинфекции, при помощи которых удаётся снизить уровень содержания в воде микробов, питательных веществ, токсических веществ и выйти на требуемый уровень качества воды при относительно невысокой стоимости. Наиболее перспективными методами обеззараживания воды является: ультрафиолетовое (УФ) облучение, озонирование, ультразвуковая и сверхвысокочастотная (СВЧ) обработка. Однако использование в одной установке сразу четы-

рех электрофизических методов воздействия связано с применением дорогостоящего оборудования, и высокими эксплуатационными затратами. Поэтому наиболее эффективное использование возможно в случае «направленного» применения для деструкции загрязнений. Успешное решение этой задачи возможно при комплексном подходе, основанном на разработке эффективных технологических схемах и оборудования для применения комплексной очистки сточных вод от биологически стойких органических загрязнений и тяжелых металлов.

Определение параметров воздействия выбранных электрофизических методов на обеззараживаемую среду

Полихроматические лампы, используемые в ультрафиолетовых дезинфицирующе-

щих реакторах, излучают свет в широком диапазоне длин волн, уничтожающих бактерии. Оценка эффективности дезинфекции осложнена тем, что поглощение света водой и реакция микроорганизмов на излучение зависят от длины волны этого излучения. Таким образом, при заданных рабочих условиях ультрафиолетовый реактор может обеспечивать разные уровни дезинфекции в зависимости от вида микробов и от поглощающей способности воды для волн различного спектрального диапазона.

Под воздействием ультрафиолетового облучения не наблюдалось формирование новых продуктов или увеличение имеющихся в результате хлорирования. Напротив, отмечалось некоторое снижение концентрации (в среднем около 20%) всех обнаруживаемых хлороорганических соединений рис. 1.

Результаты исследования показали, что УФ-обеззараживание не оказывает влияние на токсичность воды. Имобилизованные дафнии не обнаруживались ни в одной пробе в течение первых 24 ч., а спустя 72 ч. их процент не достигал нижней границы определения токсичности (30%) [1].

Изучено влияние предварительного озонирования сточных вод, содержащих биологически стойкие органические загрязнения, на последующую биологическую очистку. По полученным результатам можно отметить, что скорость снижения показателя ХПК (химическое потребление кислорода) в обработанной озоном воде может увеличиваться в 2 раза по сравнению с необработанной. Это свидетельствует о том, что процесс биологической очистки, предварительно обработанной озонированием воды, протекает значительно интенсивнее и

с более глубоким окислением органических загрязнений.

На рис. 2 приведены зависимости био-разлагаемости от периода обработки воды: озоном, УФ-облучением и озон + УФ-облучение. Можно отметить, что наибольший эффект достигается при совместном воздействии озонирования и ультрафиолетового воздействия (био-разлагаемость увеличивается в 3 раза).

При воздействии ультразвука на жидкость возникают специфические физические, химические и биологические эффекты – кавитация, капиллярный эффект, диспергирование, эмульгирование, дегазация, обеззараживание, локальный нагрев и др. Для обеззараживания воды необходима его высокая интенсивность при частоте 20–50 кгц. Исследования обеззараживания воды ультразвуком показали, что для уменьшения общего микробного числа на три порядка необходима обработка воды ультразвуком в течение 60 с при плотности ультразвуковой мощности 400 Вт/л. [2]. При малом времени воздействия или при низких интенсивностях ультразвука количество микроорганизмов может увеличиться.

СВЧ-излучение сантиметрового диапазона длин волн слабо взаимодействует с диэлектрическими материалами, например керамика, стекло, но в тоже время очень сильно поглощается водой, которая является основным компонентом любого микроорганизма, в том числе спор бактерий и вирусов. Многие микроорганизмы имеют до 5 защитных оболочек, в связи с этим применения СВЧ-излучения, позволяющее производить «точечный» нагрев, не снаружи, а изнутри – за счет тепловой энергии, выделяющейся в объеме самого микроорганизма.

