

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАМЕРЫ ГАШЕНИЯ НАПОРА

Телятникова А. М., Федоров С. В., Кудрявцев А. В.

MONITORING OF AMBIENT AIR AND AIR INSIDE A SURGE CHAMBER

Telyatnikova A. M., Fedorov S. V., Kudryavtsev A. V.

Аннотация

Введение. Транспортировка сточной жидкости по системе канализации сопровождается непрерывным образованием и выделением канализационных газов. Особого внимания с позиции десорбционной способности заслуживают камеры гашения напора (КГН), которые совмещают в себе смену режима движения и условий прибывания жидкости, а также перепад потока. Выделение канализационных газов имеет неприятные последствия для санитарно-экологической безопасности окружающей среды. В связи с этим актуальным становится осуществление контроля выбросов канализационных газов с последующей оценкой состояния атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны КГН. **Методы.** Для мониторинга выбрано сооружение КГН, располагающееся в г. Череповце. В программу проведения эксперимента входили: 1) измерения концентраций канализационных газов внутри КГН и в атмосферном воздухе у люка; 2) анализ содержания растворенного сероводорода в сточной воде; 3) фиксация климатических характеристик. **Результаты.** На основании мониторинга установлены концентрации канализационных газов в КГН. Зафиксирован выход газов из КГН порциями, что объясняется аэродинамическими процессами в сооружении и его проветриванием за счет неполной герметичности. Отмечена обратная зависимость между фиксируемыми в одно время концентрациями газов в подсводном пространстве сооружения и атмосферном воздухе. В результате анализа проб сточной воды установлено, что большая часть сероводорода покидает водную среду до момента поступления сточных вод в воздушное пространство КГН. Это объясняется отсутствием избыточного давления на конечном участке подводящих водоводов. Выявлено многократное превышение предельно допустимых концентраций как внутри камеры, так и в атмосферном воздухе рядом с ней. **Заключение.** Результаты мониторинга подтверждают необходимость формирования: методики по оценке воздействия на окружающую среду КГН; методики прогнозирования валовых и максимальных разовых выбросов внутри сооружений; рекомендаций по установке границ санитарно-защитных зон вокруг сооружений данного типа.

Ключевые слова: канализационная сеть, камера гашения напора (КГН), сточные воды, сероводород, метан, аммиак, канализационные газы, газоанализатор.

Abstract

Introduction. When sewage is transported along sewer pipes, sewer gases are actively formed and released. Special attention (in terms of desorption capacity) should be paid to surge chambers characterized by changes in the flow and flow arrival conditions, as well as by drop flow. The release of sewage gases has an adverse effect on sanitary and environmental safety. Therefore, it is required to control sewage gases' release and assess the condition of the ambient air and the air in the surge chamber space. **Methods.** We selected a surge chamber in Cherepovets for monitoring. The experiment included: 1) measurements of sewer gases' concentrations in the surge chamber and in the ambient air near the hatch; 2) analysis of dissolved hydrogen sulfide concentration in sewage; 3) recording of climate characteristics. **Results.** Based on the monitoring results, we determined the concentrations of sewer gases in the surge chamber. It has been found that gases leave the chamber in portions, which is due to aerodynamic processes and airing owing to incomplete air tightness. The relationship between the gas concentrations recorded at the same time in the surge chamber and the ambient air is reversed. The analysis of wastewater samples showed that most part of hydrogen sulfide leaves the water medium before wastewater enters the air space of the surge chamber. This is due to the absence of overpressure in the last headrace section. Besides, the maximum allowable concentrations were exceeded manifold both in the chamber and in the ambient air near it. **Conclusion.** The monitoring results confirm that it is required to develop: methods for assessing the environmental impact of surge chambers; methods for predicting total and one-time maximum emissions in the facilities; recommendations for setting the boundaries of sanitary protection zones around such facilities.

Keywords: sewer network, surge chamber, wastewater, hydrogen sulfide, methane, ammonia, sewer gases, gas analyzer.

Введение

В современном техногенном мире присутствует множество факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на живые организмы и окружающую среду. Одним из таких факторов является выделение и распространение в воздушном пространстве газов от системы канализации. Основными синтезируемыми в сетях водоотведения газами считаются: сероводород (H_2S), метан (CH_4), аммиак (NH_3). Все они способны в различной степени оказывать негативное воздействие на человека и окружающую среду, но наиболее значительное влияние оказывает именно сероводород.

