

МЕТОДЫ ДЕЗОДОРАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Е. С. Глущенко, А. А. Кадысева
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

WASTEWATER DEODORIZATION METHODS AT WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Ekaterina S. Glushchenko, Anastasia A. Kadyseva
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье представлен обзор существующих методов снижения выбросов в атмосферу газообразных веществ с характерными неприятными запахами в процессе очистки сточных вод и обработки осадков на городских очистных сооружениях. Обзор проводился на основе российских и зарубежных исследований в период с 2000 по 2020 год. Рассмотрены преимущества и недостатки основных методов снижения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе вблизи очистных сооружений.

Ключевые слова: запахи, сточные воды, очистка сточных вод, дезодорация, биофильтрация, скрубберы, адсорбция, очистные сооружения канализации

Abstract. The article presents a review of existing methods for reducing gases' emissions with specific unpleasant odors during the process of wastewater and sludge treatment at wastewater treatment plants. The review is based on the Russian and foreign research in the period from 2000 to 2020. The article considers advantages and disadvantages of the main methods for reducing the concentration of pollutants in the air near treatment plants.

Key words: odors, wastewater, wastewater treatment, deodorization, biofiltration, scrubbers, adsorption, wastewater treatment plants

Введение

Одним из приоритетных направлений развития Российской Федерации и мирового сообще-

ства в целом является обеспечение населения чистой питьевой водой в требуемом количестве, а также грамотный отвод, транспортировка и

очистка сточных вод до нормативных значений. Уровень комфорта жизни граждан, снижение риска распространения инфекционных и кишечных эпидемий напрямую зависят от этих факторов. Требования к очистке сточных вод перед выпуском их в водный объект предъявляются не только к бытовым стокам, но также к стокам промышленных предприятий ввиду специфичности их состава и высоких концентраций загрязнений.

При проектировании канализационных очистных сооружений требованиями нормативной документации регламентируется их местоположение: с подветренной стороны по отношению к жилой застройке, ниже по течению реки, с соблюдением санитарно-защитных зон (от 100 до 1000 м в зависимости от производительности и технологии очистки). Как известно, процессы очистки сточных вод и обработки осадков сопровождаются дополнительно высвобождением в атмосферу вредных и токсичных газов со зловонным запахом, которые должны нивелироваться санитарно-защитными зонами и не оказывать влияния на жизнедеятельность населения.

Современные темпы демографического роста и индустриализации обуславливают разрастание жилого массива и рост числа промышленных предприятий, что ведет к сокращению защитной зоны очистных сооружений и, как следствие, распространению запахов (одорантов) в пределах жилых кварталов. Также выделяющиеся в атмосферу газы оказывают негативное влияние на здоровье и качество работы обслуживающего персонала непосредственно на станции [1, 2]. В связи с ухудшением состояния атмосферного воздуха и участившимися жалобами населения на неприятные фекальные запахи возникает необходимость в сооружениях по очистке выделяющихся газообразных продуктов на очистных станциях.

Методы исследования

Поиск источников литературы по вопросу образования и методов очистки газов на очистных сооружениях и в системе водоотведения в целом осуществлялся в базах данных Scopus, Web of Science, Elibrary, Google Scholar на английском

и русском языках за период с 2000 по 2020 год. Для подбора релевантных публикаций отбор проводился по ключевым словам «wastewater odorants», «wastewater odors treatment», «volatile organic compounds from wastewater», «carbon footprint on wastewater treatment plants», «удаление запахов на очистных сооружениях», «летучие органические вещества». Все статьи, как обзорные, так и исследовательские, потенциально соотносящиеся с темой данной публикации, были изучены и проанализированы в полном объеме.

Результаты и обсуждения

В рамках публикации было проанализировано 25 источников, 87 % из которых – исследования китайских, индийских, польских и других зарубежных ученых, а 13 % – отечественных авторов.

Состав эмиссионных выбросов с очистных сооружений

К основным загрязнителям воздуха на территории расположения канализационных очистных сооружений относятся аммиак, сероводород, летучие органические соединения, парниковые газы (метан, углекислый газ, закись азота, водяной пар), а также твердые частицы разной степени дисперсности (аэрозоли) [3, 4]. При этом выделение этих загрязнений происходит как со свободной поверхности жидкости сооружений очистки сточных вод, так и с сооружений по обработке и утилизации осадка. Например, суммарные эмиссионные выбросы CO₂ на очистных сооружениях канализации могут достигать 4,23 кг/кг ХПК [4].

