УДК 628.31

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-173-180

© А. М. Телятникова, аспирант

© А. М. Teliatnikova, post-graduate student

© С. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент

© S. V. Fedorov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© М. И. Алексеев, д-р техн. наук, профессор

© M. I. Alekseev, Dr. Sci. Tech., Professor

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия)

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: sik3000@list.ru, svyatoslavfedorov@mail.ru

E-mail: sik3000@list.ru, svyatoslavfedorov@mail.ru

МОНИТОРИНГ САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

MONITORING OF THE SANITARY-ECOLOGICAL SITUATION IN A SEWER NETWORK

Рассмотрена проблема негативного воздействия канализационных газов на санитарно-экологическую обстановку городской среды. Выполнен мониторинг данных газов на участке канализационной сети с тремя смотровыми колодцами как наиболее распространенным видом сооружений. Для контроля концентраций газов измерительное оборудование устанавливалось в колодцах на сутки. По результатам обследования установлено наличие в системе метана и повышенное содержание диоксида углерода. Также осуществлено однократное измерение концентраций газов на поверхности земли вблизи колодцев. По результатам мониторинга сооружения смотрового колодца выявлен низкий потенциал загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: канализационная сеть, смотровой колодец, канализационные газы, метан, сероводород, диоксид углерода, газоанализатор.

The article deals with the problem of the negative impact of sewage gases on the sanitary and environmental conditions of the urban environment. There was performed monitoring of gases at a section of the sewer network with three observation wells as the most common type of structures. To control gas concentration, measuring equipment was installed in the wells for twenty four hours. According to the results of the survey, there was established the presence of methane and an increased content of carbon dioxide in the system. Also, a one-shot measurement of gas concentration in the environment near the wells was carried out. Based on the monitoring results at the observation wells, a low potential of the air pollution has been identified.

Keywords: sewer network, observation well, sewer gases, methane, hydrogen disulfide, carbon dioxide, gas sensor.

В современном техногенном обществе особое внимание уделяется вопросам здравоохранения и охраны окружающей среды. К сожалению, помимо очевидных негативных факторов, каждый человек ежедневно подвергается и более скрытым видам воздействия. Одним из таких видов можно назвать выделение и распространение канализационных газов в окружающей среде. Основными газами системы канализации являются сероводород, метан, аммиак, диоксид углерода, оксид углерода. Все они в большей или меньшей степени способны оказывать негатив-

ное воздействие как на человека, так и на экосистемы (таблица).

Хотелось бы отметить, что в нормативной документации особо выделяются сероводород и оксид углерода как соединения с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе¹. Кроме того, по мнению некоторых исследователей, в современной документации Российской Федерации (РФ) по данному вопросу малое внимание уделено нормированию метана. Так,

¹ ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. М., 2018. 170 с. (Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru).

А. В. Сауц говорит о недостаточности контроля наличия метана в атмосферном воздухе с помощью ориентировочных безопасных уровней выбросов (ОБУВ) и предельно допустимых концентраций рабочей зоны (ПДК_{р.з.}) [1]. На основании биологических исследований токсического воздействия этого соединения на живые организмы автором устанавливаются величины среднесуточных и максимальных разовых концентраций, равные ПДК_{с.с.} = 7,07 мг/м³ и ПДК_{м.р.} = 27,23 мг/м³.

Основными последствиями выделения газов от системы канализации в окружающую среду являются: ощущение запаха [2–6], раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей [7–9], отравления и удушья с возможностью летального исхода [10]. Особенно

бы хотелось отметить проблему ароматического загрязнения городских территорий как наиболее распространенное последствие выделения газа. Запах в современной системе нормирования РФ входит в состав рефлекторного лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), получившего свое численное отражение в величинах ПДК_{м.р.}². Аналогичный подход к нормированию используется и в других странах [3]. В соответствии с ГОСТ 32673–2014³ ПДК_{м.р.} устанавливается с учетом

² СанПиН 2.1.6.1032–01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. 12 с. (Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти).

³ ГОСТ 32673–2014 Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу. М.: Стандартинформ, 2004. 22 с.

