

Программный комплекс для расчета эмиссии CO₂ от объектов водного комплекса жилищно-коммунального хозяйства

Я.Ю. Каменев

Известно, что в процессе очистки сточных вод происходит изменение рН воды, и, следовательно, происходит смещение углекислотного равновесия, изменяется концентрация гидрокарбонат ионов и свободной углекислоты, что может сопровождаться ее выделением в атмосферу, до установления нового равновесного состояния. Представляется целесообразным оценить значимость этого процесса с точки зрения величины эмиссии углекислого газа.

Причины, приводящие к смещению равновесия в процессе водоподготовки и водоочистки, различны и, следовательно, эти системы должны быть исследованы индивидуально. При этом следует учитывать различные технологические схемы очистки сточных вод, особенности их состава и климатические условия [1-3].

Проведены измерения парциального давления CO₂ на очистных сооружениях г.Усть-Лабинска, г. Ростова-на-Дону (Левобережная станция аэрации и очистные сооружения военведа) и некоторых других сооружениях.

Теоретически и экспериментально доказано, что параметр «парциальное давление «CO₂ - P_{CO2}» может являться объективным показателем оценки работы очистных сооружений канализации с точки зрения их экологичности. Нами была проанализирована работа очистных сооружений канализации, на которых фиксировался уровень углекислого газа в атмосфере в период исследований [4-5]. Обобщенные данные по парциальному давлению CO₂ в атмосфере над сооружениями в соответствии с классической схемой очистке сточных вод приведены на рис. 1.

Анализ результатов исследований и их сопоставление позволяют сделать следующие выводы по работе данных очистных сооружений:

- Значения P_{CO_2} в приемной камере различны, большие значения, по-видимому характерны для приема сточных вод от сетей большой протяженности. В трубопроводах как самотечных, так и напорных, протекают процессы биодegradации в анаэробных условиях, следовательно, в них возможно накопление углекислого газа с последующим выходом в приемной камере.

