

Научная статья

УДК 628.166:504.3.054

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ПРИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ ВОДЫ

Наталия Алексеевна Воронова¹, Артём Вячеславович Артёмов²

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ voronova_nataliy_20@mail.ru

² artemovav@m.usfeu.ru

Аннотация. Дана оценка возможностей проведения инструментальных исследований для определения объемов выделяемых загрязняющих веществ от резервуаров чистой воды при водоподготовке. Рассмотрен альтернативный метод определения выбросов хлороводорода от резервуаров чистой воды в ходе процесса водоподготовки – расчетный.

Ключевые слова: водоподготовка, РЧВ, обеззараживание, гипохлорит натрия, выброс, загрязняющие вещества, атмосфера

Для цитирования: Воронова Н. А., Артёмов А. В. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при обеззараживании воды // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1017–1022.

Original article

CALCULATION OF ATMOSPHERIC POLLUTANT EMISSIONS DURING WATER DISINFECTION

Natalia A. Voronova¹, Artyom V. Artyomov²

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ voronova_nataliy_20@mail.ru

² artemovav@m.usfeu.ru

Abstract. An assessment of the possibilities for conducting instrumental research to determine the volumes of pollutants emitted from clean water reservoirs during water treatment has been made. An alternative method for calculating hydrogen chloride emissions from clean water reservoirs in the course of the water treatment process is considered.

Keywords: water treatment, clear water reservoir, disinfection, sodium hypochlorite, emission, pollutants, atmosphere

For citation: Voronova N. A., Artyomov A. V. (2026) Raschet vy`brosov zagryaznyayushhix veshhestv v atmosferu pri obezzarazhivanii vody` [Calculation of atmosphere pollutant emissions during water disinfection]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii. [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of students and postgraduates. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1017–1022. (In Russ).

Наиболее распространенные методы обеззараживания воды включают хлорирование, озонирование и ультрафиолетовую обработку [1].

Для расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при обеззараживании воды необходимо учитывать ряд факторов, включая технологию обработки, используемое оборудование, объем обрабатываемой воды и концентрацию реагентов.

Каждый метод водоочистки имеет свои особенности и выбросы [2]. Хлорирование – выбросы хлора и его соединений; озонирование – выбросы озона и продуктов его реакции; ультрафиолетовая обработка – минимальные выбросы, связанные в основном с эксплуатацией оборудования.

Согласно Приказу Минприроды России от 19.11.2021 № 871 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух...», определение состава и объема выбросов вредных веществ в атмосферу проводится либо инструментальными, либо расчетными методами оценки [3].

Был рассмотрен типовой участок водоподготовки. Исходная природная вода подается на очистку с водозабора, расположенного на поверхностном водном объекте насосами. Исходная вода перед сооружениями для извлечения крупных загрязнений (листья, водоросли, ветки и т. д.) проходит грубую очистку на ситах.

Далее перед реакционной емкостью в трубопровод исходной воды вводятся разбавленные растворы коагулянта и окислителя дозирующими насосами. В трубчатом смесителе происходит смешивание реагентов с водой. В реакционной емкости обеспечивается выдержка реакционной смеси (вода – коагулянт), необходимая для хлопьеобразования. Данная емкость оборудована мешалкой и системой аэрации, включающей в себя воздушную и колпачковую систему распределения воздуха в нижней части.

Раствор флокулянта вводится в трубопровод непосредственно перед подачей воды в песчаный фильтр (система непрерывной песчаной фильтрации) дозирующими насосами. Перемешивание реагента с водой осуществляется также в трубчатом смесителе.

Обработанная коагулянтом и флокулянтом вода подается в нижнюю часть фильтра, осветляется по мере своего движения сквозь толщу загрузки

и отводится через кромку водослива в сливной трубопровод фильтрата. Из сливного трубопровода фильтрат подается на I ступень обеззараживания установкой ультрафиолетового облучения. В качестве II ступени обеззараживания используется раствор гипохлорита натрия, вводимый после установки ультрафиолетового облучения дозирующими насосами. Обеззараженная вода подается в резервуары чистой воды (РЧВ). Из РЧВ насосной станцией II подъема через водомерный узел вода подается потребителю (в населенный пункт).

Таким образом, источниками выбросов загрязняющих веществ для рассматриваемого участка водоподготовки являются установки вентиляции помещений РЧВ № 1 и № 2, воздух из которых удаляется самотягой и выбрасывается в атмосферу через трубы (ИЗАВ 0001 и ИЗАВ 0002).

Согласно принятой технологии водоподготовки, с водной поверхности РЧВ возможно выделение ЗВ в виде хлора и/или хлороводорода [2].

С целью определения объемов выделяющихся ЗВ с поверхности РЧВ были выполнены инструментальные исследования. Согласно выполненным инструментальным измерениям аккредитованной лабораторией, выделение хлороводорода в атмосферу от ИЗАВ 0001, 0002 не обнаружено.

Согласно п. 38 Приказа Минприроды России от 19.11.2021 № 871, в том случае, когда концентрация загрязняющего вещества оказывается меньше нижнего предела обнаружения методики, для организованных источников выделения концентрация ЗВ принимается равной нулю, если нижний диапазон методики ее измерения меньше 0,5 ГНр.э. (значение гигиенического норматива ГН среднесменной предельно-допустимой концентрации ПДК измеряемого загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны).

В соответствии с СанПиНом 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», установлены следующие ПДК для хлороводорода (соляной кислоты) – 5 мг/м³.

Согласно рассматриваемым аттестатам аккредитации испытательных лабораторий, нижний диапазон методик измерения содержания веществ в промышленных выбросах составлял для хлороводорода (соляной кислоты) – < 0,05 мг/м³.

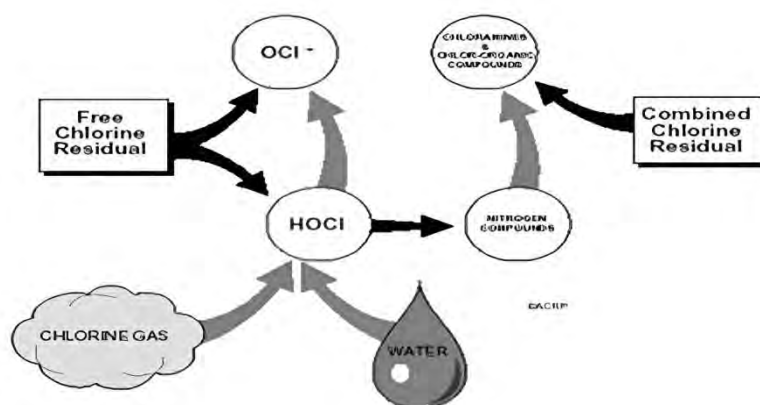
Таким образом, на основании Приказа Минприроды России от 19.11.2021 № 871 содержание соляной кислоты для ИЗАВ 0001, 0002 должно приниматься равным нулю.

В свою очередь, согласно протоколу, аэродинамические измерения выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.4.06–90 «Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения». Настоящий стандарт устанавливает методы определения скорости газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения в вентиляционных системах со скоростью не менее 4 м/с.

По результатам измерений скорость газопылевых потоков на ИЗАВ 0001 и 0002 составила 0,8 м/с. Таким образом, при проведении замеров на ИЗАВ допущены нарушения, т. к. при такой скорости газовой смеси отсутствует техническая возможность для проведения измерений концентраций загрязняющих веществ на источнике выбросов.

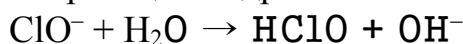
Учитывая техническую невозможность проведения инструментальных замеров на источниках и отсутствие утвержденных методик по расчету объемов выделения загрязняющих веществ при обеззараживании, определение выбросов резервуаров чистой воды выполнено согласно стехиометрическим расчетам.

На рисунке представлены реакции хлора с водой в процессе обеззараживания [4]. Свободный хлор является более эффективным дезинфицирующим средством, чем комплексные соединения хлора. Бактерицидное действие HOCl намного сильнее, чем у OCl^- . Это связано с тем, что незаряженная кислота легче проникает через клеточную мембрану бактерий, чем OCl^- . Если в воде имеются органические или неорганические соединения, особенно соединения азота, то хлорноватистая кислота будет реагировать с этими соединениями с образованием хлораминов и/или хлорорганических соединений [4].

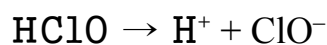


Реакции хлора с водой [4]

Согласно статье [5], гипохлорит натрия образует в воде хлорноватистую кислоту и гипохлоритный ион в соотношениях, определяемых pH воды. Соотношение между гипохлорит-ионом и хлорноватистой кислотой определяется протеканием реакций гидролиза гипохлорита натрия:



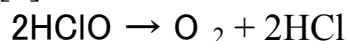
и диссоциации хлорноватистой кислоты:



При введении в воду гипохлорита натрия частично выделяется хлорноватистая кислота:



В результате реакции из гипохлорида натрия выделяется 38,5 % хлорноватистой кислоты. Скорость и направление распада HClO в водных растворах зависят от pH, температуры, концентрации, наличия примесей и освещения. В интервале pH 3,0–7,5 при комнатной температуре происходит медленное разложение (при этом степень превращения данной кислоты составляет не более 30 %) [5]:



Согласно представленной реакции выделение загрязняющего вещества в атмосферный воздух от общего количества хлорноватистой кислоты составит для хлористого водорода 69,5 %.

Расчет валовых выбросов при обеззараживании воды производится по формуле:

$$M = B \cdot q \cdot m \cdot g \cdot 10^9, \text{ т/год},$$

где B – расход гипохлорида натрия, кг/год;

q – выделение хлорноватистой кислоты, %;

m – доля реакций распада HClO от общего количества, %;

g – удельное выделение загрязняющих веществ, % от расхода дезинфицирующего средства.

Максимально разовый выброс определяется по формуле:

$$G = b / n \cdot q \cdot m \cdot g \cdot / (t \cdot 3600 \cdot 1000), \text{ г/с},$$

где b – расход сырья, кг/сут;

t – время проведения операции, ч/сут.

Пример результатов расчета приведен в таблице.

Исходные данные и результаты расчета

Расход материалов		Выделение хлорноватистой кислоты, %	Распад HClO , %	Удельный выброс, %	Выброс в атмосферу	
за сутки, кг/сут	за год, кг/год				М, т/год	Г, г/с
8,2	6 000	38,5	30	69,5	0,481635	0,0076185
Итого по каждому источнику					0,240818	0,0038092

При расчете выбросов важно учитывать конкретные условия эксплуатации установки обеззараживания и используемые реагенты. Регулярное обновление данных и мониторинг эффективности процессов позволят поддерживать низкие уровни загрязнения атмосферы.

Список источников

1. Новикова А. Е., Руина К. С. Современные методы очистки воды // Вестник науки. 2021. Т. 5, № 1 (34). С. 146–149.
2. Ушакова А. А., Журавлева Н. В. Водоподготовка и ее влияние на окружающую среду // Вестник магистратуры. 2020. № 5–3 (104). С. 88–91.

3. Воронова Н. А., Артёмов А. В. Особенности определения качественного и количественного состава выбросов линии сращивания при производстве мебели // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : материалы XX Международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 13–15 октября 2025 г. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 116–121.

4. Shamrukh M., Hassan Y. Chlorination and optimal chlorine dosage for Nile water // First Ain Shams University International Conference on Environmental Engineering (ASCEE-1). Cairo, 2005. P. 644–654. DOI: 10.13140/2.1.3713.6962

5. Саканская-Грицай Е. И. Проблемы и перспективы совершенствования водоподготовки // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 3(29). С. 88–95.