

**ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ
С ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД,
ИХ НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И
ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ**

В. Н. Ануфриев¹, Г. А. Волкова²

¹УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь,
vladimir.anufriev@rambler.ru

²УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
volga-brest@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены особенности нормативного регулирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений сточных вод, а также возможные пути снижения эмиссии загрязняющих веществ с указанных сооружений и методы обработки отводимого загрязненного воздуха.

Ключевые слова: очистка, сточные воды, массоперенос, давление, концентрация, перенос газа

**EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERIC AIR FROM
WASTEWATER TREATMENT PLANTS, THE REGULATION CONTROL
AND POSSIBLE DIRECTIONS OF DECLINE**

V. N. Anoufriev, G. A. Volkova

Abstract

The article discusses the features of regulatory regulation of emissions of pollutants into the atmospheric air from wastewater treatment plants, as well as possible ways to reduce the emission of pollutants from the facilities and methods of treatment of the discharged polluted air.

Keywords: treatment, waste water, mass transfer, pressure, concentration, gas transfer

Введение. Нормативное регулирование выбросов производится на основании требований, установленных законодательством в области охраны атмосферного воздуха и озонового слоя [1], в том числе регламентирующих Порядок инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и установления их допустимых нормативов, приведены в нормативных правовых актах Минприроды Республики Беларусь [2, 3, 10, 11]. При проведении инвентаризации выбросов загрязняющих веществ очистные сооружения сточных вод рассматриваются как сочетание организованных (здания) и неорганизованных стационарных источников выбросов (сооружения), при котором учитываются и санитарные требования [12, 13]. При этом определение объёмов выбросов с открытых сооружений является более сложным процессом.

Материалы и методы. В Инструкции (п. 28) [3] указано, что для определения выбросов загрязняющих веществ используются инструментально-расчётные и расчётные методы.

В практике оценки количественных показателей выбросов загрязняющих веществ используются методы:

- основанные на балансовых расчётах по отдельным веществам или химическим элементам с учётом их поглощения, выделения, трансформации в различных процессах, связанных с очисткой сточных вод;
- основанные на зависимостях массообмена между газовой (атмосферный воздух) и жидкой (сточная вода, иловая смесь, осадок) фазами;
- основанные на измерениях с отбором проб непосредственно над поверхностью раздела сточная вода – воздух;
- обоснованные на получении значений коэффициентов эмиссии с измерениями при отборах проб вне поверхности раздела сточная вода – воздух.

Закономерности межфазного обмена газ – жидкость и жидкость – газ описываются законами идеальных газов, законом Генри – Дальтона и теорией Льюиса и Уитмена. В соответствии с законом Генри – Дальтона в состоянии равновесия растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна давлению этого газа над раствором с учётом коэффициента пропорциональности (константа Генри), который зависит от температуры, вида газа и жидкости [9]. При этом указанная закономерность строго выполняется только для идеальных газов. Для реальных газов возможность использования ограничена условиями относительно низкой растворимости газа при отсутствии химического взаимодействия между растворителем и газом. Если над жидкостью находится смесь газов, то растворимость каждого из них определяется его парциальным давлением. При присутствии над жидкостью смеси газов, растворимость каждого из них при постоянной температуре пропорциональна парциальному давлению компонента над жидкостью и не зависит от общего давления смеси и свойств других компонентов. Для газовой смеси, занимающей определённый объём, при определённой температуре и давлении P , P_a , эти закономерности могут быть представлены в виде уравнений:

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots p_n, \quad (1)$$

$$\frac{p_1 M_1}{m_1} = \frac{p_2 M_2}{m_2} = \dots = \frac{p_n M_n}{m_n}. \quad (2)$$

где $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$ – парциальные давления газов в смеси, Па; $M_1, M_2, M_3 \dots M_n$ – молярные массы газов, г/моль; $m_1, m_2, m_3, \dots m_n$ – молярные доли газов.

