

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ

Ахмедова О.О., Сошинов А.Г., Бахтиаров К.Н.

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Камышин, Россия (403870, г. Камышин, ул. Ленина, 6а) epp@kti.ru.

В настоящее время уровень загрязнённости окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека в густонаселённых местах достигает критической отметки. В населённых пунктах, где не имеется подключения к существующей централизованной канализационной сети, возникает проблема в использовании локального электротехнического комплекса водоочистки, способного производить очистку вод от хозяйственных стоков с высокой степенью очистки. Вторичная утилизация уже использованной воды сокращает уровень загрязнения природных массивов, принимающих сточные воды. На вторичное использование могут направляться как бытовые стоки, так и городские и промышленные. 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 технологии 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. Успешное решение этой задачи возможно при комплексном подходе, основанном на разработке эффективных технологических схем и обосновании параметров и режимов работы электрофизической системы очистки сточных вод от биологически стойких органических загрязнений для вторичного использования её в системах орошения.

Ключевые слова: вторичное использование воды, обеззараживание сточных вод, ультрафиолетовое воздействие, имитационная модель.

DEVELOPMENT OF AN ELECTROTECHNICAL COMPLEX OF SEWAGE TREATMENT FOR THE PURPOSE OF REDUCTION OF CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY AND AN INTENSIFICATION OF PROCESS OF CLEANING

Akhmedova O.O., Soshinov A.G., Bakhtiarov K.N.

Kamyshinsky institute of technology (branch) of VolgGTU, Kamyshin, Russia (403870, Kamyshin, Lenin's street, 6a) epp@kti.ru.

Now level of impurity of environment waste products of the person in densely populated places reaches a critical point. In settlements where there is no connection to the existing centralized sewer network, there is a problem in use of a local electrotechnical complex of the water purification, capable to make purification of waters of household drains with high extent of cleaning. Secondary utilization of already used water reduces level of pollution of the natural massifs accepting sewage. On recycling can go both household drains, and city and industrial. Before recycling of the regenerated water it is necessary to provide a certain level of quality, especially in the relation sanitary and hygienic requirements. Traditional methods of processing of the water directed on dumping, are insufficient for ensuring such quality. New cleanings alternative technologies and disinfection by means of which it is possible to lower level of the content in water of microbes, nutrients, toxic substances are necessary and to come to a demanded level of quality of water at rather low cost. The successful solution of this task possibly at the integrated approach based on development of effective technological schemes and justification of parameters and working hours of electrophysical system of sewage treatment from biologically permanent organic pollution for its recycling in systems of an irrigation.

Keywords: water recycling, disinfecting of sewage, ultra-violet influence, imitating model.

Вторичная утилизация уже использованной воды сокращает уровень загрязнения природных массивов, принимающих сточные воды.

На вторичное использование могут направляться как бытовые стоки, так и городские и промышленные. Вторичное использование решается при условии, если будет обеспечена

полная экологическая безопасность (т.е. такое использование не должно наносить ущерб сложившейся экосистеме, почве и культурным растениям), а также исключён всякий риск для местного населения в санитарно-гигиеническом отношении. Таким образом, очень важно, чтобы в рамках любого такого проекта тщательно соблюдались требования действующих нормативных документов в части охраны здоровья и безопасности, а также действующие отраслевые нормы и правила для промышленности и сельского хозяйства [2].

В большинстве случаев, чтобы воду можно было направить на вторичное использование, требуется её предварительная очистка. Выбор степени такой очистки определяется установленными требованиями санитарно-гигиенической безопасности и стоимостными параметрами.

В соответствии с постановлением 185/2003 в отношении использования регенерированной воды выделяются три основные категории:

- 1) системы орошения: полив культурных растений, предназначенных для производства пищевых продуктов для потребления человеком и домашними животными, а также продуктов непродовольственной сферы, полив участков озеленения, садово-парковых зон и спортивных объектов;
- 2) гражданское назначение: мойка мостовых и тротуаров населённых пунктов, водоснабжение отопительных сетей и сетей кондиционирования воздуха, водоснабжение вторичных распределительных сетей (отдельно от питьевого водопровода) без права непосредственного использования такой воды в зданиях гражданского назначения за исключением систем слива туалетов и санузлов;
- 3) промышленное назначение: снабжение систем пожаротушения, производственных контуров, моечных систем, термических циклов производственных процессов с исключением областей применения, предусматривающих контактирование вторичной регенерированной воды с пищевой, фармацевтической и косметической продукцией [2].

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 технологии 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.