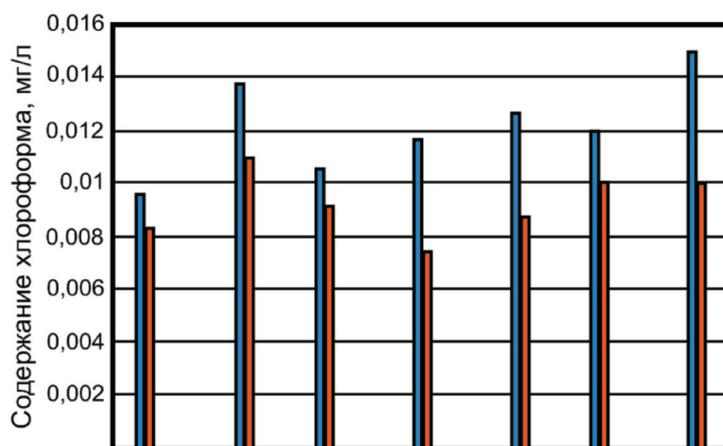


Рис. 1. Концентрация хлороорганических соединений
 ■ – до УФ-облучения; ■ – после УФ-облучения

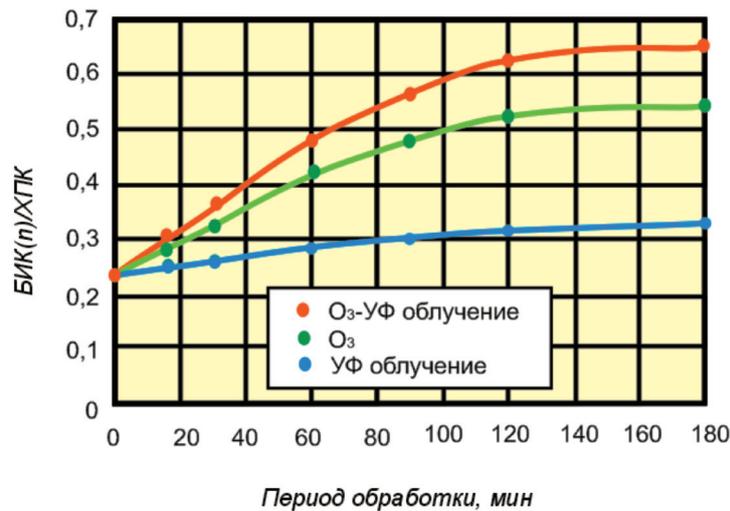


Рис. 2. Изменение биоразлагаемости в зависимости от периода обработки сточной воды УФ-облучением и озонированием

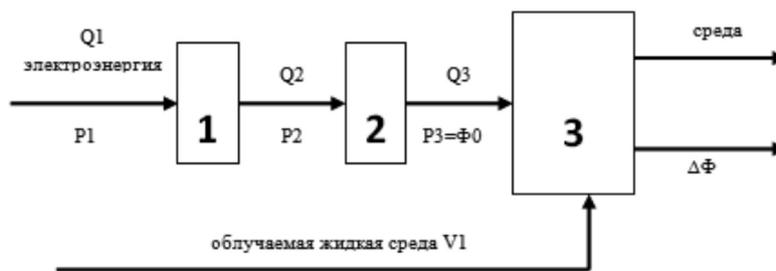


Рис. 3. Структурная схема энергетической линии реализуемая в УФ-установках:
 1 – пускорегулирующее устройство; 2 – УФ – лампа; 3 – энерготехнологический процесс (ЭТП), $Q1, Q2, Q3$ – энергия; $P1, P2, P3$ – электрическая мощность; $\Delta Q12, \Delta Q23$ – потери энергии; Φ_0 – бактерицидный поток поступающий к обрабатываемой жидкости; $\Delta \Phi$ – потери бактерицидного потока; $V1$ – объем жидкости поступающий на обработку УФ – потоком; $V2$ – объем обработанной жидкости, представляющий собой продукт ЭТП

Согласование основных параметров локальной установки очистки сточных вод

Метод УФ-обеззараживания жидких сред основан на осуществлении технологических процессов в бактерицидных установках, в которых излучение используется как специфический энергетический фактор и в которых применяются электрические источники излучения. Данные процессы относятся к оптическим электротехнологиям (ОЭТ), которые характеризуются большим количеством энергопреобразований по пути от сети до объекта. Так же, энергия электромагнитного излучения весьма специфична, она обеспечивает перенос энергии на расстояние без переноса вещества, отличается своими законами генерации, распро-

странения и поглощения. Все это приводит к дополнительным существенным потерям энергии при получении электромагнитного излучения, его преобразовании, передаче к объекту, а также в самом объекте при обеспечении технологического эффекта.

$$\eta_{\text{ист}} = \frac{\Phi_0}{P_2} \quad (1)$$

где Φ_0 – поток излучаемый лампой в спектральном диапазоне $\lambda = 205...315\text{нм}$, Вт.