Свойства канализационных газов

Свойства	Сероводород	Диоксид углерода	Метан	Аммиак	Оксид углерода
Химическая формула	H ₂ S	CO ₂	CH ₄	NH ₃	CO
Плотность, кг/м ³	1,52	1,98	0,72	0,77	1,25
Цвет	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный
Запах	Запах «тухлых яиц», теряется при высоких концентрациях	Без запаха	Без запаха	Характерный, проникающий и острый запах	Без запаха
Воспламеняемость и взрывоопасность	Огнеопасен	Не горюч	Чрезвычайно огнеопасен	Низкая опасность пожара	Низкая опасность пожара
Токсичность	Очень токсичен	Удушающий	Удушающий	Очень токсичен	Токсичен
ПДК _{с.с.} [*] , мг/м ³	–	–	–	0,04	3,0
ПДК _{м.р.} ^{**} , мг/м ³	0,008	–	–	0,2	5,0
ПДК _{р.з.} ^{**} , мг/м ³	10	27000/9000	7000	20	20
ОБУВ ^{***} , мг/м ³	–	–	50	–	–
Класс опасности	2	4	4	4	4
ЛПВ	Рефлекторный	–	–	Рефлекторно-резорбтивный	Резорбтивный
Суммация при нормировании	NH ₃ , CH ₂ O, SO ₂ , динил	–	–	C ₃ H ₄ O ₂ , C ₄ H ₆ O ₂ , C ₅ H ₁₂ O, C ₄ H ₆ O ₂ , C ₅ H ₈ O ₂ , H ₂ S, CH ₂ O, SO ₂ , SO ₃ , NO _n	NO ₂ , C ₆ H ₁₄ , C ₆ H ₁₂ , CH ₂ O, SO ₂ , C ₆ H ₅ OH

^{*} ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М., 2017. 57 с. (Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru).

^{**} ГН 2.2.5.3532–18. 170 с.

^{***} ГН 2.1.6.2309–07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М., 2008. 136 с. (Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти).

16 %-ного вероятностного порога ощущения «неопределенного» запаха (EC16), коэффициента запаса и класса опасности. По мнению некоторых исследователей [11] достаточность применения критерия именно «неопределенного» запаха как лимитирующего остается под сомнением. Стоит сказать, что и рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по нормированию канализационных газов с точки зрения запаха для Европы несколько строже, чем величины, действующие в РФ.

Конечно, не все сооружения и сети системы канализации одинаково подвержены процессам образования и эмиссии газов. Особого внимания заслуживают камеры гашения напора (КГН) и самотечные участки трубопроводов после них, перепадные колодцы [12], канализационные насосные станции (КНС), а также протяженные коллекторы большого диаметра. Но наиболее распространенным видом сооружений в городской среде остаются смотровые колодцы, которые в соответствии с требованиями СП 32.13330.2018⁴ могут устанавливаться на расстоянии от 35 до 300 м. Поэтому целью данной работы стал мониторинг канализационных газов и оценка потенциала выделения загрязнений в атмосферный воздух от смотровых колодцев.

В качестве натурного объекта исследования был выбран участок хозяйственно-бытовой сети промышленной зоны Обухово г. Санкт-Петербурга протяженностью 150 м. Данная сеть (рис. 1) принимает хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды. Важно отметить высокую неравномерность поступления сточных вод различной природы происхождения в сеть вследствие разнообразия режимов работы обслуживаемых абонентов. По своему устройству сеть является самотечной с диаметрами трубопроводов от 300 до 500 мм. Транспортировка стоков осуществляется на располагающуюся вблизи железнодорожной станции «Обухово» КНС типового образца с расчетной производительностью 170 м³/ч. В напорном режиме сточные воды транспортируются под железнодорожными путями и в дальнейшем поступают в КГН, расположенную рядом со станцией метрополитена. Выбранный для проведения исследования участок сети вклю-

чает в себя смотровые колодцы 101б, 101а и 101 (см. рис. 1). В колодцах 101 и 101а осуществляется подключение выпусков от абонентов. Все смотровые колодцы располагаются на магистральном коллекторе диаметром 500 мм.