Основные источники выбросов загрязняющих веществ

Образование и выделение вредных и пахучих веществ (метана, углекислого газа, сероводорода, аммиака и других) начинается еще в канализационных коллекторах, особенно когда наблюдаются нарушения гидравлических параметров работы сети водоотведения. В результате этого приходящие на очистные сооружения канализации стоки уже могут содержать большое

количество одорантов и прекурсоров (спиртов, альдегидов, кетонов и т. д.).

Согласно информационно-технологическому справочнику по наилучшим доступным технологиям (ИТС 10-2019), можно выделить четыре основные группы процессов очистки сточных вод и обработки осадков, в ходе которых выделяются одоранты:

1. процессы с наиболее интенсивным выделением: удаление песка на песколовках, уплотнение осадка первичного отстойника и/или смеси осадков, уплотнение смеси стабилизированного осадка;
2. процессы с интенсивным выделением: осаждение взвешенных веществ в первичных отстойниках, биологическая очистка сточных вод на биофильтрах, уплотнение избыточного активного ила, механическое обезвоживание осадков, хранение осадка на иловых площадках и площадках подсушивания;
3. процессы с существенным выделением: хранение песка на песковых площадках, биологическая очистка в аэротенках, компостирование обезвоженной смеси осадков первичного и вторичного отстойников;
4. процессы с небольшим выделением: доочистка и обеззараживание сточных вод.

В процессе механической очистки удаляемый из песколовки песок содержит в своем составе органические компоненты, которые являются главными источниками образования неприятных запахов. Первичные отстойники предназначены для удаления взвешенных веществ в процессе осаждения. Так как в данной технологии отсутствуют какие-либо дополнительные процессы, например, биологические или химические, то концентрации выбрасываемых в воздух загрязнений не снижаются. Помимо этого, не удаленный вовремя осадок может провоцировать дополнительные выбросы метана. Всплывающие на поверхность отстойника жировые примеси также способствуют повышению концентраций летучих жирных кислот в воздухе.

После механической очистки сточные воды подвергаются биологической очистке в аэробных реакторах различного типа (аэротенках и

биофильтрах). В результате жизнедеятельности микроорганизмов происходят процессы деструкции органических соединений до простых органических или неорганических производных. На этом этапе наблюдается повышение концентраций углекислого газа, оксидов азота, сероводорода и аммиака [5]. Помимо сероводорода в воздух могут выделяться органические сульфиды (диметилсульфид). Введение перед сооружениями биологической очистки различных добавок – флокулянтов и реагентов для осаждения соединений фосфора ($AlCl_3$, CaO , $FeCl_3$ и других) – также может способствовать высвобождению газообразных продуктов реакции в атмосферу.

Крупным источником эмиссии в атмосферу загрязняющих газов являются сооружения по обработке и утилизации осадков сточных вод. Основные одоранты, образующиеся на данном этапе, – метан и летучие органические соединения, так как процессы протекают в основном при недостатке кислорода.

Характер запаха сточных вод и, соответственно, окружающего воздуха на каждом этапе технологической схемы очистки стоков и обработки осадков обусловлен различными химическими веществами. Например, землистый запах обусловлен наличием в воде геосмина, 2-метилзоборнеола (МИБ), плесневый – трихлоранизола, травянистый – присутствием гексаналя, фекальный – скатола, индола, валериановой кислоты, рыбный – аминными соединениями [6].

Методы дезодорации сточных вод

Самый простой способ предотвращения распространения зловонных запахов – добавление специальных ароматических веществ для их маскировки. Однако данный способ не решает саму проблему очистки газов и их влияния на здоровье населения, а только снижает уровень дискомфорта жителей.

Методы дезодорации можно разделить на две большие группы (рис. 1) [7]:

1. связанные с минимизацией образования газообразных продуктов реакции за счет модернизации или модификации технологии

- очистки стоков и обработки осадков (изменения условий работы биологической очистки);
- направленные на непосредственный отвод газов от сооружений и их отдельную очистку (окислительные методы – термическое и каталитическое окисление, биологические методы; восстановительные – сорбционные методы, мембранные технологии, химические скрубберы).