Электрическая энергия в УФ-установках, перед тем как дойти до ЭТП в виде энергии электромагнитного излучения, проходит 2 элемента энергетической линии, элементы 1 и 2 на рис. 3. Каждый элемент линии обладает определенной эффективностью передачи энергии. Для элемента 1 (рис. 3) она опреде-

ляется как отношение $P2 / P1$, представляет собой КПД $\eta_{\text{пра}}$ пускорегулирующего устройства и составляет порядка 0,9. Элемент 2 (рис. 3) – это источник бактерицидного излучения, который в УФ-установках может применяться двух типов: в виде ртутной лампы низкого давления (РЛДЦ), либо ртутной лампы высокого давления (РЛВД). Эффективность его работы определяется выражением (1) и составляет для РЛНД $\eta_{\text{рлнд}} = 0,4$ [3], для РЛВД $\eta_{\text{рлвд}} = 0,1$ [3].

В результате получаем, что к ЭТП приходит не более 36% энергии от потребленной $Q1$, при использовании РЛНД, и не более 9%, в случае использования ртутной лампы высокого давления (РЛВД).

Качество обеззараживания жидкости УФ-потокотом зависит от того, насколько равномерно облучен и каждый элементарный объем среды до требуемого значения объемной бактерицидной дозы облучения $Q_{\text{в}}^{\text{уд}}$, при которой происходит гибель контрольного микроорганизма. Величина $Q_{\text{в}}$ определяется выражением (2).

$$Q_{\text{в}} = \frac{\Phi_{\text{бк}} \cdot t}{V} \quad (2)$$

где $\Phi_{\text{бк}}$ – бактерицидный поток, Вт; t – длительность облучения, с; V – объем облучаемой среды, м³.

На равномерность облучения каждого элементарного объема жидкости до требуемого значения $Q_{\text{в}}^{\text{уд}}$ оказывает влияние распределение пространственной плотности энергии излучения в ней.

$$I_{\text{h}} = I_0 \cdot e^{-a \cdot h} \quad (3)$$

где h – толщина слоя, см; I_0, I_{h} – интенсивности волны излучения на верхней и нижней границах слоя, кд; a – коэффициент ослабления потока в слое среды, см⁻¹.

Для монохроматического потока она связана интенсивностью, убывает, которая при прохождении плоскопараллельного пучка в среде в соответствии с законом Бугера.

От величин I_0, I_{h} можно перейти к величинам Φ_0, Φ_{h} (где Φ_{h} – бактерицидный поток на нижней границе слоя), учитывая то, что поток Φ_0 имеет узконаправленное распространение в среде. Энергетику работы УФ-установок, а следовательно и всего ЭТП реализуемого в них, можно охарактеризовать, согласно, коэффициентом полезного использования электрической мощности КПИ_р:

$$\text{КПИ}_{\text{р}} = \eta_{\text{ист}} \cdot \left(1 - \frac{\Phi_0 - \Phi_{\text{бкТ}}}{\Phi_0} \right) = \eta_{\text{ист}} \cdot \Phi_{\text{бкТ}}^* \quad (4)$$

Данное выражение показывает, что эффективность использования электроэнергии в облучательных установках, к которым

относятся УФ-установки для обеззараживания жидких сред, зависит не только от уровня ее совершенства преобразования в поток Φ_0 , но и от распределения его в пространстве в соответствии с особенностями объекта и технологическими требованиями.

Известно, что отдельное использование УФ излучение не обеспечивает требуемую степень обеззараживания сточных вод, так как воздействует только на поверхность, а бактерии и споры, покрытые тонким внешним слоем, непрозрачным для УФ излучения, остаются жизнеспособными, следовательно необходимо произвести согласование данных методов воздействия и произвести расчет основных параметров СВЧ, таких как напряженность электрического поля и потребляемая мощность, при которой происходит полная инактивация микроорганизмов.

Рабочая камера, в которой происходит СВЧ-излучение, является электродинамической системой, в которой должны обеспечиваться:

1. Необходимая мощность и структура электромагнитного поля;
2. Реализация требуемых температурных режимов;
3. Выполнение требований в процессе обеззараживания сточных вод.

При расчёте рабочей камеры, основной задача – это согласование рабочей полосы частот резонатора и генератора, так как рабочая камера резонаторная, конструкция которой должна обеспечивать равномерный нагрев в любой части внутреннего объёма. При заполнении резонаторной камеры сточными водами полностью резко падает её нагрузочная добротность, так как сточные воды обладают высоким значением диэлектрической проницаемости и большими потерями, следовательно, согласовать ввод энергии, обеспечивающий полную передачу СВЧ-излучения от генератора в объём сточных вод проще. В качестве объёмного резонатора используются замкнутые замкнутые с обоих концов стенками отрезки волновода круглого или прямоугольного поперечных сечений, длиной равному целому числу полуволн в волноводе.