Мониторинг работы выбранного участка включал измерение климатических характеристик (температуры, влажности, давления), а также фиксацию концентраций таких газов, как сероводород, диоксид углерода, кислород, аммиак, метан. Фиксация климатических параметров осуществлялась термогигрометрами ИВТМ-7м, определяющими относительную влажность (от 0 до 99 %), температуру (от -20 до +50 °С) и давление (от 84 до 106 кПа). Опыт по измерению самих газов производился при помощи газоанализаторов Микросенс 001.001.001.РЭ двух видов. За первым видом газоанализаторов были закреплены датчики для измерения H₂S (от 0 до 200 ppm) и CO₂ (от 0 до 2,5 об. д. %). Второй вид газоанализаторов включал датчики для измерения CH₄ (от 0 до 100 об. д. %), NH₃ (0 до 200 ppm) и O₂ (от 0 до 30 об. д. %). В общей сложности при проведении опыта было задействовано четыре термогигрометра и восемь газоанализаторов. Приборы позволяют непрерывно выполнять измерения в течение всего периода работы аккумуляторных батарей, осуществляя запись результатов.

Процесс обследования включал две фазы работы: мониторинг качества газовой смеси в подсводном пространстве смотрового колодца и измерения на поверхности земли вблизи люка колодца. Установка оборудования внутрь сооружения осуществлялась на 25 часов, измерения концентраций газов на поверхности земли проводились однократно.

На рис. 2 представлен внешний вид устанавливаемого в подсводное пространство блока измерительного оборудования и способ его монтажа в колодце. Для удобства монтажа был выполнен короб из оргстекла 4, имеющий три отделения 1–3. Крепление короба в колодцах и шахтах осуществляется с помощью пластиковых хомутов 6 к ходовым скобам 5. Установка блока в колодце осуществлялась на первой ходовой ступени. В момент крепления короба в колодцах 101 и 101а датчиками фиксировался дефицит кислорода, наблюдался эффект удушья при дыха-

⁴ СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85. М.: Стандартинформ, 2019. 87 с.

Рис. 1. Схема действующей канализационной сети

Рис. 2. Схема и установка измерительного блока в смотровой колодец [13]: 1 — газоанализатор с датчиками измерения H_2S и CO_2 ; 2 — газоанализатор с датчиками измерения NH_3 , O_2 , CH_4 ; 3 — термогигрометр; 4 — короб из оргстекла; 5 — ходовая скоба в колодце; 6 — пластиковый хомут

Рис. 3. Распределение концентраций газов в колодцах обследуемой сети в течение периода измерений: а — газ O_2 ; б — газ CO_2 ; в — газ CH_4

нии, что связано с наличием в системе метана. Газовоздушная среда характеризовалась высокой влажностью.

В результате мониторинга и обработки статистических данных было выявлено присутствие в сети диоксида углерода, метана и кислорода. Аммиак и сероводород зафиксированы оборудованием не были. Это может быть объяснено тем, что оба этих соединения не свойственны составу хозяйственно-бытового стока и чаще всего встречаются в сточных водах промышленных предприятий и предприятий агротехнического комплекса. Графическое отображение результатов измерения газов представлено на рис. 3.

Значения концентраций кислорода, наблюдаемые в колодце 101б, соответствовали нормальным атмосферным условиям. Содержания кислорода в колодцах 101а и 101 характеризовались пониженными значениями, при этом в колодце 101 недостаток наблюдался в течение всего периода измерений, а в колодце 101а только в период с 12:00 до 22:30, что может соответствовать режиму работы подключаемого абонента. Содержание диоксида углерода во всех колодцах было избыточным и достигало пикового значения 0,56 об. д. % в колодце 101. Наиболее подверженным загрязнению метаном оказался колодец 101. Концентрация газа колебалась в диапазоне от 64,4 до 128,8 мг/м³.

Описанные выше параметры позволяют сказать, что колодец 101 представляет наибольший интерес с точки зрения вопроса дегазации. При этом приток от абонента в данном колодце круглосуточный, в отличие от притока в колодце 101а, где режим работы абонента ярко отражается на всех графических зависимостях. Важно отметить, что для загрязненных метаном колодцев 101 и 101а наблюдается повышение концентрации данного соединения в ночные часы. Это объясняется снижением скорости потока за счет уменьшения расхода сточных вод и способствует протеканию массообменных и диффузных процессов. Также повышение концентрации метана в колодце 101 во второй половине опыта является следствием продвижения газовоздушного потока с метаном из колодца 101а за счет увлекающей способности жидкости.

Температура воздушной среды в сети колеблется от 12,2 до 16,7 °С. Повышение температуры происходит локально в колодцах, где осуществляется выпуск сточных вод. Величина давления изменялась аналогично значениям температуры в течение всего опыта. Средние значения давления по сети составляли от 97,8 до 100,4 кПа. Относительная влажность менялась от 93 до 99 %. За весь период наблюдения влажность в смотровых колодцах только возрастала. Рост вызван сбросом теплых сточных вод и протеканием процесса парообразования.