Способы модификации и модернизации технологии очистки сточных вод

Внесением корректировок в параметры работы очистных сооружений, таких как дополнение аэробной очистки в аэротенках аноксидными и анаэробными зонами, модернизация системы аэрации, корректировка pH среды и концентрации подаваемого в сооружения кислорода, температуры, ввод окислителей (пероксида водорода, перманганата калия, диоксида хлора, озона и других), можно достигнуть снижения эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу до 30 % [8–11]. Например, при повышении pH сероводород трансформируется в ион HS^- , что, соответственно, снижает его выбросы в атмосферу [5, 7]. Обезвреживание осадков в анаэробных условиях на биогазовых установках (метантенках)

также способствует снижению эмиссии вредных веществ и производству энергии для нужд станции. Главным преимуществом являются низкие капитальные затраты, так как не требуется устройства дополнительных сооружений. Однако данными способами можно добиться только незначительного снижения выбросов загрязнений, кроме того, необходима точная наладка технологических и эксплуатационных параметров.

Методы очистки образующихся газов на специальных сооружениях

Методы очистки уже образовавшихся и собранных газов различаются по механизму действия: окислительные и восстановительные (рис. 1). Для обеспечения поступления газов на очистку необходимо предусматривать покрытие сооружений защитным куполом, под которым будет скапливаться загрязненный воздух и по системе вентиляции нагнетаться на сооружения по его обработке.

Биологические методы являются широко распространенным способом борьбы с неприятными запахами на объектах очистных сооружений ввиду простоты их использования, экологичности и относительной экономичности. Биологическими методами за счет окислитель-

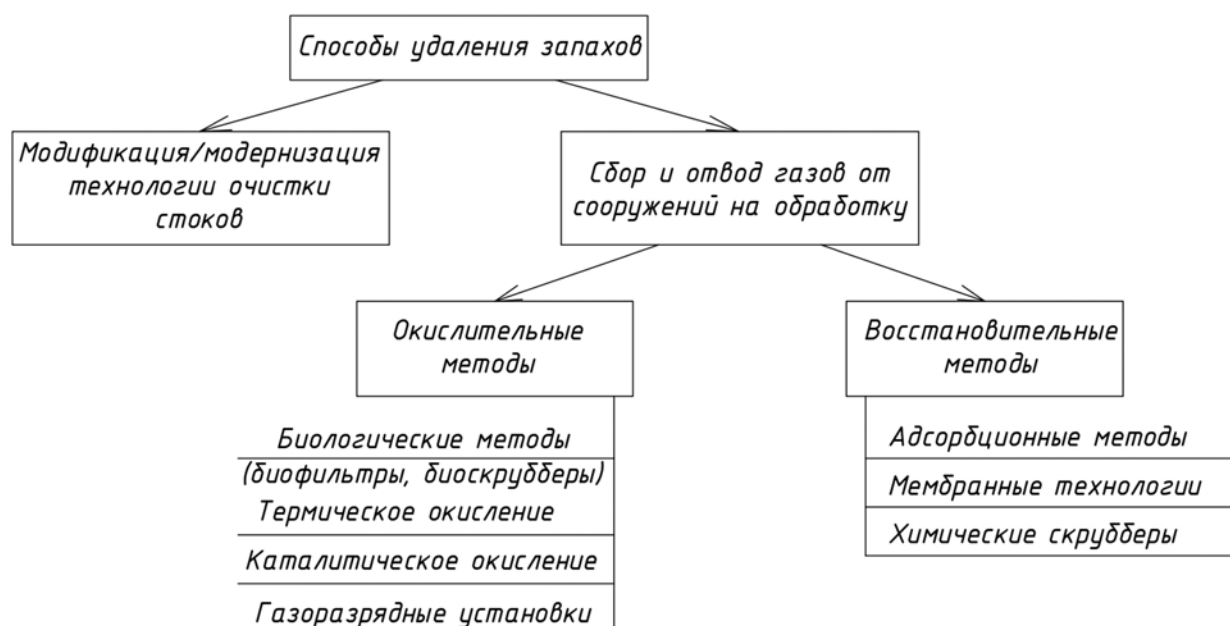


Рис. 1. Классификация методов дезодорации сточных вод

ной способности микроорганизмов возможно удалить из воздуха такие загрязнения, как спирты, кетоны, альдегиды, сероводород, органические кислоты, азотсодержащие компоненты и другие [12, 13]. Сооружениями, принцип действия которых основан на данном методе, являются открытые и капельные биофильтры, биоскрубберы. Принцип биофильтрации заключается в прохождении выделяющихся увлажненных одорантов через слой фильтрующей загрузки с прикрепленной на ее поверхности биопленкой (группы бактерий, грибов, дрожжей, простейших и водорослей). При этом загрязнители подвергаются деструкции микроорганизмами биопленки. В качестве загрузки биофильтра могут выступать древесные опилки, торф, компост, полимерные или керамические материалы с высокой степенью пористости для обеспечения большой площади контакта газа с загрузкой, ввиду низкой стоимости и высокой воздухопроницаемости. В открытых биофильтрах загрязненный воздух, подводимый в нижнюю часть сооружения, проходя через слой загрузки с иммобилизованной биопленкой, очищается от загрязнений и высвобождается в атмосферу через свободную поверхность загрузки. В капельных биофильтрах жидкая среда с питательным субстратом для микроорганизмов непрерывно циркулирует через слой загрузки биофильтра в противоток или в одном направлении с подаваемым на очистку воздухом [14]. Эффективность биологической очистки может достигать 99 % (сероводород – 98,5 %, аммиак – 99,9 %) [15, 16].