Также, согласно теории Льюиса и Уитмена, перенос газа происходит через ламинарные пограничные плёнки на межфазной поверхности контакта газ – жидкость, и на поверхности контакта фаз между концентрациями абсорбируемого компонента в жидкости и в газе устанавливается динамическое равновесие. При этом массоперенос через поверхность обмена определяется по уравнению

$$N = k_L S (C_{iL} - C_L) = k_g S (C_g - C_{ig}), \quad (3)$$

где C_L, C_{ig} – концентрация газа в жидкой и газовой фазах, которые могут быть измерены, моль/м³; S – площадь водной поверхности контакта с газом, м²; k_L, k_g – коэффициенты переноса в жидкую и газовую фазы, которые зависят от состояния межфазной границы и турбулентности.

Таким образом, как следует из уравнения (3), направление переноса газа определяется в значительной мере разностью его содержания в жидкой и газообразной фазах. Количественные и качественные характеристики массопереноса газов в атмосферный воздух с поверхности сточной воды или осадка в различных сооружениях выбросов зависят от большого количества параметров:

- состава сточных вод;
- физико-химических и биологических процессов, происходящих в сточной воде на различных стадиях очистки;
- скоростей протекания реакций;
- скорости выделения загрязняющих веществ из сточной воды;
- температуры сточной воды и воздуха;
- площади открытой поверхности сточной воды на очистных сооружениях.

Сточная вода представляет динамическую систему с составом примесей, которые существенно изменяются как во времени, так и в процессе очистки. В связи с этим расчёты по балансовым уравнениям и зависимостям массопереноса газов на очистных сооружениях представляют сложную математическую задачу, связанную с решением комплекса уравнений с взаимосвязанными переменными. Поэтому такого рода расчёты в форме компьютерных моделей могут быть приемлемы при проведении научных исследований и разработок, однако весьма неудобны в практике, связанной с инвентаризацией выбросов загрязняющих веществ и назначения экологических платежей. В связи с этим для решения указанных выше задач используются упрощённые расчётные и расчётно-инструментальные методы.

Для очистных сооружений различных видов сточных вод производительностью до 500 м³/сут расчётные методики приведены в пособии П-ООС 17.08-01-2012 (02120) [4], которое устанавливает порядок расчёта максимальных и валовых выбросов некоторых загрязняющих веществ (в том числе, метана, аммиака, сероводорода) в атмосферный воздух с использованием усреднённых значений коэффициентов и удельных показателей выделения загрязняющих веществ. Также порядок использования расчётно-инструментального метода для определения выбросов для объектов предприятий нефтехимической отрасли приведён в ТКП 17.08-16-2011 (02120) [5]. Данный метод используется как аналог и для других объектов, включая очистные сооружения сточных вод, и основан на измерениях концентраций загрязняющих веществ на определённом расстоянии от источника выброса, с дальнейшим пересчётом выбросов с применением коэффициентов периферийного рассеивания и учёта скорости ветра. Следует отметить, что к настоящему времени разработан ряд математических моделей и методик, используемых в мировой практике оценки выбросов загрязняющих веществ [14, 15].

Таким образом, существующая нормативно-методическая база для определения объёмов выбросов представляется довольно ограниченной по производительности очистных сооружений и перечню загрязняющих веществ. Проведение измерений при применении расчётно-инструментальных методов является затратным, а получаемые результаты характеризуются недостаточной точностью. Поэтому остаётся актуальной задача разработки ТНПА, которые бы ре-

гламентировали порядок такого рода определений, обеспечивали достаточную точность и удобство проведения расчётов.

Также, учитывая трудоёмкость и затратность проведения измерений и определений выбросов при исчислении налога на выбросы для организаций, эксплуатирующих очистные сооружения сточных вод, представляется целесообразным пересмотр подходов по его уплате для операторов очистных сооружений. Например, в ряде стран оплата за выбросы с очистных сооружений (за исключением установок по сжиганию газа) в атмосферный воздух не устанавливается, поскольку такая деятельность относится к природоохранной, направленной на снижение сбросов загрязняющих веществ в водные объекты. При необходимости снижение поступлений по экологическому налогу за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений может быть компенсировано изменением ставки налога на сброс сточных вод. Измерение объёма сбрасываемых сточных вод характеризуется гораздо более низкой трудоёмкостью и высокой точностью.