Проведение натурного эксперимента на поверхности земли вблизи люков обследуемых колодцев не выявило присутствия канализационных газов. Наблюдалось незначительное повышение концентрации CO₂ до величины 0,04 об. д. %, что может быть обусловлено не воздействием системы канализации, а наличием поблизости крупных транспортных узлов.

Результаты мониторинга свидетельствуют о низкой степени газовыделения от смотровых колодцев, что объясняется наличием вакуумметрического давления, создаваемого увлекающей способностью транспортируемого потока. Кроме того, описанное явление позволяет сделать заключение о достаточности существующего подхода, обеспечивающего только подбор сечения и уклона, для расчета сетей малого и среднего диаметра, не имеющих значительных изменений с точки зрения гидродинамического режима (отсутствие гидравлических прыжков, перепадов высот, быстроток, напорных участков и т. д.).

Но важно понимать, что не все сооружения системы канализации могут быть так безвредны. По статистическим данным концентрации сероводорода в КГН и КНС могут достигать порядка 300 мг/м³ [14, 15], а метан может смешиваться с воздухом в опасных пропорциях 5/95 % и приводить к взрывам и обрушениям. На основании этого можно сделать вывод о том, что для подобных объектов существующая методика подходит не абсолютно. Необходимо введение дополнительных видов расчетов, способных учитывать степень подверженности участка или объекта газовыделению. Так, проведение аэродинамического расчета системы позволит определить точки опасного скопления газов и принять решения о вентиляции того или иного участка, его

дополнительной коррозионной защите. Расчет поля концентраций распространения газов в атмосферном воздухе от объектов канализации позволит корректно определить необходимость установки сооружений газоочистки или потребность в формировании защитной зоны.

Библиографический список

1. Сауц А. В. Определение ПДК метана в воздухе населенных мест методом эколого-токсикологической оценки на живые организмы // Вестник СВФУ. 2018. № 3 (65). С. 17–23.
2. Богомолов М. В., Кармазинов Ф. В., Костюченко С. В. Методы удаления запахов в системах транспортировки и очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 7. С. 33–43.
3. Bokowa A. H. The Review of the Odour Legislation // Proceedings of the Water Environment Federation. 2010. № 20. Pp. 492–511.
4. Sivret E., Stuetz R. Sewer odour abatement monitoring - An Australian survey // Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research. 2012. № 66. Pp. 1716–1721.
5. Sivret E., Wang B., Parcsi G., Kenny S., Bustamante H., Stuetz R. Beyond H₂S: Applying Gas Chromatography to Characterise Sewer Odour Emissions. Proceedings of the Water Environment Federation. 2012. Pp. 60–73.
6. Marleni N., Gray S., Sharma A., Burn S., Muttill N. Modeling the Effects of Sewer Mining on Odour and Corrosion in Sewer Systems // 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, 2013. Pp. 2813–2819.
7. Taleb A., Kanbouchi I., Souabi S., Chtaini A. Etude de la problématique de la présence de l'H₂S dans le réseau d'assainissement de la ville basse de la ville de Mohammedia // Journal of Materials and Environmental Science. 2015. № 6 (8). Pp. 2137–2147.
8. Wang B., Sivret E., Parcsi G., Wang X., Le N., Kenny S., Bustamante H., Stuetz R. Is H₂S a suitable process indicator for odour abatement performance of sewer odours? // Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research. 2014. № 69. Pp. 92–98.
9. Vollertsen J., Revilla N., Hvitved-Jacobsen T., Asbjorn H. Modeling Odors and Hydrogen Sulfide in the Sewers of San Francisco // Proceedings of the Water Environment Federation. 2014. C. 1–11.
10. Burlet-Vienney D., Chinniah Y., Bahloul A., Roberge B. Occupational safety during interventions in confined spaces // Safety Science. 2015. № 79. Pp. 19–28.
11. Бударина О. В. Актуальные вопросы управления запахом в атмосферном воздухе и пути их реше-

ния в современных условиях // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 5 (42). С. 435–437.

12. Малков А. В. Предотвращение коррозии конструкционных материалов в системах водоотведения на основе организации газообмена: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2017. 179 с.

13. Федоров С. В., Васильев В. М., Клементьев М. Н. Исследование газовыделения на участке канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 5. С. 54–60.