Биоскрубберы – сооружения биологической очистки, в которых в качестве орошающей жидкости выступает активный ил. Отводимый от сооружений очистки воздух орошается водной средой (например, сточной водой после вторичного отстаивания), растворяя при этом загрязняющие компоненты воздуха. Загрязненная вода после контакта с воздухом возвращается в аэротенки на очистку. В отличие от биофильтров, биоскрубберы подходят для станций большой производительности, обеспечивая большие эффекты дезодорации. Они эффективны для удаления только легко растворимых в водной среде загрязнений

[5, 17]. Незначительное снижение концентрации сероводорода отмечается в воздухе, прошедшем очистку на биоскрубберах [14].

Основными преимуществами всех биологических методов являются низкие эксплуатационные затраты, а также возможность работы сооружений при атмосферном давлении и широком диапазоне температур (10–40 °С). Однако так же, как и биологическая очистка сточных вод, процессы биофильтрации чувствительны к низким температурам, разовым повышениям концентраций загрязняющих одорантов, что накладывает отпечаток на условия установки биофильтров и обуславливает необходимость обеспечения относительно постоянных концентраций загрязнений [17, 18]. Кроме того, биофильтры занимают достаточно большие площади, что необходимо учитывать при выборе места их устройства [18], также имеет место длительный период адаптации микроорганизмов к количественному и качественному изменению состава поступающего на очистку воздуха.

Недостатков биологических методов дезодорации лишены физико-химические методы, представленные в основном химическими скрубберами и адсорбционными колоннами (физическая сорбция и хемосорбция). При физической адсорбции газообразные загрязнения, проходя через слой неподвижного сорбента, задерживаются в его порах и на поверхности за счет Ван-дер-Ваальсовых сил [7]. В качестве основного сорбента выступает активированный уголь, имеющий значительную площадь контакта с сорбентом и высокую эффективность удаления летучих органических загрязнений. Для обеспечения лучшей дезодорации перед использованием производят обработку угля растворами щелочей (NaOH, KOH), кислот, солей [19, 20]. После адсорбции газов всей поверхностью сорбента активированный уголь отправляют на регенерацию горячим паром. Однако, несмотря на достаточно большую сорбционную эффективность активированного угля (например, сорбция сероводорода – 99,5 % [21]), недостатками данного вида сорбции остаются высокие эксплуатационные затраты, а также сложность регенерации угля.

В качестве альтернативного варианта сорбента применяются природные и синтетические цеолиты, зола, полимерные материалы, керамические и другие материалы, характеризующиеся высокой сорбционной способностью и пористостью. Например, синтетический сорбент NaZSM-5 на 80 % удаляет толуол и этилбензол, на 50 % – бензол, а HZSM-5 практически полностью сорбирует эти загрязняющие компоненты из подводимого воздуха [22]. Данные синтетические материалы экологичны, стабильны, имеют высокую сорбционную способность и способность к регенерации.

Несмотря на высокий эффект удаления загрязнений из воздуха, концентрации на выходе из адсорбера не всегда соответствуют нормативным требованиям. Кроме того, при очистке высококонцентрированных воздушных потоков процессы сорбции становятся весьма затратными. Поэтому для снижения высоких концентраций загрязняющих веществ в воздухе применяют многоступенчатую очистку с адсорберами на второй стадии обработки. Такие системы уже реализованы в Нью-Йорке (США), Ханье (Крит, Греция), Ханчжоу (Китай). На первом этапе очистки более оптимальным и дешевым вариантом служат химические скрубберы.