В объёмных резонаторах отсутствуют потери в диэлектрике и на излучение, так же они обладают малой величиной потерь в металлических стенках, что приводит к высокой собственной добротности Q_0 . Собственную добротность резонатора в СВЧ диапазоне можно рассчитать:

$$Q_0 = \frac{2V}{\Delta \cdot S} \quad (5)$$

где V – объём резонатора, S – площадь внутренней поверхности стенок резонатора, м², Δ – толщина поверхностного слоя, мкм.

Возбуждающее устройство (открытый конец волновода) располагаем на стенке рабочей камеры, так как необходимо передавать в непрерывном режиме в рабочую СВЧ камеру мощность высокого уровня.

Произведем расчет напряженности электрического поля СВЧ излучения, необходимой для уничтожения микроорганизмов путем непосредственного эндогенного нагрева содержащейся в них воды, по методике Корчагина Ю.В.

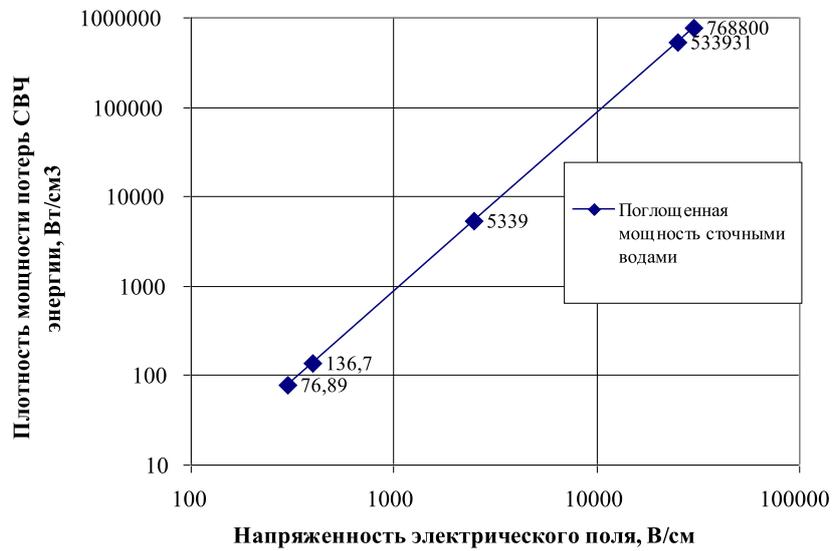


Рис. 4. Изменения объёмной плотности мощности потерь СВЧ энергии в зависимости от напряженности электрического поля