14. Лейбович Л. И., Пацурковский П. А. Моделирование динамики поступления сероводорода в окружающую среду при работе насосов канализационных насосных станций // Вестник ХНАДУ. 2016. № 72. С. 176–181.

15. Горелик И. Н., Ситническая Э. А., Штейнберг В. А. Газовая коррозия канализационного коллектора г. Егорьевска // Водоснабжение и санитарная техника. 1984. № 12. С. 3–4.

References

1. Sauts A. V. *Opredelenie PDK metana v vozdukhie naselennykh mest metodom ekologo-toksikologicheskoy otsenki na zhivye organizmy* [Determination of the MAC of methane in the air of inhabited areas by the method of ecological and toxicological assessment for living organisms]. *Vestnik SVFU – Vestnik NEFU*, 2018, no. 3 (65), pp. 17–23.
2. Bogomolov M. V., Karmazinov F. V., Kostyuchenko S. V. *Metody udaleniya zapakhov v sistemakh transportirovki i ochistki stochnykh vod* [Methods for odour abatement in waste water transportation and treatment systems]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary equipment*, 2016, no. 7, pp. 33–43.
3. Bokowa A. H. The review of the odour legislation. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2010, no. 20, pp. 492–511.
4. Sivret E., Stuetz R. Sewer odour abatement monitoring. Australian survey. *Water Science and Technology: Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2012, no. 66, pp. 1716–1721.
5. Sivret E., et al. Beyond H₂S: Applying gas chromatography to characterise sewer odour emissions. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2012, pp. 60–73.
6. Marleni N., et al. Modeling the effects of sewer mining on odour and corrosion in sewer systems. *Proc. of the 20-th International congress on modeling and simulation*, Adelaide, 2013, pp. 2813–2819.
7. Taleb A., Kanbouchi I., Souabi S., Chtaini A. Etude de la problématique de la présence de l'H₂S dans le réseau d'assainissement de la ville basse de la ville de

Mohammedia. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2015, no. 6 (8), pp. 2137–2147.

8. Wang B., et al. Is H_2S a suitable process indicator for odour abatement performance of sewer odours? *Water Science and Technology: Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 2014, no. 69, pp. 92–98.

9. Vollertsen J., Revilla N., Hvitved-Jacobsen T., Asbjorn H. Modeling odors and hydrogen sulfide in the sewers of San Francisco. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2014, pp. 1–11.

10. Burlet-Vienney D., Chinniah Y., Bahloul A., Roberge B. Occupational safety during interventions in confined spaces. *Safety Science*, 2015, no. 79, pp. 19–28.

11. Budarina O. V. Aktual'nye voprosy upravleniya zapakhom v atmosfernom vozdukh i puti ikh resheniya v sovremennykh usloviyakh [Topical issues of controlling odour in ambient air and ways of solving these problems in modern conditions]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya – World of science, culture, education*, 2013, no. 5 (42), pp. 435–437.

12. Malkov A. V. Predotvrashchenie korrozii konstruktsionnykh materialov v sistemakh vodootvedeniya na osnove organizatsii gazoobmena. Diss. kand. tekhn.

nauk [Prevention of corrosion of structural materials in water disposal systems based on gas exchange control. PhD in Sci. Tech. diss.]. Saint-Petersburg, SPbGASU Publ., 2017, 179 p.

13. Fedorov S. V., Vasil'ev V. M., Klement'ev M. N. Issledovanie gazovydeleniya na uchastke kanalizatsionnoy seti [Investigation of gas emission at a section of the sewer network]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary equipment*, 2019, no. 5, pp. 54–60.

14. Leybovich L. I., Patsurkovskiy P. A. Modelirovanie dinamiki postupleniya serovodoroda v okruzhayushchuyu sredu pri rabote nasosov kanalizatsionnykh nasosnykh stantsiy [Modeling of the dynamics of hydrogen sulfide entering the environment during the operation of pumps of sewage pumping stations]. *Vestnik KhNADU – Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*, 2016, no. 72, pp. 176–181.

15. Gorelik I. N., Sitnitskaya E. A., Shteynberg V. A. Gazovaya korroziya kanalizatsionnogo kollektora g. Egor'evska [Gas corrosion of the sewer collector in the town of Egor'yevsk]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary equipment*, 1984, no. 12, pp. 3–4.