Существует множество конфигураций скрубберов в зависимости от способа смешения газов с жидкой фазой: скрубберы Вентури, насадочные, барботажные, пенные скрубберы и другие. Как правило, на очистных станциях устанавливаются насадочные скрубберы, в которых подаваемый снизу сооружения газ орошается через вертикальный слой насадки жидкостью. Жидкая фаза непрерывно циркулирует через пластиковую насадку, подпитываясь необходимыми реагентами. В качестве реагентов, добавляемых в орошающий раствор, могут быть использованы гипохлорит натрия, серная кислота, гидроксид натрия, тиосульфат натрия. Наиболее часто применяется гипохлорит натрия, однако он способствует образованию побочных газообразных хлорсодержащих продуктов, также имеющих неприятный запах и опасных для человека. Поэтому на сегодняшний день для удаления неприятных

запахов, в частности, сероводорода, и пылевых частиц идет разработка скрубберов с применением пероксида водорода H_2O_2 . Эффективность удаления сероводорода на таких скрубберах составляет 90-99 % [21, 23].

Для большего эффекта могут использоваться двухступенчатые установки [24] с применением последовательно кислотных окислителей и щелочных восстановителей. Главным недостатком химических скрубберов является необходимость устройства и эксплуатации реагентного хозяйства.

К перспективным методам можно отнести мембранные технологии (обратный осмос, электродиализ, диализ), термическое и каталитическое окисление и газоразрядные установки. Однако они не нашли широкого применения ввиду их сложной эксплуатации и высокой стоимости [25].

Выводы

Проблема выбросов различных газообразных веществ в процессе очистки сточных вод и обработки осадков на канализационных очистных сооружениях существовала со времен строительства очистных станций. В связи с приближением жилой застройки к сооружениям очистки сточных вод она стала особенно актуальной и потребовала более глубокого и конкретного изучения. Ситуация усугубляется наличием у некоторых газовых компонентов специфических зловонных запахов и свойств, отрицательно влияющих на здоровье человека.

Основными местами выделения газов на станции считаются сооружения механической очистки, аэротенки и сооружения по обработке и утилизации осадков (иловые и песковые площадки, стабилизаторы, сбраживатели). Среди наиболее распространенных способов очистки образовавшихся газов можно выделить биологические и физико-химические методы, которые обладают достаточно высокой эффективностью удаления загрязнений. Дополнительно необходимо обеспечить снижение эмиссии газов за счет корректировки параметров работы канализационных очистных сооружений.

Библиографический список

1. Links between cognitive status and trace element levels in hair for an environmentally exposed population : a case study in the surroundings of the estarreja industrial area / M. M. S. C. Pinto, P. Marinho-Reis, A. Almeida [et al.]. – DOI: 10.3390/ijerph16224560. – Direct text // International journal of environmental research and public health. – 2019. – V. 16. – P. 1–20.
2. Byliński, H. Evaluation of health hazard due to emission of volatile organic compounds from various processing units of wastewater treatment plant / H. Byliński, J. Gębicki, J. Namieśnik. – DOI: 10.3390/ijerph16101712. – Direct text // International journal of environmental research and public health. – 2019. – V. 16. – P. 1–16.
3. Air pollution profiles and health risk assessment of ambient volatile organic compounds above a municipal wastewater treatment plant, Taiwan / D. R. Widiana, Y.-F. Wang, S.-J. You [et al.]. – DOI: 10.3390/ijerph16224560. – Direct text // Aerosol and air quality research. – 2019. – V. 19. – P. 375–382.
4. Xie, T. Impact of different factors on greenhouse gas generation by wastewater treatment plants in China / T. Xie, C. Wang. – DOI: 10.1109/ISWREP.2011.5893297. – Text : electronic // 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. – 2011. – P. 1448–1451. – URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/5893297> (date of application : 05.12.2020).
5. Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques / P. Lewkowska, B. Cieslik, T. Dymerski [et al.]. – DOI: 10.1016/j.envres.2016.08.030. – Direct text // Environmental research. – 2016. – V. 151. – P. 573–586.
6. Development of an odor wheel classification scheme for wastewater / G. A. Burlingame, I. H. Suffet, D. Khiari, A. L. Bruchet. – Direct text // Water science and technology. – 2004. – V. 49. – P. 201–209.
7. Khan, F. I. Removal of volatile organic compounds from polluted air / F. I. Khan, A. Kr. Ghoshal. – DOI: 10.1016/S0950-4230(00)00007-3. – Direct text // Journal of loss prevention in the process industries. – 2000. – V. 13. – P. 527–545.
8. Carbon footprint analyses of mainstream wastewater treatment technologies under different sludge treatment scenarios in China / C. Chai, D. Zhang, Y. Yu [et al.]. DOI 10.3390/w7030918. – Direct text // Water. – 2015. – V. 7. – P. 918–938.
9. A rational procedure for estimation of greenhouse-gas emissions from municipal wastewater treatment plants / H. D. Monteith, H. R. Sahely, H. L. MacLean, D. M. Bagley. – DOI: 10.2175/106143005X51978. – Direct text // Water environment research. – 2005. – V. 77. – P. 390–403.
10. Yarıcıoğlu, P. Minimization of greenhouse gas emissions from extended aeration activated sludge process / P. Yarıcıoğlu. – DOI: 10.2166/wpt.2020.100. – Direct text // Water practice and technology. – 2021. – V. 16. – P. 96–107.
11. Баженов, В. И. Варианты технических решений по удалению запаха сточных вод / В. И. Баженов, Е. А. Королева. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 104–107.
12. Орлов, В. А. Изучение процесса появления дурно пахнущих запахов в канализационных сетях и анализ средств их удаления / В. А. Орлов, А. В. Саймуллов, О. В. Мельник. – DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.409-431. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 3. – С. 409–431.
13. Малышева, А. А. Биофильтрация как способ дезодорации газовых выбросов при работе станций аэрации / А. А. Малышева. – Текст : непосредственный // Сантехника. – 2015. – № 3. – С. 40–43.
14. Current status and outlook of odor removal technologies in wastewater treatment plant / B. Ren, Y. Zhao, N. Lyczko, A. Nzihou. – DOI: 10.1007/s12649-018-0384-9. – Direct text // Waste and biomass valorization. – 2019. – V. 10. – P. 1443–1458.
15. Tsang, Y. F. Effects of high ammonia loads on nitrogen mass balance and treatment performance of a biotrickling filter / Y. F. Tsang, L. Wang, H. Chong. – DOI: 10.1016/j.psep.2015.08.008. – Direct text // Process safety environmental protection. – 2015. – V. 98. – P. 253–260.