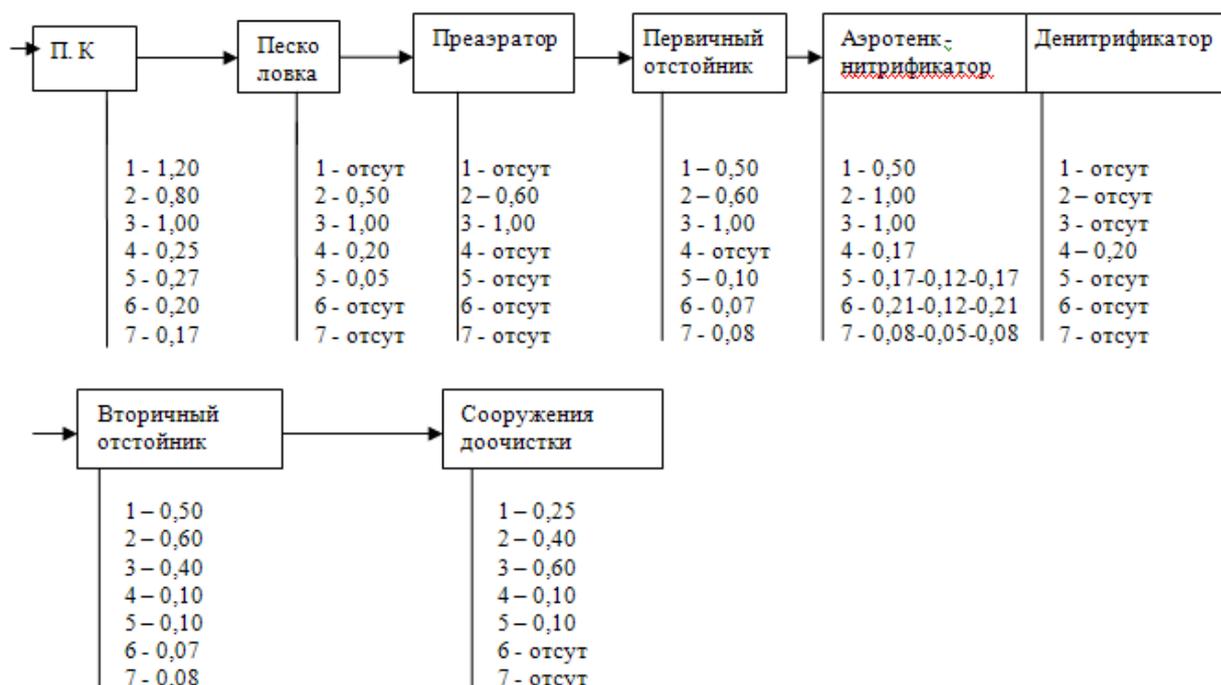


Рис. 1. – Значения парциального давления CO_2 над поверхностью сооружений очистки сточных вод: позициям соответствуют очистные сооружения : 1 – Усть-Лабинска; 2 – г. Ростова-на-Дону – 1 очередь; 3 – г. Ростова-на-Дону – 2 очередь; 4- г. Ростов-на-Дону – КЭЧ-2; 5 – Навагинска; 6 – Адлера; 7 – Хосты – Кудепсты

- В песколовках процесс биодegradации отсутствует, следовательно, если сточная, вода, поступающая на очистные сооружения имеет рН более 6,5 и Щ более 2 мг-экв/л, сухой остаток 400 и более и температуру 15⁰С и более, то эмиссия CO_2 , не наблюдается. Сточные воды всех очистных сооружений соответствуют данным условиям. Действительно, над песколовками процентное содержание CO_2 не превышает ни в одном из вариантов процентное содержание над приемными камерами, следовательно

эмиссия углекислого газа в данном случае может быть обусловлена последствиями анаэробной биodeградации в канализационных коллекторах.

- **В преаэраторах и первичных отстойниках** эмиссия CO_2 обусловлена, по-видимому, теми же процессами, что и в песколовках, и поэтому процентное содержание углекислого газа практически одинаковое.

-**В аэротенках** протекают процессы биodeградации органических загрязнений, нитрификации (различной интенсивности), эти процессы могут сопровождаться падением рН, смещением углекислотного равновесия в сторону образования свободной углекислоты и соответствующим снижением Щ. Если, «биологические процессы» приведут к уменьшению рН в аэротенке менее 6,4 (при температуре 15°C и 6,2 при температуре 20°C), то при значении Щ в исходной воде 4,5 мг-экв/л и менее, эмиссия CO_2 наряду с «биологическими» процессами, будет обусловлена и «химическими». В соответствие с вышеприведенными расчетами рассмотрим вклад каждой составляющей процесса эмиссии CO_2 в аэротенках очистных сооружений (по позициям):

1 – рН = 7,1; Щ = 3 мг-экв/л БПК=110 мг O_2 /л; процесс нитрификации протекает в незначительной степени: концентрация свободной углекислоты – «вклад биологической» составляющей – 68 мг/л, «химической» - 30 мг/л, суммарное значение – 98 мг/л соответствующая концентрация равновесной углекислоты составляет 80 мг/л, следовательно имеется избыточное значение CO_2 и возможна эмиссия, что и наблюдается на данных очистных сооружениях. Позиция 2-3 и 4 соответствуют очистным сооружениям г. Ростова-на-Дону, известно, что в аэротенках поз. 2 и 3, происходит значительное снижение рН (менее 6) и нитрификация протекает не стабильно (снижение составляет 10 и менее N-NH_4^-), что наряду с высокими концентрациями органических веществ в сточной воде (БПКп=370 мг O_2 /л), приводит к значительной эмиссии CO_2 . Напротив, в аэротенке, поз.4 рН поддерживают на уровне 7,7 – 8,0 (введение извести), наблюдается интенсивная нитрификация (снижение азота аммонийного происходит на 40

мг/л по $N-NH_4^-$), БПК = 130 мг O_2 /л – в этом случае над аэротенком-нитрификатором наблюдается концентрация углекислого газа в 6 раз меньше чем над аэротенками поз. 2 и 3. То же можно сказать и о сооружениях поз. 5 - 7: относительно невысокое значение БПК_{полн} (190 – 120 мг O_2 /л), развитый процесс нитрификации (снижение $N-NH_4^-$ составляет 30 – 15 мг/л), наряду с рН в сооружениях более 6,5, приводит к выделению углекислого газа на уровне значений, характерных для аэротенка-нитрификатора (поз. 4).

- **Денитрификаторы** являются источниками выделения CO_2 в атмосферу, так как здесь происходит биodeградация органических веществ

- **Во вторичных отстойниках** не происходит процессов биodeградации и, при отсутствии процессов загнивания ила, они не являются источниками активных процессов эмиссии CO_2 в атмосферу.

- **В сооружениях доочистки** происходит биоокисление остаточных органических загрязняющих веществ и (или) их механическое удержание, в любом случае эмиссия CO_2 невелика, но зависит от работы аэротенков.

Обобщая вышеизложенное можно заключить, что очистные сооружения канализации являются источником эмиссии углекислого газа в атмосферу. В процессе транспортировки сточных вод идет накопление CO_2 в сточной воде и при превышении концентрации свободной углекислоты некоторого «безопасного» уровня, наблюдается интенсивный выход углекислого газа с водной поверхности открытых сооружений. Количественные значения парциального давления углекислого газа в атмосфере над очистными сооружениями зависят в, основном, от эффективности работы аэротенков. При наличии процесса нитрификации парциальное давление CO_2 над поверхностью сооружений уменьшается [6-7].

Для оперативного контроля эффективности и экологизации работы сооружений канализации целесообразно выбрать «оценочный показатель», который одновременно может характеризовать и «химический», и «биологический» факторы, влияющие на величину эмиссии CO_2 [6].

Представительным оценочным параметром может быть показатель окислительно-восстановительных процессов – rH_2 . rH_2 , с одной стороны непосредственно связан с pH среды (уравнение Нернста), ответственным за смещение углекислотного равновесия в системе («химический» фактор). С другой стороны, rH_2 характеризует окислительно-восстановительные условия среды, а, следовательно возможность нитрификации и интенсивность процесса биodeградации.

Объективное повышение парциального давления CO_2 при температуре 12 – 20⁰C (характерной для сточных вод) наблюдается при сочетании значений Щ менее 1мг-экв/л и pH менее 6,8. При щелочности от 2,5 до 3,5 мг-экв/л поступление углекислоты в атмосферу возможно при pH менее 6,5, при Щ более 4мг-экв/л, при pH менее 6,4. В данном случае речь идет о «химическом» факторе. Следовательно, в период очистки сточных вод следует поддерживать pH не ниже 6,8, с учетом поступления свободной углекислоты в период биodeградации органических загрязнений, целесообразно поддерживать pH системы не ниже 7,2 (согласно экспериментальным данным, минимальная эмиссия CO_2 наблюдалась на сооружениях, в аэротенках которых поддерживали стабильно высокие значения pH).

Значение rH_2 равное 28, является «нейтральным» в смысле окислительно-восстановительных условий (эта величина определяется из уравнения диссоциации водяного пара на кислород и водород), следовательно, окислительная обстановка в системе наблюдается при значении rH_2 более 28 .

Так как параметр rH_2 связан с pH и Eh, то можно при фиксированных значениях pH и rH_2 определить величину Eh и далее - необходимую концентрацию кислорода в очищаемой сточной воде в соответствии с уравнением [8]:

$$E_h = E_0 - 0,058 \text{ pH} + 0,0145 \lg[O_2], \text{ В,}$$

После выполнения расчетов, получим, что концентрация растворенного кислорода должна быть не менее 4 мг/л. Таким образом, для достижения концентрации углекислого газа над поверхностью аэротенка более 0,17% (работа аэротенка-нитрификатора в оптимальном режиме) следует обеспечить:

- рН более 7,2 (при меньших значениях необходимо подщелачивание), такое значение рН ускоряет процесс нитрификации и способствует поддержанию углекислотного равновесия, при котором не образуется избыточная углекислота;

- r_{H_2} более 28 (при меньших значениях следует увеличить концентрацию кислорода в аэротенке);

- отсутствие застойных зон, чего можно добиться оптимальным распределением системы аэрации и циркуляцией иловой смеси;

- оптимизацию удаления избыточного ила с целью поддержания возраста ила не менее 5 суток (оптимально 15);

- нагрузку на ил по органическим загрязнениям не более 0,15 г БПК/г ила в сутки;

- оптимизацию работы денитрификатора путем регулирования возраста ила, при котором метаболизм денитрификаторов протекает по гликолитическому пути, т. е без образования CO_2 .

На основе выявленных закономерностей, описывающих процесс выделения углекислого газа в атмосферу при очистке сточных вод и влияющих на его интенсивность, для упрощения расчетов, связанных с эмиссией углекислого газа, был разработан расчетный комплекс для определения эмиссии CO_2 [9]. Для получения универсальной модели расчета, применимой для широкого диапазона внешних условий и показателей, были конкретизированы исходные параметры, которые прямо или косвенно оказывают влияние на процесс и, соответственно, на результат расчета. Чтобы упростить использование, основная масса общих показателей изначально внесена в рабочую структуру программы, а количество исходных

данных сведено к минимуму. В основу расчета были положены стандартные показатели, для получения которых не требуется проведение специальных измерений или каких-либо промежуточных вычислений. Такими параметрами в случае водоочистки являются: температура, рН, щелочность (полная и карбонатная), а также БПК, солесодержание (сухой остаток) воды и равновесная концентрация CO_2 в атмосфере. В расчетах, связанных с дальнейшей обработкой вод или осадков, а также эмиссии CO_2 на этапе транспортирования, помимо указанных величин использовались некоторые специфические, характерные для того или иного конкретного процесса. Однако, эти данные либо являются справочными, либо измеряются в технологическом процессе. Все они входят в список регулярно контролируемых на очистных сооружениях величин. При этом можно пользоваться среднестатистическими данными, исключая вероятные аномальные значения, или, наоборот, выявить предел эмиссии при возникновении нестандартной ситуации [10-11]. Расчетный комплекс позволит оперативно оценивать и регулировать работу всех сооружений очистки сточных вод с применением парциального давления CO_2 как интегрального показателя.

Литература:

1. Серпокpылов Н. С., Земченко Г. Н., Вильсон Е. В. Эмиссия диоксида углерода в водном комплексе. Процессы очистки и транспортирования вод [Текст]: Монография / Н. С. Серпокpылов, Г.Н. Земченко, Е.В. Вильсон. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2012. – 289 с.
2. Героева, А.М., Зильберова, И.Ю. Прогнозирование и диагностика технического состояния объектов коммунальной инфраструктуры [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона , 2012, № 4 (часть 1). – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1074> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Broecker W.S., Takahashi T., Simpson H.J., Peng T.H., 1979. Fate of fossil fuel carbon dioxide and the global carbon budget [Текст] / Science, 206, Pp. 409-418.
4. Woodwell G.M., Whittaker R.H., Reiners W.A., Likens G.E., Delwiche C.C., Botkin D.B., 1978. The biota and the world carbon budget, [Текст] / Science, 199, Pp. 141-146.
5. Серпокрылов Н. С., Булкина Е. А., Вильсон Е. В. Долженко Оперативно – менеджерская оценка режима очистки сточных вод по эмиссии диоксида углерода [Текст] / «Строительство – 2006»: Материалы Международной научн. – практич. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2006. – с. с. 39 – 40.
6. Серпокрылов Н. С., Земченко Г. Н., Вильсон Е. В. Ранжирование процессов очистки природных вод по эмиссии CO₂ [Текст] / Сергеевские чтения. Инж. – эколог. изыскания в строит.: теоретические основы, методика, методы и практика. - М.: ГЕОС, 2006. – с. 164 – 168.
7. Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Кузьмина Ю.С., Земченко Г.Н., Каменев Я. Ю. Процессы очистки сточных вод как фактор эмиссии диоксида углерода в атмосферу [Текст] / Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных и сточных вод: межвуз. сб. научн. тр. / Самар. ГАСУ. – Самара, 2008, с. 256 - 262.
8. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений [Текст]: Учебное пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 288 с.
9. Серпокрылов Н.С., Е. В. Вильсон, Н. С. Земченко, Ю.С. Кузьмина Компьютерный анализ режимов очистки вод по эмиссии диоксида углерода [Текст] / Информационно – вычислительные технологии и их приложения: Сб. статей IV российско-украинского научно-технического и методического симпозиума 1-3 июня 2006 г. – Пенза: ПДНТП. – с. 206 – 209.
10. Борисова, В.Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений

[Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11. Булкина Е. А. Оперативно-менеджерская оценка и обоснование реконструкции очистных сооружений сточных вод [Текст] / «Строительство – 2005»: Материалы международной научн. – практич. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – с. 7 – 9.