Стоит отметить, что, безусловно, различные объекты и элементы канализационной сети обладают разной дегазационной способностью. Наиболее высокие величины концентраций газов фиксируются в подсводном пространстве участков сетей высокой производительности. Кроме того, на сети могут располагаться сооружения, обладающие высоким потенциалом высвобождения газов. На основании статистических данных мониторинга концентраций канализационных газов к таким сооружениям можно отнести: камеры гашения напора (КГН) [2, 3], перепадные колодцы [5], канализационные насосные станции (КНС) [1, 4]. Наибольший интерес, по мнению авторов, представляют именно КГН, так как являются сооружениями, включающими сразу несколько факторов, способствующих газовойделению. КГН совмещают в себе два режима движения, а соответственно, и два вида условий пребывания — напорный (анаэробные условия) и самотечный (аэробные условия). Кроме того, конструкция КГН предусматривает падение потока жидкости, что также способствует десорбции. Так, прибывая в КГН напорный поток несет в себе повышенное содержание растворенных газов и, в частности, сероводорода. Это связано с тем, что в анаэробных условиях его генерация идет весьма интенсивно, при этом отсутствует возможность выхода газа из жидкости. Далее, попадая в зону перепада, поток получает не просто возможность выхода растворенного сероводорода в газовую среду, но и дополнительную аэрацию. Работы многих исследователей подтверждают взаимосвязь между реаэрацией по-

тока и десорбцией растворенного сероводорода [9, 15, 16].

За счет негерметичности элементов и соединений канализационных сооружений, выделившиеся в подсводное пространство газы начинают просачиваться в окружающую среду, что вызывает ряд проблем. Выделяют следующие последствия распространения канализационных газов: физическое угнетение у населения при постоянном ощущении неприятного запаха [6, 11, 10], воспаление слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей [12–14], токсические отравления с возможностью летального исхода [7], удушья [8].

Безусловно, из всех представленных проблем наиболее часто встречающейся является появление запаха. Система нормирования качества атмосферного воздуха в Российской Федерации (РФ) строится таким образом, что параметр ощущения запаха учитывается в величине максимальной разовой предельно допустимой концентрации ($\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$)¹. Основной причиной возникновения запаха считают наличие в сетях сероводорода. В связи с этим для данного соединения установлены весьма низкие величины $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ ², в несколько раз меньшие допустимой концентрации этого соединения в воздухе рабочей зоны ($\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$)³. В соответствии с действующей на территории РФ нормативной документацией^{4,5} для всех источников загрязнения атмосферы (ИЗА) в обязательном порядке необходимо осуществлять контроль за соблюдением нормативных величин выбросов, выполнять разработку соответству-

¹ Главный государственный санитарный врач РФ (2001). Сан-ПиН 2.1.6.1032–01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Минздрав России, 12 с.

² Главный государственный санитарный врач РФ (2017). ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М.: Минздрав России, 57 с.

³ Главный государственный санитарный врач РФ (2018). ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. М.: Минздрав России, 170 с.

⁴ Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР (1977). ГОСТ 17.2.1.04–77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 32 с.

⁵ Правительство Российской Федерации (2015). Распоряжение от 8 июля 2015 г. № 1316-р. Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. М., 22 с.

ющих природоохранных проектов и при невозможности соблюдать предписанные нормы осуществлять организацию защитных мероприятий. Таким образом, для объектов системы канализации необходимо, чтобы их загазованность была не выше $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$, при этом в атмосферном воздухе рядом с сооружениями канализации должны соблюдаться величины $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$.

Корректная проверка выполнения последнего условия может проводиться только при учете особенностей рассеивания газов в атмосферном воздухе. Хотелось бы отметить, что в настоящее время для объектов на канализационной сети не имеется математических алгоритмов, позволяющих это сделать. В настоящее время на законодательном уровне методики по оценке воздействия установлены лишь для промышленных предприятий и некоторых других сфер хозяйствования⁶. Для объектов системы канализации они имеются лишь для станций аэрации⁷ и носят рекомендательный характер. Важно отметить, что организация защитных мероприятий, выполняемая в случае невозможности соблюдения нормативов ПДК, должна включать установку санитарно-защитных зон (СЗЗ). К сожалению, рекомендации по формированию СЗЗ вокруг объектов системы канализации в настоящее время предусмотрены лишь для станций аэрации и КНС⁸.

Не стоит забывать и о соблюдении нормативов $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$ внутри самих сооружений на сетях. В контексте данного вопроса особый интерес может представлять прогнозирование величин валовых и максимальных разовых выбросов внутри сооружений, а также изучение тенденций накопления в них газов.

В связи с вышеизложенным цель данной работы — обосновать необходимость разработки методик по оценке безопасности атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны КГН как сооружений с высокой десорбционной способностью. Для достижения указанной цели было определе-

но провести мониторинг концентраций канализационных газов на реальном объекте КГН.