-
16. Tsang, Y. F. Simultaneous hydrogen sulphide and ammonia removal in a biotrickling filter : crossed inhibitory effects among selected pollutants and microbial community change / Y. F. Tsang, L. Wang, H. Chua. – DOI: 10.1016/j.cej.2015.06.107. – Direct text // Chemical engineering journal. – 2015. – V. 281. – P. 389–396.
 17. An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems / A. Talaiekhosani, M. Bagheri, A. Goli, M. R. T. Khoozani. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.01.021. – Direct text // Journal of environmental management. – 2016. – V. 170. – P. 186–206.
 18. Lebrero, R. Characterization and biofiltration of a real odorous emission from wastewater treatment plant sludge / R. Lebrero, M. G. L. Rangel, R. Muñoz. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.038. – Direct text // Journal of environmental management. – 2013. – V. 116. – P. 50–57.
 19. VOCs removal by adsorption onto activated carbons from biocollagenic wastes of vegetable tanning / R. R. Gil, B. Ruiz, M. S. Lozano [et al.]. – DOI: 10.1016/j.cej.2014.02.012. – Direct text // Chemical engineering journal. – 2014. – V. 245. – P. 80–88.
 20. About reactions occurring during chemical activation with hydroxides / M. A. Lillo-Ródenas, J. Juan-Juan, D. Cazorla-Amorós, A. Linares-Solano. – DOI: 10.1016/j.carbon.2004.01.008. – Direct text // Carbon. – 2004. – V. 42. – P. 1371–1375.
 21. Устранение неприятных запахов от городских очистных сооружений канализации / П. Карагеоргос, М. Латос, М. Лазаридис, Н. Калогеракис. – Текст : непосредственный // НДТ. – 2018. – № 1. – С. 25–36.
 22. Aziz, A. Adsorptive volatile organic removal from air onto NaZSM-5 and HZSM-5: kinetic and equilibrium studies / A. Aziz, K. S. Kim. – DOI: 10.1007/s11270-017-3497-z. – Direct text // Water, air, & soil pollution. – 2017. – V. 228. – P. 1–11.
 23. Use of hydrogen peroxide in scrubbing towers for odor removal in wastewater treatment plants / I. Charron, C. Féliers, A. Couvert [et al.]. – DOI: 10.2166/wst.2004.0281. – Direct text // Water science and technology. – 2004. – V. 50. – P. 267–274.
 24. Treating odorous and nitrogenous compounds from waste composting by acidic chlorination followed by alkaline sulfurization / W.-H. Chen, Y.-C. Lin, J.-H. Lin [et al.]. – DOI: 10.1089/ees.2013.0272. – Direct text // Environmental engineering science. – 2014. – V. 31. – P. 583–592.
 25. Ryltseva, Yu. Measures to prevent sewerage odor emissions into the atmosphere / Y. Ryltseva, V. Orlov. – DOI: 10.1088/1757-899X/869/4/042002. – Text : electronic // IOP conference series: materials science and engineering. – 2020. – V. 869. – URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/869/4/042002/meta> (date of application : 10.02.2021).

References

1. Pinto, M. M. S. C., Marinho-Reis, P., Almeida, A., Pinto, E., Neves, O., Inacio, M., ... Moreira, P. I. (2019). Links between cognitive status and trace element levels in hair for an environmentally exposed population: a case study in the surroundings of the estarreja industrial area. *International journal of environmental research and public health*, (16) pp. 1-20. (In English). DOI: 10.3390/ijerph16224560
2. Byliński, H., Gębicki, J., & Namieśnik, J. (2009). Evaluation of health hazard due to emission of volatile organic compounds from various processing units of wastewater treatment plant. *International journal of environmental research and public health*, (16), pp. 1-16. (In English). DOI: 10.3390/ijerph16101712
3. Widiana, D. R., Wang, Y.-F., You, S.-J., Yang, H.-H., Wang, L.-C., Tsai, J.-H., & Chen, H.-M. (2019). Air pollution profiles and health risk assessment of ambient volatile organic compounds above a municipal wastewater treatment plant, Taiwan. *Aerosol and air quality research*, (19), pp. 375-382. (In English). DOI: 10.3390/ijerph16224560

4. Xie, T., & Wang, C. (2011). Impact of different factors on greenhouse gas generation by wastewater treatment plants in China. *International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*, 20-22 May, Xi'an, China, pp. 1448-1451. (In English). DOI: 10.1109/ISWREP.2011.5893297. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5893297> (date of application : 05.12.2020).
5. Lewkowska, P., Cieslik, B., Dymerski, T., Konieczka, P., & Namiesnik, J. (2016). Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. *Environmental research*, (151), pp. 573-586. (In English). DOI: 10.1016/j.envres.2016.08.030
6. Burlingame, G. A. Suffet, I. H., Khiari, D., & Bruchet, A. L. (2004). Development of an odor wheel classification scheme for wastewater. *Water science and technology*, (49), pp. 201-209. (In English).
7. Khan, F. I., & Ghoshal, A. Kr. (2000). Removal of volatile organic compounds from polluted air. *Journal of loss prevention in the process industries*, (13), pp. 527-545. (In English). DOI: 10.1016/S0950-4230(00)00007-3
8. Chai, C., Zhang, D., Yu, Y., Feng, Y., & Wong, M. S. (2015). Carbon footprint analyses of mainstream wastewater treatment technologies under different sludge treatment scenarios in China. *Water*, (7), pp. 918-938. (In English). DOI: 10.3390/w7030918
9. Monteith, H. D. Sahely, H. R., MacLean, H. L., & Bagley, D. M. (2005). A rational procedure for estimation of greenhouse-gas emissions from municipal wastewater treatment plants. *Water environment research*, (77), pp. 390-403. (In English). DOI: 10.2175/106143005X51978
10. Yapıcıoğlu, P. (2021). Minimization of greenhouse gas emissions from extended aeration activated sludge process. *Water practice and technology*, (16), pp. 96-107. (In English). DOI: 10.2166/wpt.2020.100
11. Bazhenov, V. I., & Koroleva, E. A. (2014). Varianty tekhnicheskikh resheniy po udalenyu zapakha stochnykh vod. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*, (5), pp. 104-107. (In Russian).
12. Orlov, V. A., Saimullov, A. V., & Melnik, O. V. (2020). A study of the process of malodor formation in sewer networks and analysis of methods for its elimination. *Vestnik MGSU*, 15(3), pp. 104-107. (In Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.409-431
13. Malysheva, A. A. (2015). Biofil'tratsiya kak sposob dezodoratsii gazovykh vybrosov pri rabote stantsiy aeratsii. *Santekhnika*, (3), pp. 40-43. (In Russian).
14. Ren, B., Zhao, Y., Lyczko, N., & Nzihou, A. (2019). Current status and outlook of odor removal technologies in wastewater treatment plant. *Waste and biomass valorization*, (10), pp. 1443-1458. (In English). DOI: 10.1007/s12649-018-0384-9
15. Tsang, Y. F., Wang, L., & Chong, H. (2015). Effects of high ammonia loads on nitrogen mass balance and treatment performance of a biotrickling filter. *Process safety environmental protection*, (98), pp. 253-260. (In English). DOI: 10.1016/j.psep.2015.08.008
16. Tsang, Y. F., Wang, L., & Chua, H. (2015). Simultaneous hydrogen sulphide and ammonia removal in a biotrickling filter: crossed inhibitory effects among selected pollutants and microbial community change. *Chemical engineering journal*, (281), pp. 253-260. (In English). DOI: 10.1016/j.cej.2015.06.107
17. Talaiekhazani, A., Bagheri, M., Goli, A., & Khoozani, M. R. T. (2016). An overview of principles of odor production, emission, and control methods in wastewater collection and treatment systems. *Journal of environmental management*, (170), pp. 186-206. (In English). DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.01.021
18. Lebrero, R., Rangel, M. G. L., & Muñoz, R. (2013). Characterization and biofiltration of a real odorous emission from wastewater treatment plant sludge. *Journal of environmental management*, (116), pp. 50-57. (In English). DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.038
19. Gil, R. R. Ruiz, B., Lozano, M. S., Martin, M. J., & Fuente, E. (2014). VOCs removal by adsorption onto activated carbons from biocollagenic wastes of vegetable tanning. *Chemical engineering journal*, (245), pp. 80-88. (In English). DOI: 10.1016/j.cej.2014.02.012

-
20. Lillo-Ródenas, M. A., Juan-Juan, J., Cazorla-Amorós, D., & Linares-Solano, A. (2004). About reactions occurring during chemical activation with hydroxides. *Carbon*, (42), pp. 1371-1375. (In English). DOI: 10.1016/j.carbon.2004.01.008
 21. Karageorgos, P., Latos, M., Lazaridis, M., & Kalogerakis, N. (2018). Ustranenie nepriyatnykh zapakhov ot gorodskikh ochistnykh sooruzheniy kanalizatsii. *Nailuchshie dostupnye Tekhnologii Vodospabzheniya i Vodootvedeniya*, (1), pp. 40-43. (In Russian).
 22. Aziz, A., & Kim, K. S. (2017). Adsorptive volatile organic removal from air onto NaZSM-5 and HZSM-5: kinetic and equilibrium studies. *Water, air, & soil pollution*, (228), pp. 1-11. (In English). DOI: 10.1007/s11270-017-3497-z
 23. Charron, I., Feliers, C., Couvert, A., Laplanche, A., Patria, L., & Requieme, B. (2004). Use of hydrogen peroxide in scrubbing towers for odor removal in wastewater treatment plants. *Water science and technology*, (50), pp. 267-274. (In English). DOI: 10.2166/wst.2004.0281
 24. Chen, W.-H., Lin, Y.-C., Lin, J.-H., Yang, P.-M., & Jhang, S.-R. (2014). Treating odorous and nitrogenous compounds from waste composting by acidic chlorination followed by alkaline sulfurization. *Environmental engineering science*, (31), pp. 583-592. (In English). DOI: 10.1089/ees.2013.0272
 25. Ryltseva, Yu., & Orlov, V. (2020). Measures to prevent sewerage odor emissions into the atmosphere. *IOP conference series: materials science and engineering*, (869). (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/869/4/042002. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/869/4/042002/meta> (date of application : 10.02.2021).

Сведения об авторах

Глущенко Екатерина Сергеевна, ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: ekaterina.gluschenko.1997@mail.ru

Кадысева Анастасия Александровна, д. б. н., профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, Тюменский индустриальный университет, e-mail: kadysevaaa@tyuiu.ru

Information about the authors

Ekaterina S. Glushchenko, Assistant at the Department of Water Supply and Sanitation, Industrial University of Tyumen, e-mail: ekaterina.gluschenko.1997@mail.ru

Anastasia A. Kadyseva, Doctor of Biology, Professor at the Department of Water Supply and Sanitation, Industrial University of Tyumen, e-mail: kadysevaaa@tyuiu.ru

Для цитирования: Глущенко, Е. С. Методы дезодорации сточных вод на канализационных очистных сооружениях / Е. С. Глущенко, А. А. Кадысева. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-40-49. – Текст : непосредственный // *Архитектура, строительство, транспорт*. – 2021. – № 2. – С. 40–49.

For citation: Glushchenko, E. S., & Kadyseva, A. A. (2021). Wastewater deodorization methods at wastewater treatment plants. *Arkhitectura, stroitel'stvo, transport [Architecture, construction, transport]*, (2), pp. 40-49. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-40-49.