Успешное решение этой задачи возможно при комплексном подходе, основанном на разработке эффективных технологических схем и обосновании параметров и режимов рабо-

ты электрофизической системы очистки сточных вод от биологически стойких органических загрязнений для вторичного использования её в системах орошения.

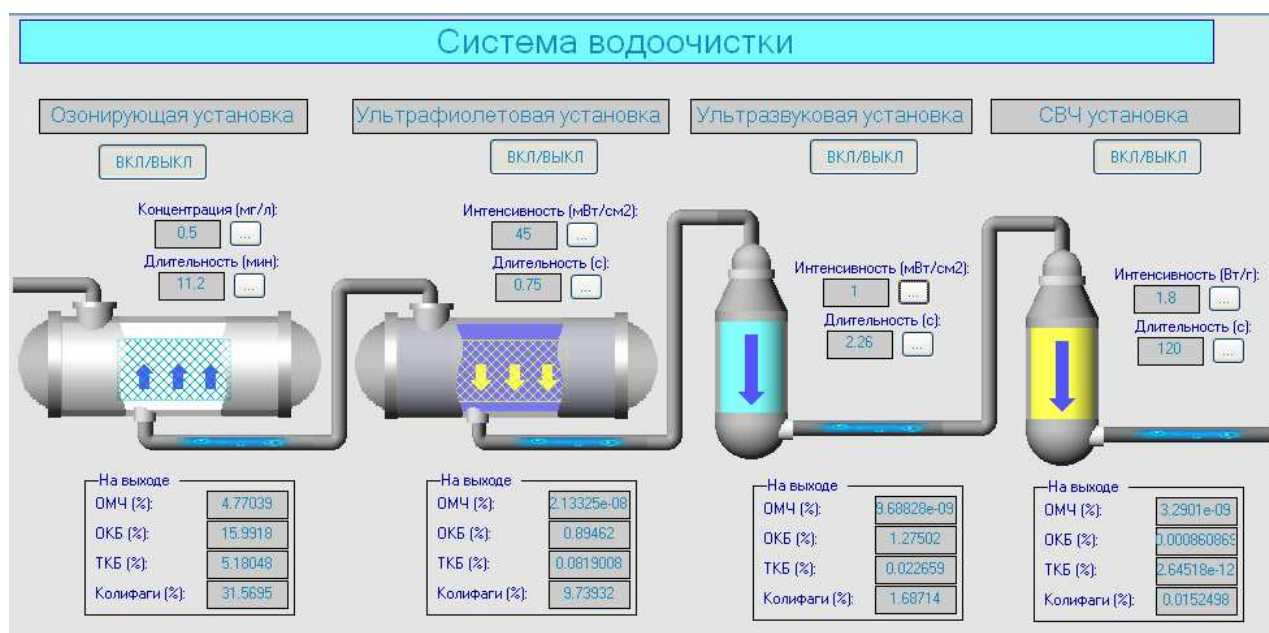


Рис. 1. Имитационная модель электротехнического комплекса очистки сточных вод с выводом процентного снижения численности патогенов при использовании оптимальных параметров

Рассмотрим имитационную модель электротехнического комплекса очистки сточных вод с последовательным соединением блоков воздействия (рис. 1). Параметры состояния имитационной модели отображают процент выживших микроорганизмов от общего числа патогенов, для ОМЧ, ОКБ, ТКБ начальное число болезнетворных бактерий равно 10000 шт. в 100 мл, а колифагов 100 шт. в 100 мл, поэтому для удобства восприятия далее перейдем от процентного соотношения к количественному показателю.

Общее микробное число снизилось до величины менее $3,29 \cdot 10^{-7}$ КОЕ/мл в очищенной воде, аналогичные результаты были достигнуты и по остальным индикаторным показателям: количество общих колиформных бактерий на выходе установки составило 0,086 КОЕ/100 мл, термотолерантных бактерий - $2,6 \cdot 10^{-10}$ КОЕ/100 мл, а колифагов - 0,015 БОЕ/100 мл. При этом энергозатраты для каждого блока составят: озонирующая установка - 25 Втчас, ультрафиолетовая установка - 85 Втчас (энергопотребление при продолжительности воздействия 0,75 с и интенсивности 45 мВт/см² составит 1,7 Втс/м²), ультразвуковая установка - 1,2 Втчас (энергопотребление при продолжительности воздействия 2,26 с и интенсивности 1 мВт/см² составит 0,0752 Втс/м²), СВЧ-установка - 211,7 Втчас (энергопотребление при продолжительности воздействия 120 с и интенсивности 1,8 Вт/г составит - 6,96 Втс).