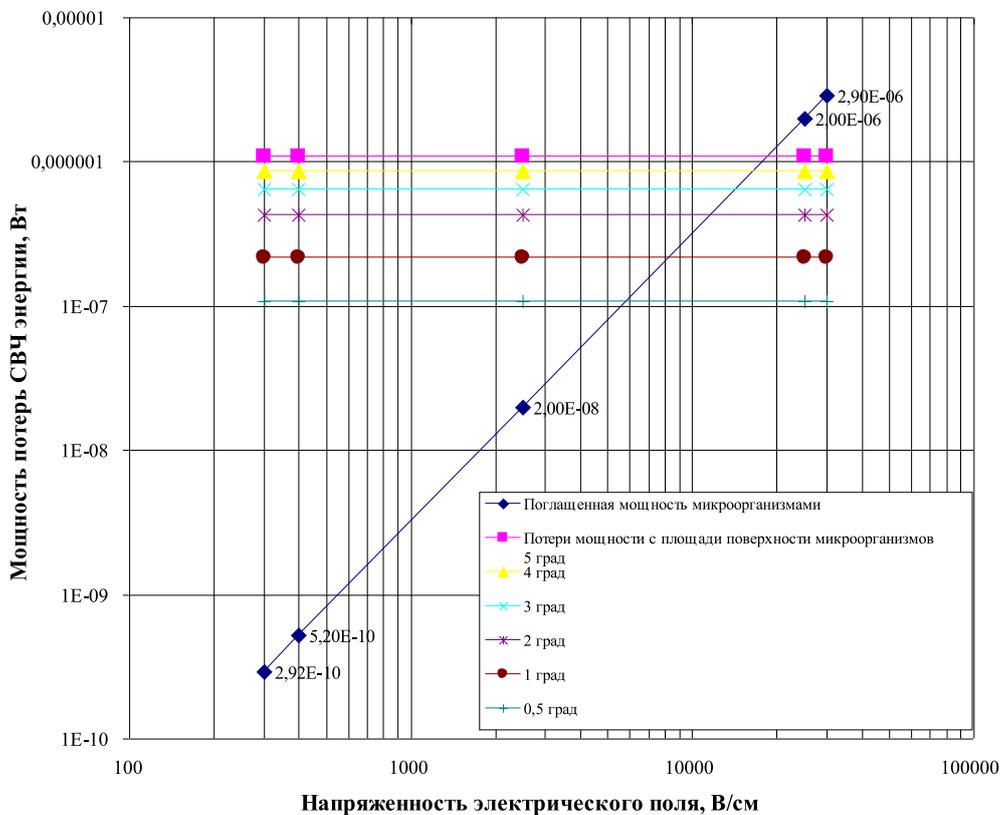


Рис. 5. Зависимость мощности потерь СВЧ-энергии от напряжённости электрического поля

Оценим поглощающую способность сточных вод:

$$P_{уд} = \frac{E^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot \operatorname{tg}\delta}{4\pi} \quad (6)$$

где $P_{уд}$ – объёмная плотность мощности потерь энергии СВЧ поля, Вт/см³, E – напряженность электрического поля СВЧ излучения, В/см, ε – относительная диэлектрическая проницаемость сточных вод ($\varepsilon = 78,8$), $\operatorname{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta = 0,1$), ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), ω – угловая частота СВЧ излучения ($\omega/2\pi = 2,45 \cdot 10^9$ Гц).

График изменения объёмной плотности мощности потерь СВЧ энергии в зависимости от напряженности электрического поля представлен на рис. 4.

Рассчитаем критическую напряженность электрического поля, при которой обеспечивается достаточный нагрев микроорганизмов для их инактивации.

$$\begin{aligned} E_{кр} &\geq \sqrt{\frac{4\pi \cdot \lambda \cdot S \cdot \Delta T}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \omega \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot V}} = \\ &= \sqrt{\frac{4 \cdot \lambda \cdot 6 \cdot r^2 \cdot \Delta T}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \cdot f \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot r^3}} = \\ &= \sqrt{\frac{12 \cdot \lambda \cdot \Delta T}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot f \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot r^2}} \quad (7) \end{aligned}$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, S – площадь поверхности образца, ΔT – перепад температуры между образцом и окружающим воздухом, f – частота электромагнитного поля.

СВЧ нагрев позволяет значительно сократить время обеззараживания сточных вод. На скорость нагрева влияет в основном пробивная напряженность воздуха, равная 30 кВ/см, значение допустимой напряженности в образце воды должно быть меньше половины пробивной напряженности – 15 кВ/см. При повышении частоты происходит уменьшение напряженности электрического поля, при условии неиз-

менной интенсивности нагрева, но это ведет к уменьшению объема рабочей камеры, снижению к.п.д. генератора и к возрастанию потерь на излучение.

Такая напряженность электрического поля позволяет добиться примерного равенства между поглощаемой и отдаваемой за счёт теплового излучения и теплопередачи энергии микроорганизмов, т.е. в таком электрическом поле становится возможным сильный нагрев микроорганизмов, для их инактивации. Зависимость мощности потерь СВЧ-энергии от напряженности электрического поля представлены на рис. 5.

Выводы

Для наиболее эффективного применения обеззараживания сточных вод необходимо использовать «направленное» применение для деструкции загрязнений. Успешное решение этой задачи возможно при комплексном подходе, основанном на разработке эффективных технологических схемах и оборудования для применения комплексной очистки сточных вод от биологически стойких органических загрязнений и тяжелых металлов.

Список литературы

1. Алексеев С.Е. Применение озонирования для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод // Водоочистка. – 2007. – № 2. – с. 23–27.
2. Ахмедова О.О., Сошинов А.Г., Степанов С.Ф. Разработка схемы локальной установки очистки сточных вод с определением оптимальной последовательности воздействия электрофизических методов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/102-5601>.
3. Костюченко С.В., Васильев С.А., Волков С.В., Якименко А.В. Требования к современному оборудованию для обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым излучением // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – № 11. – С. 11–13.
4. Костюченко С.В., Волков, С.Г. Зайцева Применение УФ-обеззараживания на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // ВСТ. – 2005. – № 12, ч. 1. – С. 23–27.
5. Пономорёв А.Н., Новикова Г.Н. Обоснование оптимальных режимов обработки молока в электромагнитном поле. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и соискателей «Наука нового века – знания молодых», посвященное 80-летию Вятской ГСХФ / Пономорёв А.Н., Новикова Г.Н. – Киров: ФГОУ ВПО «Вятская ГСХА, 2010. – С. 24–25.