

МИКРОБИАЛЬНЫЕ АЭРОЗОЛИ АЭРОТЕНКОВ КАК ФАКТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2017 г. Л.А. Мирошниченко, Ю.О. Григорьев, С.Ю. Шишмаков,
Н.В. Служеникина, О.Б. Насчетникова, А.Ф. Никифоров

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия*

Ключевые слова: хозяйственно-бытовые сточные воды, аэрация сточных вод, биологическая очистка, микробиологические показатели, загрязнение водных объектов, удельный выброс микроорганизмов.

Рассмотрено влияние аэрации на выбросы аэрозолей из аэротенков при биологической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. Показано микробиальное загрязнение сточных вод и их аэрозолей. Получены новые закономерности влияния температуры, времени, скорости ветра на выброс влаги и микробиальных загрязнений в виде аэрозолей с водной поверхности аэрируемых сооружений биологической очистки. Приведены уравнения, позволяющие рассчитать выброс влаги с водной поверхности при аэрации. Теоретически и экспериментально определены потери воды в виде аэрозолей при аэрации от температуры наружного воздуха и скорости ветра. Рассчитан удельный выброс микроорганизмов из аэротенка, равный $2,144 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ по колиформным формам. Определены значения максимальных концентраций микробиальных загрязнений для выполнения нормативных расчетов микробиальных выбросов с аэрозолями из аэротенков для различных метеорологических условий.

Полученные уравнения могут быть использованы при проектировании инженерных мероприятий по снижению негативного микробиального воздействия выбрасываемых аэрозолей на водные объекты, прилегающие к территории биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации.

Защита водных объектов от загрязнений хозяйственно-бытовыми сточными водами во многом определяется эффективностью систем биологической очистки станций аэрации. В настоящее время метод очистки сточных вод в аэротенках является наиболее универсальным и широко применяемым при обработке стоков, содержащих органические примеси различного происхождения. Использование высокоактивных симбиотических иловых культур, стимуляторов биохимического окисления, различного рода усовершенствованных конструкций аэротенков и, в частности, аэрационного оборудования, позволяет повысить производительность метода биологической очистки сточных вод.

Вместе с тем, интенсивная аэрация сточных вод в аэротенках сопровождается увеличением выброса аэрозолей, загрязняющих в результате последующего оседания поверхностные талые, дождевые и подземные воды. Наряду с аэрозолями выбрасываются газы – метан, аммиак, сероводород, этилмеркаптан, фенол, формальдегид углеводороды $C_6 - C_{10}$ и $C_{12} - C_{19}$, азота диоксид, азота оксид [1], образующиеся в двух зонах аэротенка: нитрификации с интенсивной аэрацией и в неаэрируемой зоне денитрификации, а также в придонной зоне, характеризующейся наличием неаэрируемого активного ила и выносимых из первичных отстойников взвешенных органических веществ.

Интенсивная аэрация приводит к значительному выбросу аэрозолей. Аэрозоли по своему составу близки сточной воде и содержат клетки бактерий, вирусы. Расчет выбросов по микробному загрязнению аэрозолей может представлять практический интерес. В настоящее время отсутствуют нормативные сведения о потерях сточных вод, связанных с выбросами аэрозолей из аэротенков в окружающую среду в процессе аэрации, и их влиянии на загрязнение дождевых и талых, а также подземных вод в рабочей зоне аэрационных сооружений.

Городские и хозяйственно-бытовые сточные воды содержат патогенные и условно патогенные бактерии, среди которых принято выделять общие колиформные бактерии, колифаги, вирусы, сальмонеллы, туберкулезные палочки. Данные по микробиологическим загрязнениям сточных вод приведены в табл. 1 [2]. Помимо туберкулезной палочки в сточных водах могут содержаться очень опасные возбудители заболеваний, например, вибрион холерной палочки и прочие. Выброс бактериальной массы из аэротенка определяется потерями объема воды, испаряемой с поверхности и выносимой в виде аэрозолей при работе аэрационной системы.

Таблица 1. Загрязнение сточных вод по микробиологическим показателям

Вид сточных вод	Микробиологические показатели				
	Общие колиформные бактерии КОЕ/100мл	Колифаги БОЕ/100 мл	Вирусы БОЕ/100 мл	Сальмонеллы КОЕ/л	Туберкулезная палочка
Хозяйственно-бытовые сточные воды	$10^6 - 10^8$	$10^3 - 10^4$	до 10^3	$10^2 - 10^6$	+
Городские сточные воды (соотношение хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод (60:40))	$10^5 - 10^7$	$10^3 - 10^4$	до 10^3	$10^3 - 10^4$	+

Для определения выброса влаги в виде аэрозолей предложено два варианта, используемых в расчетах аэрируемых бассейнов. Германская фирма Dantherm в расчетах выбросов влаги в виде аэрозолей учитывает турбулентность водной поверхности. По стандарту VDI 2086 выброс влаги в виде аэрозолей G рассчитывается по формуле [3]:

$$G = \varepsilon \cdot F \cdot (P_n - P_b) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где G – интенсивность выброса влаги в виде аэрозолей, г/ч
 ε – эмпирический коэффициент испарения воды с водной поверхности бассейна, г/м²·ч·мбар, (зависит от турбулентности, для значительной турбулентности рекомендуется принимать $\varepsilon = 35$);
 F – площадь поверхности, м²;
 P_n – давление насыщенного водяного пара в воздухе при температуре, равной температуре воды в аэротенке, кПа;
 P_b – парциальное давление водяного пара в воздухе над поверхностью аэротенка, кПа.

Объем влаги, выбрасываемой в виде аэрозолей с поверхности воды, можно также рассчитать по формуле [4].

$$H_{\text{исп}} = 11,6 \cdot (E_1 - e_0) \cdot B \cdot t, \quad (2)$$

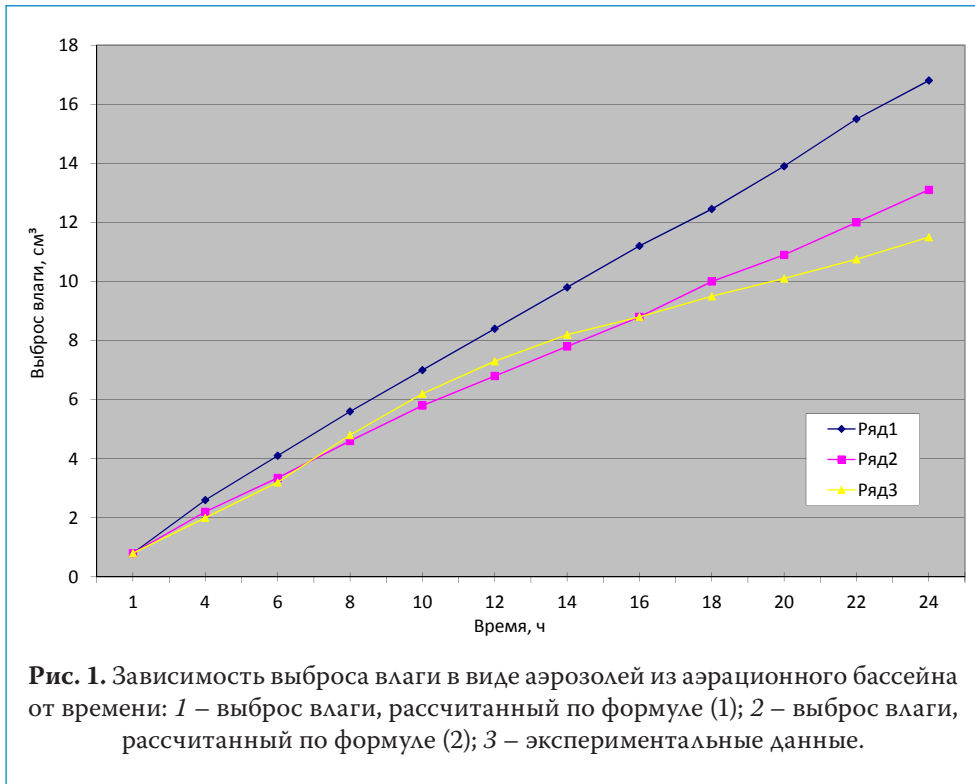
где $H_{\text{исп}}$ – слой испарения за месяц, мм;
 11,6 – коэффициент, учитывающий удельную всасывающую атмосферы в мм/мбар·мес;
 E_1 – максимальная упругость водяных паров при заданной температуре поверхности воды, мбар;
 e_0 – парциальное давление водяного пара в воздухе, определяемое по формуле

$$e_0 = \mu E_1 / 100, \quad (3)$$

где μ – относительная влажность воздуха, %;
 B – коэффициент, учитывающий силу ветра, $B = 1 + 0,134 V_b$;
 V_b – средняя скорость ветра, м/с (за месяц);
 t – расчетное время испарения, мес.

Расчеты проведены по вышеприведенным методикам при отсутствии ветра ($V_b = 0$) с учетом турбулизации потока. Для проверки точности математического описания процесса выброса влаги в виде аэрозолей с помощью уравнений (1), (2) проведен эксперимент по продувке воздухом воды в модельном резервуаре с площадью поверхности испарения $5 \cdot 10^{-3}$ м² с интенсивностью испарения $9,4$ м³/м²·ч при температуре воды 20 °С, температуре воздуха 23 °С и влажности воздуха 75 %.

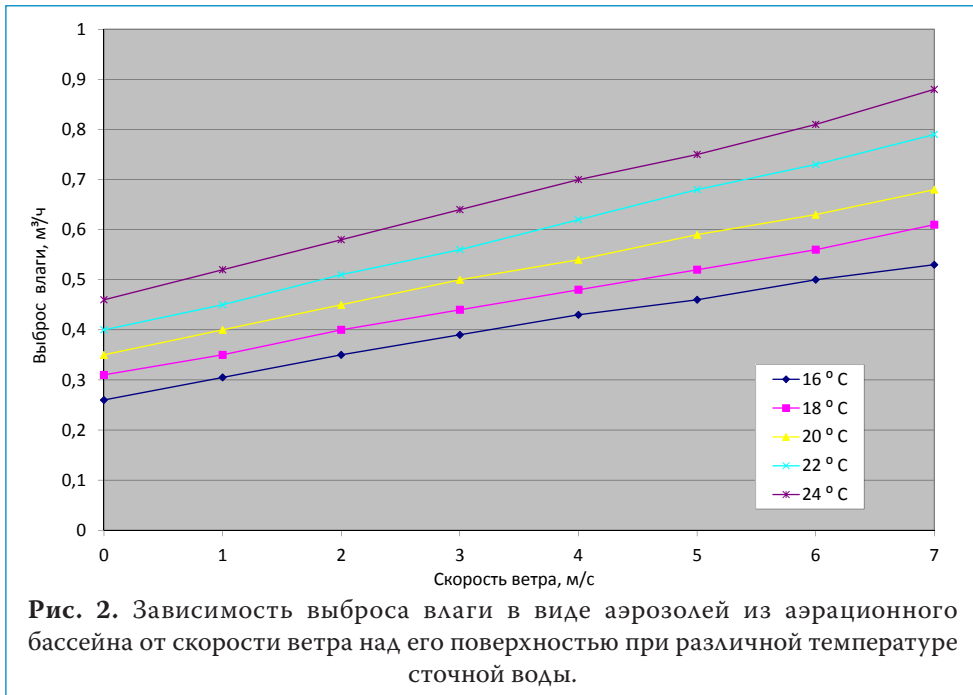
Результаты вычислений и экспериментальные данные приведены на рис. 1.



Экспериментальные значения выброса влаги находятся в расчетном поле теоретических данных и наиболее близки к уравнению (2), которое и было выбрано для последующих расчетов.

На рис. 2 приведена зависимость выброса влаги, измеряемого потерями объема воды из аэротенка, при различных температурах окружающего воздуха и скорости ветра. При температуре наружного воздуха 23 °С, сточных вод в аэротенке 20 °С, средней скорости ветра 5 м/с, с площади аэрации 3520 м² испаряется до 0,19 м³/ч сточных вод. При увеличении температуры наружного воздуха объем испарений увеличивается незначительно, в то время как увеличение скорости ветра на 0,5 м/с приводит к увеличению выброса аэрозолей примерно на 10 %.

На основании данных кривой 2, представленных на рис. 1, как наиболее близких экспериментальным значениям для среднетлетних условий (температура сточных вод 20 °С и скорость ветра 5 м/с) выполнен расчет выброса влаги из аэротенка, который можно принять на уровне $5,36 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, при площади аэротенка 3520 м².



Из литературного источника [2] известно, что при средней массе одной клетки микроорганизма, равной $4 \cdot 10^{-13}$ г в 1 м^3 хозяйственно-бытовых сточных вод, выбрасываемых из аэротенка, число колониеобразующих клеток (КОЕ) общих колиформных бактерий составляет 10 на 100 мл или $1 \cdot 10^{12}$ на 1 м^3 , при этом масса клеток находится в пределах 0,4 г. Удельный выброс микроорганизмов из аэротенка площадью 3520 м^2 составит до $2,144 \cdot 10^{-8} \text{ г/м}^2 \cdot \text{с}$ по колиформным формам. Вблизи водной поверхности аэротенка максимальная концентрация клеток микроорганизмов в слое 1 м составит не более $C_{i, \text{max}} = 2,144 \cdot 10^5 \text{ мг/м}^3$. В этом случае для последующего расчета рассеивания микробиологических загрязнений необходимо определить мощность их выброса (г/с) из аэротенка с учетом расхода воздуха на аэрацию. Согласно нормативному источнику [1], мощность микробиального выброса M_i определяется по формуле:

$$M_i = M_{\text{исп } i} + C_{i, \text{max}} \cdot W \cdot 10^{-3},$$

где $M_{\text{исп } i}$ – мощность выброса микробиальных загрязнений с поверхности сооружения за счет его естественного испарения, г/с;

$C_{i, \text{max}}$ – максимальная концентрация i -го загрязняющего вещества вблизи водной поверхности, мг/м³;

W – расход воздуха на аэрацию сооружения, м³/с.

Мощность выброса микробильных загрязнений рассчитывается в зависимости от скорости ветра. При скорости ветра $u \leq 3$ м/с

$$M_{\text{исп } i} = 2,7 \cdot 10^{-5} a_1 (C_{i, \text{max}} - \bar{C}_{\phi, i}) s^{0,93}.$$

При скорости ветра $u > 3$ м/с

$$M_{\text{исп } i} = 0,9 \cdot 10^{-5} u \cdot a_1 (C_{i, \text{max}} - \bar{C}_{\phi, i}) s^{0,93},$$

где $\bar{C}_{\phi, i}$ – средняя фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества в воздухе с наветренной от водной поверхности обследуемого сооружения стороны, мг/м³;

s – площадь водной поверхности (без учета укрытия), м²;

u – скорость ветра, м/с;

a_1 – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние превышения ΔT температуры водной поверхности аэротенка над температурой воздуха.

Приведенные формулы позволяют рассчитать рассеивание микробиологических загрязнений и спроектировать санитарно-защитную зону очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аэрация сточных вод в аэротенках сопровождается выбросом токсичных газов и аэрозолей, содержащих микробиологические загрязнения, представляющие опасность для окружающей среды.

По методикам фирмы Duntherm (Германия) с учетом турбулизации определены потери воды из барботируемых резервуаров. Показано влияние температуры и скорости ветра на потерю воды в аэротенках. Установлено, что при температуре наружного воздуха 23 °С, температуре сточной воды 20 °С и средней скорости ветра 5 м/с, выброс сточных вод с аэрозолями с площади 3520 м² составляет 0,19 м³/ч.

Полученные результаты позволяют вести расчеты по выбросу насыщенных микроорганизмами аэрозолей в атмосферу и могут быть использованы для подбора фильтров очистки воздуха и газов, отходящих от аэрационных сооружений биологической очистки сточных вод в закрытых помещениях, при проектировании санитарно-защитной зоны очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб: НИИ Атмосфера, 2012. 185 с.
2. Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: приказ

МПР России от 17.12.2007 № 333 (ред. от 29.07.2014). Зарег. в Минюсте России 21.02.2008 № 11198.

3. Руководство по проектированию. Режим доступа: www.c-o-k.ru/library/catalogs/dantherm/20949/69274.pdf.
4. *Прутской А.В., Шошин В.И.* Гидротехнические сооружения: учебно-методическое пособие к выполнению расчетно-графической работы. Брянск: БГИТА, 2008. 65 с.

Сведения об авторах:

Григорьев Юрий Олегович, канд. техн. наук, доцент, кафедра Водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: rg-eco@mail.ru

Мирошниченко Любовь Анатольевна, магистр кафедры Водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: vupper@rambler.ru

Шишмаков Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, кафедра Водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: ShishmakovSU@yandex.ru

Насчетникова Ольга Борисовна, канд. техн. наук, доцент, кафедра Водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: NOBEL408@mail.ru

Никифоров Александр Федорович, д-р хим. наук, профессор, кафедра Водного хозяйства и технологии воды, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: a.f.nikiforov@urfu.ru

Служеникина Наталья Владимировна, канд. техн. наук, доцент, кафедра Гидравлики, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: nat-sluzh@yandex.ru