При разработке электротехнического комплекса использовалось понятие вектора Умова – Пойтинга.

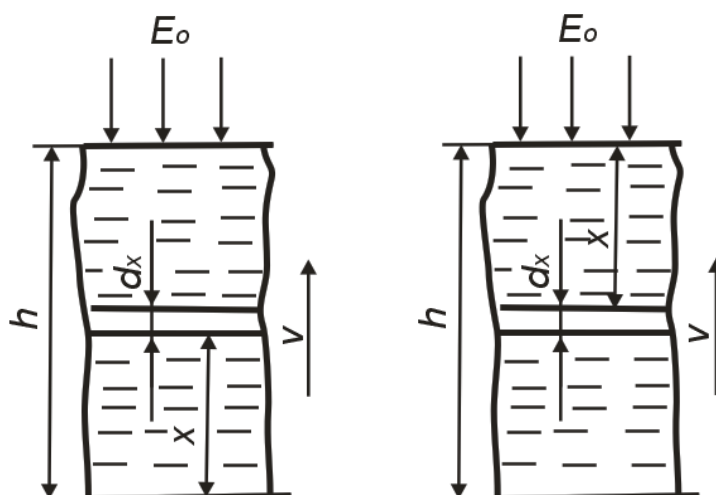
$$-\frac{dQ}{dt} = \oint_S \mathbf{K} \cdot \cos \alpha dS, \quad (1)$$

где \mathbf{K} - вектор Умова-Пойтинга, S - поверхность, ограничивающая объем, m^2 ; $\mathbf{K} \cos \alpha$ - нормальная составляющая вектора по точкам поверхности.

Из выражения (1) можно определить мощность излучения, приходящуюся на определённый объём среды, равную разности потоков втекающей в объём и вытекающей из него энергии. Для создания энергосберегающей технологии необходимо реализовать в ней условие, при котором энергия ультрафиолетового излучения полностью поглощается объёмом облучаемой среды.

Если вектор скорости перемещения сточной воды направить перпендикулярно плоскому волновому фронту, то тогда энергия, поглощенная каждым элементарным объёмом, будет находиться при помощи интегрирования не только по времени воздействия (зависит от скорости), но и по потоку облучения, который является функцией пространственных координат. Значение указанного интеграла при движении среды без локальных взаимных смещений элементарных объёмов будет для каждого из них одинаковым, что, по существу, и является решением проблемы обеспечения равномерности облучения всего объема облучаемой среды. Следовательно, технологическая схема должна отвечать требованию локализации электромагнитной энергии в виде потока с плоским волновым фронтом и направлением движения обеззараживаемой среды в пространстве локализации электромагнитной энергии перпендикулярно волновому фронту облучающего потока.

На рис. 2 представлены технологические схемы, в которых жидкость, не перемешиваясь, поднимается вверх, навстречу потоку излучения (а) и, наоборот, опускается от источника излучения (б).



а)

б)

Рис. 2. Расчётные схемы облучения обеззараживаемой жидкости, движущейся навстречу потоку излучения (а) и в одном с ним направлении (б)

Данные технологические схемы являются универсальными, так как в них могут облучаться жидкости с разными показателями поглощения ультрафиолетового потока α , и даже жидкости, характеризующиеся переменным по глубине эффективным показателем поглощения, из-за перехода с глубиной проникновения от направленного к рассеянному излучению.

Схемы на рис. 2 дают одинаковые результаты, если эффект пропорционален только дозе излучения. Однако закон возрастания получаемого элементарным слоем жидкости дозы облучения по координате «х» в процессе её прохождения через фотореактор будет различным для рассмотренных схем и определяется выражениями [2]:

$$u(x) = \frac{E_0}{v} \cdot (e^{-a(h-x)} - e^{-a \cdot h}) \quad (2)$$

$$u(x) = \frac{E_0}{v} \cdot (1 - e^{-a \cdot x}) \quad (3)$$

Сравнивая выражения (2) и (3), видно, что в первом случае доза облучения набирается плавно, с возрастающей скоростью, а при движении обеззараживаемой жидкости в одном направлении с потоком УФ-облучения скорость нарастания дозы в начальный момент максимальна, а затем уменьшается до нуля. Данные отличия необходимо учитывать, выбирая более эффективную схему для ультрафиолетового обеззараживания среды.