Второе направление, связанное с управлением выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений, – минимизация и предотвращение распространения запахов. Развитие городов и увеличение площади их застройки привело к тому, что построенные за пределами населённых пунктов очистные сооружения оказались в пределах городской черты, на небольшом удалении от жилой застройки. В связи с этим рассматриваемые ранее как неизбежные выбросы газов, сопровождающие эксплуатацию очистных сооружений, к настоящему времени являются причиной жалоб населения и требуют проведения мероприятий по минимизации распространения запахов.

При очистке сточных вод и обработке осадка в большей части случаев запах обусловлен выделением из жидкости четырёх групп загрязняющих веществ, которые образуются при анаэробной деструкции сложных органических соединений. Первая группа включает серосодержащие соединения: сероводород, меркаптаны (CH_3SH и другие); органические восстановленные сернистые соединения ($\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$, $\text{CH}_3\text{-S}_2\text{-CH}_3$ и другие). Вторая группа включает азотсодержащие соединения: аммиак, амины ($\text{CH}_3\text{-NH}_2$, $\text{CH}_3\text{-N-CH}_3$ и другие). Третья группа содержит карбоновые, в том числе летучие жирные кислоты (муравьиная HCOOH , масляная $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ и другие). Четвёртая группа включает альдегиды и кетоны.

Методы определения и правила контроля выбросов дурно пахнущих веществ стандартизированы и приведены в ГОСТ 32673 [6], который устанавливает требования к измерению концентрации запаха ольфактометрическим способом.

Результаты и обсуждение. В качестве мероприятий, направленных на снижение интенсивности выделения пахнущих веществ, могут использоваться приёмы, связанные с подавлением процессов анаэробного восстановления. В качестве таких мероприятий могут предусматриваться дозирование окислителей (пероксид водорода) или веществ, содержащих связанный кислород (нитраты). Снижение выбросов серосодержащих соединений может достигаться обработкой коагулянтами с осаждением сульфидов солями двух или трёхвалентного

железа. Также следует учитывать, что интенсивное взмучивание, перемешивание, барботаж сточных вод приводят к интенсификации газоотделения. Соответственно, проведение мероприятий, снижающих турбулентность потока сточных вод на сооружениях и транспортирующих каналах, позволяет уменьшить эмиссию запахов.

Другим направлением по снижению эмиссии дурно пахнущих газов в атмосферный воздух является устройство перекрытий над очистными сооружениями, которые бы существенно снижали площадь контакта поверхности сточных вод или осадка с атмосферным воздухом. Данный метод может быть реализован путём устройства простейших приспособлений в виде брезентовых навесов и подобных конструкций (рисунок 1); монтажом стационарных перекрытий, выполненных из облегчённых металлических или полимерных конструкций (рисунок 2); выполнением закрытых капитальных конструкций (с перекрытиями сооружений конструктивными элементами из бетона и железобетона); размещением технологических сооружений по очистке сточных вод под землёй (в шахтах и т.д.).

Создание перекрытий над сооружениями ограничивает интенсивность эмиссии. При вентиляции пространства между уровнем сточной воды или осадка и перекрытием появляется возможность организованного удаления воздуха с его направлением на устройства для его очистки.



Рисунок 1 – Перекрытие анаэробной ёмкости биологической очистки тканевым перекрытием (Очистные сооружения г. Даугавпилс)

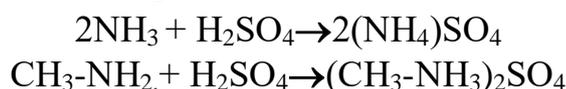


Рисунок 2 – Перекрытие сооружений биологической очистки облегчёнными металлическими конструкциями (Очистные сооружения г. Сеул)

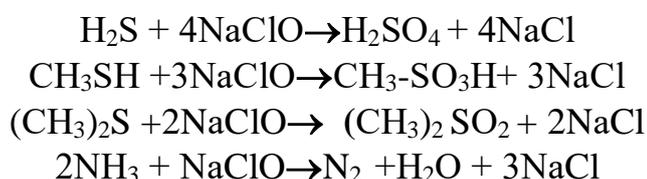
Очистка отводимого воздуха может производиться физико-химической или биологической обработкой. В некоторых случаях в отдельный вид обработки отводимого воздуха выделяется очистка на активированном угле.

Физико-химическая очистка заключается в обработке газовых выбросов реагентами. В зависимости от состава сточных вод и соответственно от состава загрязняющих веществ в выбросах для их обработки используется до четырёх видов реагентов, которые подаются в колонны последовательно.

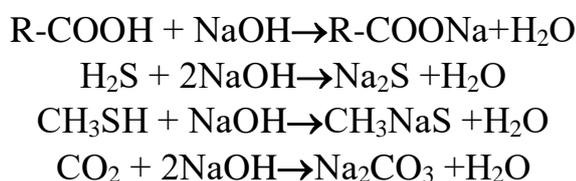
Обработка серной кислотой H_2SO_4 позволяет связать аммиак и амины:



Окисление гипохлоритом натрия удаляет сернистые соединения, в том числе сероводород, органические серосодержащие соединения, меркаптаны, а также аммиак и амины:



Обработка щелочью улавливает летучие жирные кислоты, сернистые соединения и остаточный хлор. При этом удаляются карбоновые кислоты, сероводород и меркаптаны. Однако при этом происходит дополнительное поглощение диоксида углерода из воздуха, которое приводит к увеличению расхода реагентов:



Обработка восстановителями (бисульфитом или тиосульфатом натрия) позволяет очистить газовые выбросы от летучих жирных кислот, остаточного хлора, альдегидов и кетонов.

Реагентная обработка вышеуказанными реагентами производится в скрубберах с подачей в них циркуляционного раствора реагента. Также в качестве реагентов могут использоваться другие виды окислителей.

При биологической очистке воздух из вентиляционных систем направляется на биологические фильтры с загрузкой из природных материалов (кора, щепа). Загрязняющие вещества, содержащиеся в газовых выбросах, задерживаются и окисляются биоплёнкой, развивающейся на поверхности загрузочных материалов, которые периодически заменяются.

Для адсорбционной очистки газов применяются пористые адсорбенты: активированный уголь, силикагель, цеолиты, которые характеризуются высокой сорбционной активностью. Как правило, по мере исчерпания сорбционной активности производится замена загрузки адсорбера.

Технико-экономические показатели процесса адсорбционной обработки газовых выбросов во многом зависят от свойств адсорбентов, требования к которым формировались на основе минимизации энергетических и материальных затрат на очистку. Адсорбент должен иметь высокую сорбционную емкость, которая зависит от удельной площади поверхности и физико-химических свойств поверхностных частиц, а также обладать достаточной механической прочностью. Чтобы аэродинамическое сопротивление слоя было невысоким, плотность адсорбента должна быть небольшой, а форма частиц – обтекаемой, чтобы создавать высокую пористость загрузки. В то же время важно, чтобы при засыпке и работе в слое адсорбента не образовывались полости. Адсорбент для процесса физической сорбции должен быть химически пассивным к улавливаемым компонентам, а для химической сорбции (хемосорбции) – вступать с молекулами загрязнителей в химическую реакцию. Для снижения затрат на десорбцию уловленных компонентов удерживающая способность адсорбента не должна быть слишком высокой. Адсорбенты должны иметь невысокую стоимость и изготавливаться из доступных материалов.

В качестве отдельного направления минимизации интенсивности запаха на очистных сооружениях может рассматриваться распыление дезодорирующих составов над поверхностью сточной воды или осадка для связывания летучих веществ или создание аэрозольных завес по периметру площадки сооружений или по направлению ветров, в сторону размещения жилой застройки. Приводятся данные об использовании таких методов предприятиями ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [7], ОАО «Мосводоканал» [8] и других. Следует учесть, что для очистных сооружений применение дезодорирующих составов в большей части случаев рассматривается как временная мера до проведения реконструкции сооружений, рекультивации площадок размещения осадка и т.д.

Заключение. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений сточных вод рассматриваются в настоящее время как

актуальная проблема. Очистные сооружения сточных вод являются источником эмиссии как парниковых газов (диоксид углерода, метан, оксиды азота) так и дурнопахнущих газов. При этом минимизация распространения запахов в большинстве случаев рассматривается как первоочередная задача в управлении выбросами. Технологии обработки воздуха для снижения эмиссии дурнопахнущих газов интенсивно развиваются на основе использования методов физико-химической и биологической очистки. Также в настоящее время нуждаются в совершенствовании и методы проведения расчетов инвентаризации выбросов газов с очистных сооружений.

Список цитированных источников

1. Закон Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха» от 16 декабря 2008 г. № 2-3.
2. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23.06.2009 № 42 «Об утверждении Инструкции о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь».
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23.06.2009 № 43 «Об утверждении инструкции о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух».
4. П-ООС 17.08-01-2012 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов от объектов очистных сооружений».
5. ТКП 17.08-16-2011 (02120) «Порядок определения выбросов от объектов предприятий нефтехимической отрасли».
6. ГОСТ 32673–2014 Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу.
7. Водоканал продолжает работу по нейтрализации запахов. Код доступа. http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/vodokanal_prodolzhaet_rabotu_po_nejtralizacii_zapahov/
8. Устранение неприятных запахов – автоматический дезодорирующий комплекс. Код доступа <https://www.kntp-project.ru/project/ustranenie-neriyatnykh-zapakhov.html>.
9. Технический справочник по обработке воды. DEGREMONT. 2-е изд, в 2-х т. СПб. Новый журнал. – 2007. – 1696 с.
10. О нормативах допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 19 октября 2020 г. № 21.
11. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. Утверждены постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т.

12. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 ноября 2016 г. № 113.
13. Специфические санитарно-эпидемиологические требования к установлению санитарно-защитных зон объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь 11 декабря 2019 г. № 847.
14. Методические рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от неогранизованных источников станций аэрации сточных вод // Санкт-Петербург. – 2015. – 28 с.
15. Tamara Van Eynde. Dynamics of methane emissions during municipal wastewater treatment/ Tamara Van Eynde, Ghent, June 2013 – 120 p.

UDC 556

WATER MANAGEMENT AND TECHNICAL SCHEME TO ENSURE ENVIRONMENTAL RELEASES FROM BARTOGAI RESERVOIRS

*A. S. Aripzhanova¹, M. B. Arystanov¹, E. D. Zhaparkulova¹,
O. P. Meshik², I. S. Seitсанov¹*

¹Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakstan, sladkaya_93.07@mail.ru

²Brest State Technical University, Brest, Belarus, omeshyk@gmail.com

Abstract

In the article the results of research of nature releases from Bartogay reservoirs and the water-technical scheme of providing. Studies have shown that the daily regulation waves of releases play a major role in the downstream channel regime in the first years of operation of the hydroscheme, then, as the general erosion of the channel develops, their influence is somewhat weaker. Since the flow velocities in the frontal part of the pop-up waves are very high (they may be 2-3 times greater than the velocities of the undisturbed flow), a wave of sediment moves along with the frontal part of the pop-up wave. In a fixed station, this is recorded as a sharp peak in sediment flow. Despite the relative briefness of such peaks, they lead to an overall increase in the mobility of bottom forms and cause intense drift of shipping gaps. High current velocities in the propagation of popup waves intensify coastal erosion.

Key words: flow regulation, water reservoir, hydroscheme, ecosystem, releases, Shelf River

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ПОПУСКОВ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ БАРТОГАЙ

*А. С. Арипжанова, М. Б. Арыстанов, Е. Д. Жапаркулова,
О. П. Мешик, И. С. Сейтсанов*

Аннотация

В статье приведены результаты исследования природоохранных попусков из водохранилища Бартогай и водохозяйственно-техническая схема обеспечения. Исследования показали, что волны попусков суточного