Методы и материалы

Для осуществления мониторинга загрязненности воздушной среды была выбрана КГН, расположенная в г. Череповце Вологодской области. Это сооружение хорошо подходит для исследования, так как имеет высокую производительность. Согласно данным МУП «Водоканал» в настоящее время КГН работает в трех режимах с расходами 450, 500 и 800 м³/ч. Кроме того, камера располагается на сети ниже дюкера через р. Шексну на расстоянии 74,3 м от приемной камеры. А протяженность напорного участка от КНС до КГН составляет около 2 км. Такая специфика расположения сооружения обеспечивает высокую насыщенность транспортируемого стока растворенным сероводородом. Важно отметить, что наличие приемной камеры дюкера определяет транспортировку жидкости до КГН под остаточным напором. Общий вид обследуемого сооружения представлен на рис. 1.

В программу проведения эксперимента входили: измерения концентраций канализационных газов, анализ содержания растворенного сероводорода и сульфидов в сточной воде, фиксация климатических характеристик. Измерение концентрации газов в воздухе выполнялось как в подводящем пространстве камеры на расстоянии 1 м от люка (рис. 2, б), так и на поверхности земли у крышки люка (рис. 2, а). Фиксация концентраций производилась газоанализаторами Микро-сенс 001.001.001.РЭ двух видов. За первым видом газоанализаторов были закреплены датчики для измерения H_2S и двуокиси углерода (CO_2).

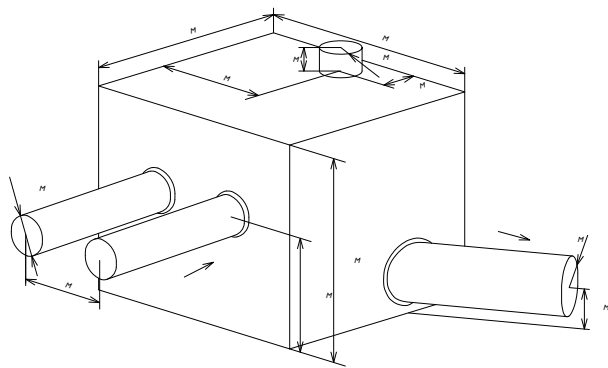


Рис. 1. Камера гашения напора, расположенная в г. Череповце Вологодской области

⁶ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (2014). ГОСТ 32673–2014. Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу. М.: Стандартинформ. 22 с.

⁷ Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (2012). СПб.: НИИ Атмосфера. 224 с.

⁸ Главный государственный санитарный врач РФ (2003). Сан-ПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Минздрав России, 51 с.

Второй вид газоанализаторов включал датчики для измерения CH_4 , NH_3 и кислорода (O_2). Установка оборудования внутрь сооружения осуществлялась на 3 суток (11.08.2020–13.08.2020), измерения концентраций газов на поверхности земли осуществлялись периодически, сеансами по 1,5 часа.

Измерение климатических характеристик при проведении мониторинга выполнялось термогигрометрами ИВТМ-7м и включало в себя контроль температуры, влажности, давления. Технические характеристики всех средств измерения представлены в таблице.

Отбор проб для проведения анализа на сульфиды и растворенный сероводород осуществлялся из потока падающей сточной жидкости, что обуславливалось конструктивными особенностями сооружения. Анализ содержания в сточной воде растворенного сероводорода и сульфидов выполнялся ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Вологодской области» фотометрическим методом в соответствии с установленной методикой⁹. Вследствие неустойчивости сероводорода и сульфидов после отбора проб осуществлялась их незамедлительная консервация. Также для дальнейшего корректного проведения анализа непосредственно сразу после отбора пробы выполня-

лось измерение pH сточной воды и ее температуры. Фиксация осуществлялась портативным pH-метром HANNA HI98127 pHep4, технические характеристики которого также представлены в таблице.

Результаты исследования и обсуждение

Во время проведения мониторинга внутри КГН были зафиксированы следующие величины климатических характеристик:

- температура воздуха $t = 17,1\text{--}21,4\text{ }^\circ\text{C}$ (со средним значением $t_{\text{ср}} = 18,3\text{ }^\circ\text{C}$);
- давление $P = 99,18\text{--}100,97\text{ кПа}$;
- влажность $\varphi = 95\text{--}99\text{ \%}$.

В КГН были обнаружены все виды измеряемых газов. Численные значения диапазонов изменения концентраций (C_i) составили:

- $C_{\text{O}_2} = 19,5\text{--}20,9\text{ \% об.}$;
- $C_{\text{CO}_2} = 0,02\text{--}0,62\text{ \% об.}$;
- $C_{\text{H}_2\text{S}} = 0\text{ (1,7)}\text{--}63,9\text{ мг/м}^3$.

Выделение метана и аммиака в подводящее пространство камеры наблюдалось периодически с пиковыми значениями концентраций $C_{\text{CH}_4} = 0,21\text{ \% нкпр}^{10}$ и $C_{\text{NH}_3} = 11\text{ мг/м}^3$.

Результаты измерения концентраций CO_2 , O_2 и H_2S внутри КГН, полученные в период с 10:30 до 20:30 11.08.2020, представлены на рис. 3. Графическое отображение распределения концентраций указанных компонентов наглядно отража-

⁹ Министерство природных ресурсов Российской Федерации (2002). ПНД Ф 14.1:2:4.178–02. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфидов, гидросульфидов и сероводорода в пробах питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом. М.: ИПК Изд-во стандартов, 27 с.

¹⁰ НКПР — Нижний концентрационный предел распространения пламени.

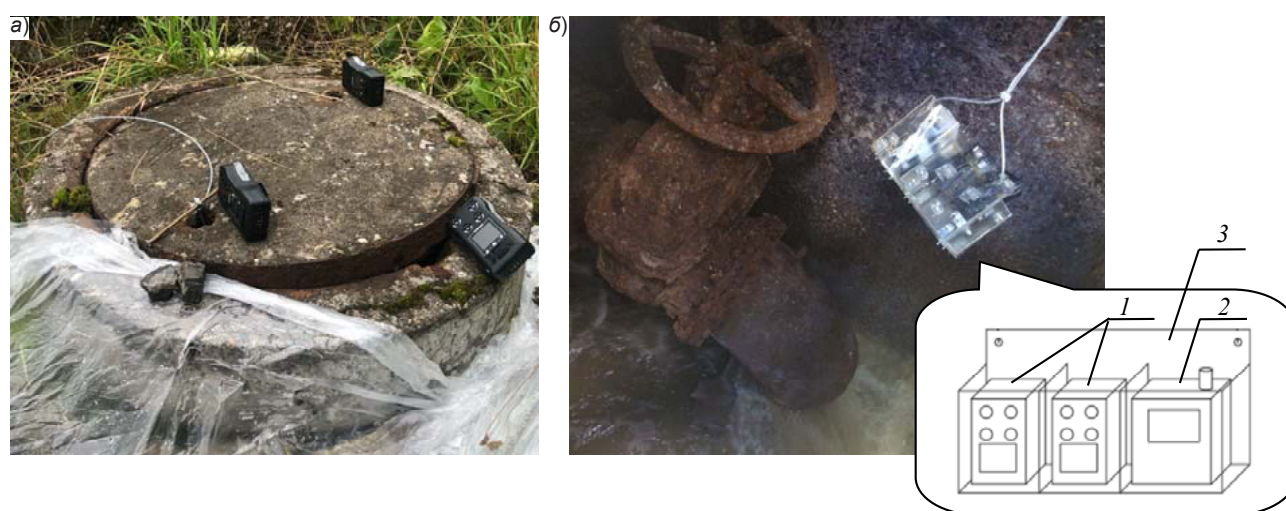


Рис. 2. Размещение приборов при проведении измерений: а — в воздушном пространстве над КГН; б — внутри КГН: 1 — газоанализатор с датчиками измерения H_2S и CO_2 и NH_3 , O_2 , CH_4 ; 2 — термогигрометр; 3 — короб из оргстекла

ет зависимость между ними. Так, в 11:25, 12:05, 12:45 и 13:25 фиксировалось резкое снижение концентраций CO_2 и H_2S . В это же время в сооружении отмечался приток O_2 . Данное явление свидетельствует о выходе канализационных газов из КГН порциями, что может быть связано с аэродинамическими процессами в сооружении или его проветриванием за счет неполной герметичности. Отметим, что данные пульсации концентраций газов отмечались на поверхности земли у люка и сопровождалась усилением запаха, а также высвобождением тепловой энергии.

Результаты анализа проб сточной воды, отобранных из падающего потока, показали низкое содержание растворенного сероводорода ($C_{\text{p-p, H}_2\text{S}}$). Так, для пробы, отобранной 11.08.2020 в 11:06, $C_{\text{p-p, H}_2\text{S}} = 21 \pm 5 \text{ мг/м}^3$. Важно отметить, что концентрация сероводорода, фиксируемая в этот период времени в подсводном пространстве КГН, составляла 33–38 мг/м^3 . Данные значения свидетельствуют о том, что в момент попадания сточной воды в открытое пространство камеры большая часть сероводорода уже покинула жидкую среду. В связи с этим становится возможным сказать, что высвобождение растворенных газов начинается еще на конечных участках подводящих водоводов. Данный процесс объясняется отсутствием на них избыточного давления, в ре-

зультате чего образуется поток со свободной поверхностью, над которым формируется газовая среда.

Мониторинг канализационных газов снаружи у люка КГН также выявил присутствие всех измеряемых элементов. Численные значения двуокиси углерода и сероводорода колебались в диапазонах $C_{\text{CO}_2} = 0,01\text{--}0,23 \text{ \% об.}$ и $C_{\text{H}_2\text{S}} = 0 \text{ (1,2)–}35,5 \text{ мг/м}^3$. Выделение метана и аммиака также имело периодический характер. Пиковые величины концентраций составили $C_{\text{CH}_4} = 0,21 \text{ \% нкпр}$ и $C_{\text{NH}_3} = 7 \text{ мг/м}^3$. Концентрация O_2 соответствовала нормальному значению в атмосферном воздухе $C_{\text{O}_2} = 21 \text{ \% об.}$ Проведение измерений в атмосферном воздухе осуществлялось при температуре $T = 15\text{--}16 \text{ }^\circ\text{C}$, нормальном атмосферном давлении $P_{\text{атм}} = 750\text{--}751 \text{ мм рт. ст.}$, относительной влажности $\phi_{\text{атм}} = 50\text{--}75 \text{ \%}$. Фиксировались северные и северо-западные ветра с порывами до 7 м и переменная облачность.

На рис. 4 представлено графическое отображение результатов измерений внутри камеры и у ее люка, зафиксированных для сероводорода 11.08.2020 с 12:35 до 13:40. Сопоставление данных в рассматриваемых контрольных точках позволяет сказать об их обратной зависимости между концентрациями в контрольных точках, что соответствует ожиданиям. Также стоит отметить,

Технические характеристики средств измерений, применяемых при мониторинге

Вид прибора	Определяемый компонент/величина	Диапазон показаний	Диапазон измерений	Пределы допускаемой основной погрешности	
				абсолютной	относительной
Газоанализатор Микросенс 001.001.001.РЭ	H_2S	От 0 <i>ppm</i> до 200 <i>ppm</i>	0–15 млн^{-1} 15–200 млн^{-1}	$\pm 1,7 \text{ млн}^{-1}$ –	– $\pm 20 \text{ \%}$
	CO_2	От 0 об. д. % до 2,5 об. д. %	от 0 об. д. % до 2,5 об. д. %	$\pm 0,1 \text{ \%}$	–
	CH_4	От 0 об. д. % до 100 об. д. %	0–2 % 2–100 %	$\pm 0,1 \text{ \%}$ –	– 5 %
	NH_3	От 0 <i>ppm</i> до 200 <i>ppm</i>	0–25 млн^{-1} 25–200 млн^{-1}	$\pm 5 \text{ млн}^{-1}$ –	– $\pm 20 \text{ \%}$
	O_2	От 0 об. д. % до 30 об. д. %	от 0 об. д. % до 30 об. д. %	$\pm 0,5 \text{ \%}$	–
Термогигрометр ИВТМ-7м	Влажность воздуха	От 0 % до 99 %	–	$\pm 2,0 \text{ \%}$	–
	Температура	От 20 $^\circ\text{C}$ до 50 $^\circ\text{C}$	–	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$	–
	Давление	От 84 кПа до 106 кПа	–	$\pm 3 \text{ гПа}$ ($\pm 2,5 \text{ мм рт. ст.}$)	–
pH-метр HANNA HI98127 pHep4	Водородный показатель pH	От 0 до 14 ед. pH	–	$\pm 0,1 \text{ ед. pH}$	–
	Температура	От 0 $^\circ\text{C}$ до 60 $^\circ\text{C}$	–	$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$	–

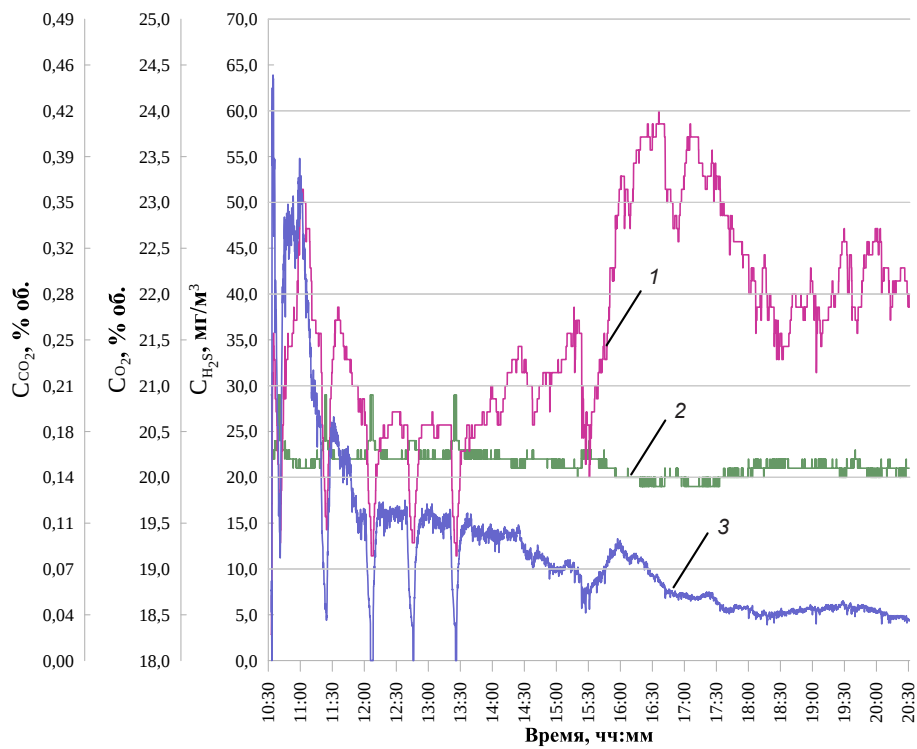


Рис. 3. Изменение в подводном пространстве КГН концентраций в течение времени:
1 — CO_2 % об.; 2 — O_2 % об.; 3 — H_2S мг/м³

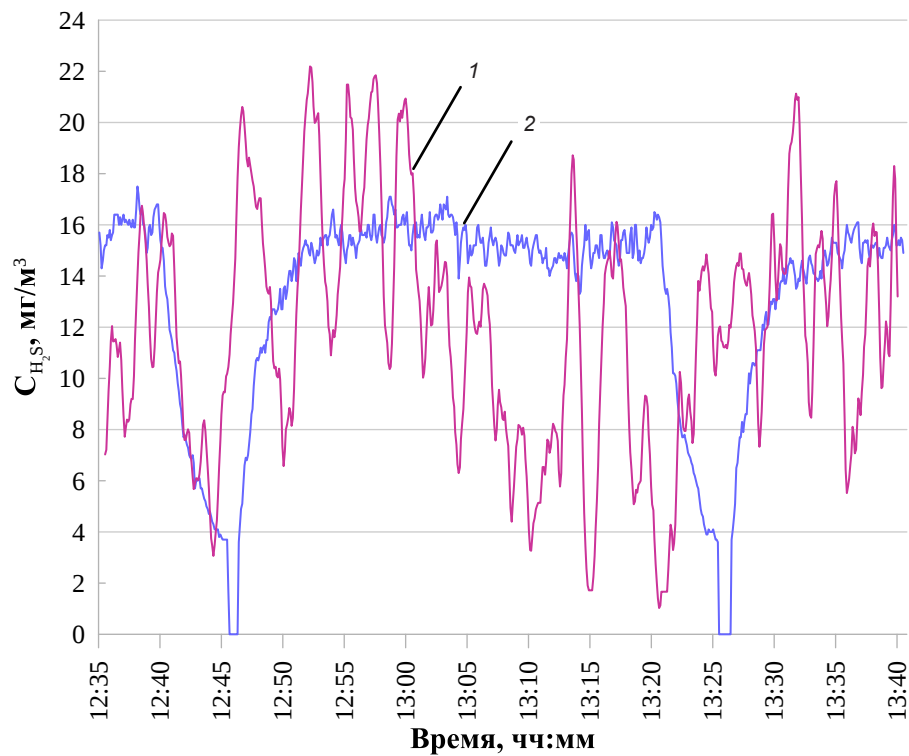


Рис. 4. Изменение в течение времени $\text{C}_{\text{H}_2\text{S}}$: 1 — в атмосферном воздухе у люка КГН;
2 — в подводном пространстве КГН

что увеличение C_{H_2S} у люка происходит с незначительным запозданием во времени относительно снижения C_{H_2S} в КГН, что объясняется протяженностью во времени процесса диффузии.

Проведение обследования состояния атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны КГН позволило выявить превышение установленных величин ПДК по сероводороду в несколько раз. Так, для воздуха внутри КГН концентрация сероводорода превышает допустимую в 6,4 раза, а для атмосферного воздуха — в 4438 раз. Зафиксированные во время мониторинга концентрации метана и аммиака не превышали допустимых значений. Но стоит отметить, что в соответствии с п. 3.5 ГН 2.1.6.3492–17¹¹ такие соединения, как аммиак и сероводород, обладают эффектом суммации действия, а соответственно, их сопоставление с ПДК должно выполняться в комплексе по уравнению и не превышать единицы. Конечно, в существующих условиях данное предписание не может быть выполнено.

$$\frac{C_{H_2S}}{ПДК_{H_2S}} + \frac{C_{NH_3}}{ПДК_{NH_3}} \leq 1.$$

Важно отметить, что при проведении натурных измерений авторами фиксировалось сильнейшее ароматическое загрязнение воздушной среды. По оси факела выброса присутствие дурнопахнущих компонентов проявлялось на расстоянии до 25 м от источника. Также отмечалось общее ухудшение физического состояния и головокружение при длительном контакте с сооружением (более 15 минут).

Полученные значения концентраций, а также наблюдаемое влияние на организм человека, свидетельствуют о возможности проявления всех из перечисленных ранее негативных последствий воздействия канализационных газов при контакте с сооружениями данного типа. Тем самым подтверждается необходимость разработки инженерно-экологических методик для корректного учета процессов высвобождения газов от КГН. В рамках дальнейшей разработки данной тематики необходимо: создание методики расчета рассеивания канализационных газов в атмосферном воздухе; формирование математического

аппарата для прогнозирования величин валовых и максимальных разовых выбросов внутри сооружений; формирование рекомендации по размерам устанавливаемых СЗЗ в зависимости от производительности сооружений.

Авторам дополнительно хотелось бы отметить, что вред, который способны нанести сооружения на сетях системы канализации, часто оказывается недооцененным. Контакт с данным видом техногенных объектов чаще всего легкодоступен для каждого из нас. В отличие от промышленных предприятий и прочих объектов хозяйственной деятельности, воздействию от этих объектов могут подвергнуться не только сотрудники, но и обычные горожане, дети, животные, просто проходя по улице. В связи с этим можно сказать не только о необходимости установки границ санитарно-защитных зон, но и присвоении им конкретного способа отчуждения. Так, в некоторых случаях может быть необходима установка ограждающих конструкций.

Заключение

На основании обследования состояния атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны КГН:

- установлены основные зависимости и тенденции распространения канализационных газов в камере гашения напора;
- выявлено многократное превышение нормативно-установленных предельно допустимых величин как внутри камеры, так и в атмосферном воздухе рядом с ней;
- подтверждена необходимость формирования методик по оценке воздействия на окружающую среду камер гашения напора и прогнозирования валовых и максимальных разовых выбросов внутри сооружений, а также рекомендаций по установке границ санитарно-защитных зон вокруг сооружений данного типа.

Литература

1. Алексеев, С. В., Накоряков, В. Е. и Покусаев, Б. Г. (1992). Волновое течение пленок жидкости. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма, 255 с.
2. Васильев, В. М. (1995). Филевский коллектор — проблемы эксплуатации, причины разрушений. Подземное пространство мира, № 3, с. 109.
3. Горелик, И. Н., Ситническая, Э. А. и Штейнберг, В. А. (1984). Газовая коррозия канализационного коллектора г. Егорьевска. Водоснабжение и санитарная техника, № 12, сс. 3–4.
4. Лейбович, Л. И. и Пацурковский, П. А. (2016). Моделирование динамики поступления сероводорода

¹¹ Главный государственный санитарный врач РФ (2017). ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М.: Минздрав России, 57 с.

в окружающую среду при работе насосов канализационных насосных станций. Вестник ХНАДУ, № 72, сс. 176–181.

5. Малков, А. В. (2017). Предотвращение коррозии конструкционных материалов в системах водоотведения на основе организации газообмена. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

6. Bokowa, A. H. (2010). The review of the odour legislation. *Proceedings of the Water Environment Federation*, Vol. 2010, Issue 3, pp. 492–511. DOI: 10.2175/193864710802767902.

7. Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A. and Roberge B. (2015). Occupational safety during interventions in confined spaces. *Safety Science*, Vol. 79, pp. 19–28. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.05.003.

8. Carrera, L. (2016) *Caractérisation du transfert liquide/gaz du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement*. DSc Thesis in Environment. Lyon: Université de Lyon.

9. Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J. and Nielsen, A. H. (2013). *Sewer processes. Microbial and chemical process engineering of sewer networks*. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, 399 p.

10. Marleni, N., Gray, S., Sharma, A., Burn, S. and Muttill, N. (2013). Modeling the effects of sewer mining on odour and corrosion in sewer systems. In: *MODSIM 2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, December 1–6, 2013*, pp. 2813–2819. DOI: 10.36334/modsim.2013.112.marleni.

11. Sivret, E. and Stuetz, R. M. (2012). Sewer odour abatement monitoring – An Australian survey. *Water Science and Technology*, Vol. 66, Issue 8, pp. 1716–1721. DOI: 10.2166/wst.2012.376.

12. Taleb, A., Kanbouchi, I., Souabi, S. and Chtaini, A. (2015). 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*, Vol. 6, No. 8, pp. 2137–2147.

13. Vollertsen, J., Revilla, N., Hvitved-Jacobsen, T. and Asbjorn, H. N. (2014). Modeling odors and hydrogen sulfide in the sewers of San Francisco. *Proceedings of the Water Environment Federation*, Vol. 2014, Issue 3, pp. 1–11. DOI: 10.2175/193864714816099923.

14. Wang, B., Sivret, E. C., Parcsi, G., Wang, X., Le, N. M., Kenny, S., Bustamante, H. and Stuetz, R. M. (2014). Is H₂S a suitable process indicator for odour abatement performance of sewer odours? *Water Science and Technology*, Vol. 69, Issue 1, pp. 92–98. DOI: 10.2166/wst.2013.559.

15. Yongsiri, C., Vollertsen, J. and Hvitved-Jacobsen, T. (2004). Effect of temperature on air-water transfer of hydrogen sulfide. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 130, Issue 1, pp. 104–109. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:1(104).

16. Yongsiri, C., Vollertsen, J. and Hvitved-Jacobsen, T. (2004). Hydrogen sulfide emission in sewer networks: a two-phase modelling approach to the sulfur cycle. *Water Science and Technology*, Vol. 50, Issue 4, pp. 161–168. DOI: 10.2166/wst.2004.0251.

References

1. Alekseenko, S. V., Nakoriakov, V. E. and Pokusaev, B. G. (1992). *Wave flow of liquid films*. Novosibirsk: Nauka. Siberian Publishing Company, 255 p.

2. Vasilyev, V. M. (1995). Filevsky collector — problems of operation, causes of destruction. *World Underground Space*, No. 3, p. 109.

3. Gorelik, I. N., Sitnitskaya, E. A. and Shteinberg, V. A. (1984). Gas corrosion of a sewer collector in Yegoryevsk. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 12, pp. 3–4.

4. Leibovych, L. I. and Patsurkovskii, P. A. (2016). Simulation of dynamics of hydrogen sulfide penetration in to the environment during the operation of pumps of sewage pumping stations. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, No. 72, pp. 176–181.

5. Malkov, A. V. (2017). *Prevention of corrosion in structural materials of water disposal systems based on the organization of gas exchange*. PhD Thesis in Engineering. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.

6. Bokowa, A. H. (2010). The review of the odour legislation. *Proceedings of the Water Environment Federation*, Vol. 2010, Issue 3, pp. 492–511. DOI: 10.2175/193864710802767902.

7. Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A. and Roberge B. (2015). Occupational safety during interventions in confined spaces. *Safety Science*, Vol. 79, pp. 19–28. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.05.003.

8. Carrera, L. (2016) *Caractérisation du transfert liquide/gaz du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement*. DSc Thesis in Environment. Lyon: Université de Lyon.

9. Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J. and Nielsen, A. H. (2013). *Sewer processes. Microbial and chemical process engineering of sewer networks*. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, 399 p.

10. Marleni, N., Gray, S., Sharma, A., Burn, S. and Muttill, N. (2013). Modeling the effects of sewer mining on odour and corrosion in sewer systems. In: *MODSIM 2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, December 1–6, 2013*, pp. 2813–2819. DOI: 10.36334/modsim.2013.112.marleni.

11. Sivret, E. and Stuetz, R. M. (2012). Sewer odour abatement monitoring – An Australian survey. *Water Science and Technology*, Vol. 66, Issue 8, pp. 1716–1721. DOI: 10.2166/wst.2012.376.

12. Taleb, A., Kanbouchi, I., Souabi, S. and Chtaini, A. (2015). 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*, Vol. 6, No. 8, pp. 2137–2147.

13. Vollertsen, J., Revilla, N., Hvitved-Jacobsen, T. and Asbjorn, H. N. (2014). Modeling odors and hydrogen sulfide in the sewers of San Francisco. *Proceedings of the Water Environment Federation*, Vol. 2014, Issue 3, pp. 1–11. DOI: 10.2175/193864714816099923.

14. Wang, B., Sivret, E. C., Parcsi, G., Wang, X., Le, N. M., Kenny, S., Bustamante, H. and Stuetz, R. M. (2014). Is H₂S a suitable process indicator for odour abatement performance of sewer odours? *Water Science and Technology*, Vol. 69, Issue 1, pp. 92–98. DOI: 10.2166/wst.2013.559.

15. Yongsiri, C., Vollertsen, J. and Hvitved-Jacobsen, T. (2004). Effect of temperature on air-water transfer of hydrogen sulfide. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 130, Issue 1, pp. 104–109. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:1(104).

16. Yongsiri, C., Vollertsen, J. and Hvitved-Jacobsen, T. (2004). Hydrogen sulfide emission in sewer networks: a two-phase modelling approach to the sulfur cycle. *Water Science and Technology*, Vol. 50, Issue 4, pp. 161–168. DOI: 10.2166/wst.2004.0251.

Авторы

Телятникова Анна Максимовна, аспирант
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kononova.a.m@lan.spbgasu.ru

Федоров Святослав Викторович, канд. техн. наук,
доцент
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: svyatoslavfedorov@mail.ru

Кудрявцев Анатолий Валентинович, канд. техн. наук,
доцент
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: argo14@mail.ru

Authors

Telyatnikova Anna Maksimovna, post-graduate student
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: kononova.a.m@lan.spbgasu.ru

Fedorov Sviatoslav Viktorovich, PhD in Engineering,
Associate Professor
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: svyatoslavfedorov@mail.ru

Kudryavtsev Anatoly Valentinovich, PhD in Engineering,
Associate Professor
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: argo14@mail.ru