Воздействие излучения на жидкость характеризуется сложной закономерностью технологического процесса от u . Количество бактерий в единице объёма, оставшихся после облучения, определяется выражением:

$$N_{\text{бк}} = N_{\text{бн}} \cdot e^{\frac{-E_{\text{б}} \cdot t}{H_{\text{бл}}}} \quad (4)$$

где $N_{\text{бн}}$ – исходная плотность микроорганизмов одного вида (количество микроорганизмов в единице объёма среды), шт/л.; $N_{\text{бк}}$ – остаточная плотность микроорганизмов одного вида в единице объёма среды, шт/л.; $E_{\text{б}}$ – бактерицидная облучённость, Вт/м²; $H_{\text{бл}}$ – поверхностная бактерицидная доза, при которой происходит прекращение жизнедеятельности микроорганизмов индикаторов, бк·с/см².

Данное выражение получено из уравнения кинетики гибели бактерий при воздействии на единицу объёма среды потока излучения Φ :

$$\frac{dN_{\text{бк}}}{dt} = -\frac{\Phi}{H_{\text{бл}}} \cdot N_{\text{бн}} \quad (5)$$

Поток излучения, поглощаемый единицей объёма облучаемой среды, зависит от координаты «х» расположения слоя по высоте реактора. Учитывая, что $\Phi \cdot dt = du$, после интегрирования дифференциального уравнения (5) получаем:

$$N_{\bar{\sigma}_k} = N_{\bar{\sigma}_h} \cdot e^{-\frac{u(x)}{H_{\bar{\sigma}_l}}} \quad (6)$$

Обе схемы облучения, представленные на рис. 2, дадут одинаковые интегральные результаты, так как движение облучаемой жидкости $u(h)$ одинаково. Подставляя в уравнение (6) выражения (2) и (3) для двух вариантов схем ультрафиолетового воздействия и переходя к безразмерным координатам, соответственно получаем зависимости относительной концентрации бактерий от координаты "х" фотореактора в процессе обеззараживания:

$$N'_{\bar{\sigma}_k}(x') = e^{-g \cdot (e^{-D(1-x')} - e^{-D})} \quad (7)$$

$$N'_{\bar{\sigma}_k}(x') = e^{-g \cdot (1 - e^{-D \cdot x'})} \quad (8)$$

где $g = E_0 / (v \cdot N_0)$ - задаваемая относительная объемная плотность дозы облучения; $x' = x / h$ - текущая относительная глубина.

Степень обеззараживания жидкости при оптической толщине $D > 5$ определяется выражением

$$\psi = 1 - N'_{\bar{\sigma}_k} = e^{-\frac{E_0}{v \cdot H_{\bar{\sigma}_l}}} \quad (9)$$

Таким образом, при УФ-обеззараживании жидких сред по рассматриваемой технологической схеме скорость движения жидкости определяется по выражению (9) при заданных необходимых значениях степени стерилизации ψ и пороговой дозы $N_{\bar{\sigma}_l}$:

$$v = -\frac{(1 - \rho) \cdot E_0}{H_{\bar{\sigma}_l} \cdot \ln \psi} \quad (10)$$

где ρ - интегральный коэффициент отражения излучения поверхностью жидкости.

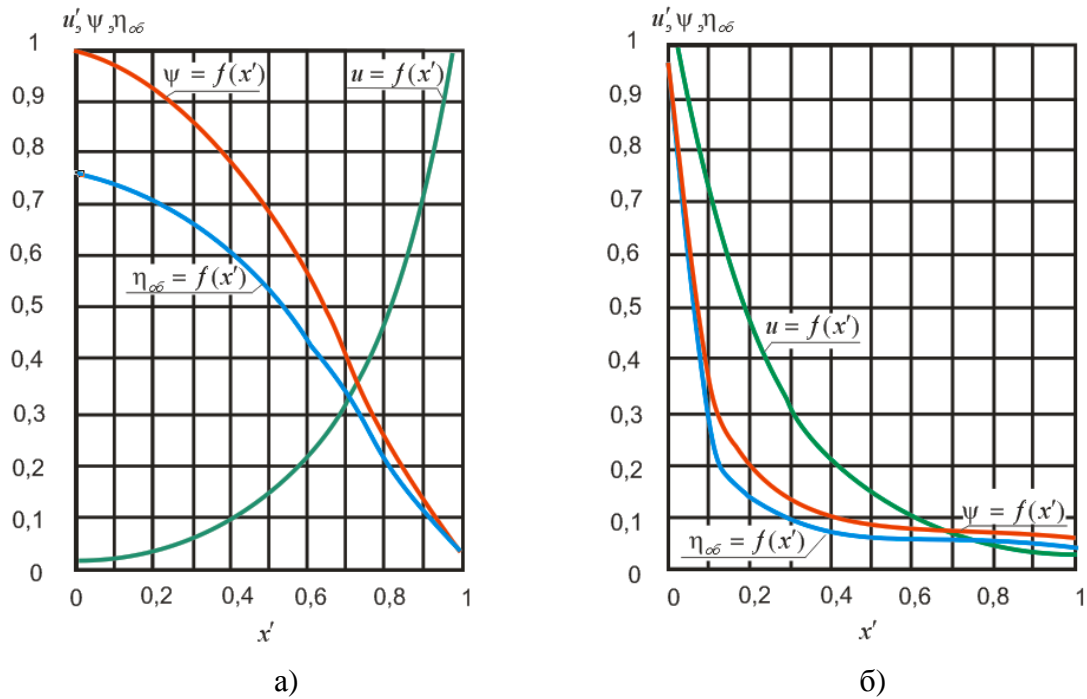


Рис. 3. Зависимости относительной скорости изменения объемной плотности лучистой энергии u' , степени обеззараживания жидкости ψ и относительной эффективности процесса обеззараживания $\eta_{об}$ от относительной высоты слоя x' в фотореакторе при движении жидкости навстречу потоку излучения (а) и в одном с ним направлении (б)

Кинетика обеззараживания жидкости, несмотря на равенство интегральных показателей, при разных направлениях движения будет различной. На рис. 3 показан один из вариантов зависимостей основных параметров процесса от относительной глубины x' при движении слоя жидкости соответственно вверх и вниз. Координата x' в обоих случаях ориентирована в направлении движения обеззараживаемой жидкости. Кроме ψ , на рис. 3 показаны также зависимости относительной скорости изменения объемной плотности поглощаемой энергии u' . Исходя из выражений (7) - (8), для каждой из схем соответственно получаем:

1) схема с рис. 2а:

$$u' = \frac{du/dx'}{u} = D \cdot \frac{e^{-D \cdot (1-x')}}{1 - e^{-D}} \quad (11)$$

2) схема с рис. 2б:

$$u' = D \cdot \frac{e^{-D \cdot x}}{1 - e^{-D}} \quad (12)$$

Если сопоставить зависимости ψ и u' , то следует, что в случае движения жидкости вниз, в отличие от противоположного варианта, характер кривых $\psi(x)$ и $u'(x)$ совпадает, то есть большей концентрации бактерий соответствует более высокая объемная плотность поглощенной энергии. Поэтому следует обеспечивать нисходящий поток жидкости, что также

подтверждается характером кривых относительной эффективности процесса облучения и рассчитанных согласно выражению

$$\eta_{об}(x') = \frac{dN'_{бк} / dx'}{u'(x')}, \quad (13)$$

где $dN'_{бк}/dx'$ — относительная скорость обеззараживания по глубине реактора, определяемая из выражений (7) и (8).

Рассмотренные варианты движения облучаемой жидкости в данных технологиях и математический анализ параметров энергетики и качества процесса обеззараживания в них позволили выявить взаимное направление движения среды и УФ-потока, при котором обеспечивается максимальный эффект стерилизации среды с минимальными затратами электроэнергии.

Список литературы

1. Ахмедова О.О., Степанов С.Ф. Исследование электрофизических методов воздействия, направленных на повышение эффективности комплексных установок очистки сточных вод // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. - 2010. - № 10. - С. 33-39.
2. Булеков С.Н. Вторичное использование сточных вод // Водоочистка. – 2006. - № 9. – С. 35 – 38.
3. Карпов В.Н. Фотометрические основы повышения эффективности использования электроэнергии в облучательных установках : учеб. пос. – Л. : ЛСХИ, 1984. – 32 с.
4. Котов А.В. Повышение энергетической эффективности ультрафиолетового обеззараживания жидких сред в сельскохозяйственном производстве на основе применения энергосберегающей технологической схемы облучения : дис. ... канд. тех. наук. – СПб., 2004. – 125 с.
5. Матаушек И. Ультразвуковая техника. - М. : Металлургиздат, 1962.
6. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
7. Сошинов А.Г., Степанов С.Ф., Ахмедова О.О. Устройство очистки сточных вод комплексом электрофизических методов воздействия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2009. – 5 (2). - Т. 11. - С. 250-253.

Рецензенты:

Артюхов И.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов.

Угаров Г.Г., д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов.