



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 2, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.07

УДК 628.316.7

ОЦЕНКА ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ В КОЛЛЕКТОРЕ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ

О.И. Ручкина, П.П. Дьяков, В.Ю. Россихин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 19 января 2020
Принята: 25 марта 2020
Опубликована: 30 июня 2020

Ключевые слова:

коллектор, сточные воды, сероводород, канализация, дурнопахнущие газы, естественная тяга.

АННОТАЦИЯ

Водоотводящие сети являются одной из основных и немаловажных городских коммуникаций. При движении стоков по коллектору происходит выделение вредных газов через неплотности колодцев, которые проникают в жилую зону города, что оказывает негативное воздействие на человеческий организм, а также вызывает микробиологическую коррозию канализационной сети и сооружений на ней. Одним из канализационных газов является сероводород, относящийся ко II классу опасности.

Объектом данного исследования является самотечный канализационный коллектор города, расположенный после камеры гашения напора, рассматриваемый в статье как наиболее проблемный с точки зрения высоких концентраций сероводорода в подсводовом пространстве.

Применяемые методы исследования включают в себя анализ литературных источников по изучаемой теме, экспериментальные исследования по замеру температуры, атмосферного давления, исследования концентрации выделяемых газов во времени в действующем коллекторе – собраны и систематизированы данные о конструктивных характеристиках коллектора, представлены инструментальные данные о температуре атмосферного воздуха и промышленных выбросов, атмосферном давлении и концентрациях загрязняющих веществ в промышленных выбросах контрольных точек объектов канализации в течение разных сезонов года.

Целью исследования является получение данных, необходимых для расчета депрессии естественной тяги газовой смеси в коллекторе.

По результатам расчетов, основанных на собранных данных в течение годового периода, приведены выводы об отсутствии естественной тяги в водоотводящем коллекторе и необходимости разработки мероприятий по организации искусственной вентиляции коллектора, а также расчета депрессии, создаваемой увлекающей способностью жидкости.

© ПНИПУ

© Ручкина Ольга Ивановна – доктор технических наук, e-mail: xgogax@mail.ru.

Дьяков Павел Павлович – студент, e-mail: dyakovpp@mail.ru.

Россихин Владимир Юрьевич – студент, e-mail: rossihinv@yandex.ru.

Olga I. Ruchkinova – Doctor of Technical Sciences, e-mail: xgogax@mail.ru.

Pavel P. Diakov – Student, e-mail: dyakovpp@mail.ru.

Vladimir Y. Rossikhin – Student, e-mail: rossihinv@yandex.ru.

ASSESSMENT OF RELATIVE PRESSURE IN THE SEWAGE NETWORK COLLECTOR

O.I. Ruchkinova, P.P. Diakov, V.Y. Rossikhin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 19 January 2020

Accepted: 25 March 2020

Published: 30 June 2020

Keywords:

collector, sewage water, hydrogen sulfide, sewage system, smelly gases, relative pressure.

ABSTRACT

Sewage networks are one of the main and important urban communications. When sewage move through the collector, harmful gases are released through leaks in wells, penetrate into the residential area of the city and causes a negative impact on the human organism, and also causes chemical deformation of collector and related facilities. One of the gases is hydrogen sulfide, which belongs to the II hazard category.

The object of this study is the gravity sewage pipeline of the city, located after the stilling basin, considered in the article as the most problematic, in terms of high concentrations of hydrogen sulfide in the subroof space.

The research methods used include the analysis of literature on the topic under study, experimental studies on measuring temperature, atmospheric pressure, studies of the concentration of emitted gases over time in the current collector – collected and systematized data on the constructive characteristics of the collector. Instrumental data on atmospheric air temperature and industrial emissions, atmospheric pressure and pollutant concentrations in industrial emissions of control points of sewage facilities during different seasons of the year are presented.

The purpose of the article is to obtain the data necessary for calculating the natural draft depression of the air-gas mixture in the reservoir.

According to the results of calculations based on the data collected during the annual period, conclusions are drawn about the absence of natural draft in the drainage collector and the need for taking measures to organize artificial ventilation of the collector, as well as calculating the depression created by the captivating ability of the fluid.

© PNRPU

Введение

В процессе транспортировки сточных вод [1] по канализационной сети происходит выделение газа, насыщенного агрессивными и дурнопахнущими веществами [2, 3]. Газ, аналогично сточной жидкости, за счет различных побуждающих сил транспортируется по сети. В местах выхода сооружений канализационной сети на дневную поверхность выбросы агрессивного газа в атмосферу создают дискомфорт на урбанизированных территориях в связи с дурным запахом от объектов канализации [4, 5]. Зачастую выбросы происходят в людных общественных местах.

На урбанизированных территориях следует перераспределить поток воздуха в соседнюю шахту, которая расположена в отдалении от людей [6], или как минимум произвести дезодорацию воздушных выбросов [7].

Также одним из решений вышеописанных проблем считается организация газообмена между канализационной сетью и атмосферой земли (вентиляция канализационной сети). Вентиляция канализационной сети необходима с целью минимизации запахов на дневной поверхности и коррозии в сети [8–10].

О необходимости газообмена в канализационной сети пишут в российской литературе [4, 11]. Газообмен на канализационных сетях РФ в настоящее время практически не реализован. Эксплуатируемые канализационные сети вентилируются только через канализационные стояки домов за счет естественной тяги, а также за счет неплотности сети и специального отверстия в люке колодца. СП не регламентируют иные технические решения по организации газообмена в канализационной сети.

В российском законодательстве пока не установлены нормативы по запахам в воздухе. Не определены методы, позволяющие прогнозировать места и количество выбросов на этапах проектирования и эксплуатации канализационных сетей. Выявление мест выбросов агрессивных дурнопахнущих газов осуществляется в основном на основе жалоб населения. Так, в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» организована «горячая линия» Водоканала, куда петербуржцы всегда могут обратиться с жалобами на запах канализации [12, 13].

Отсутствие стандартных методов, позволяющих без обследования канализационной сети производить расчеты вентиляции сети [14], обосновывать необходимость внедрения систем газообмена/газоочистки, а также моделировать и внедрять рациональные, экономически обоснованные решения, определяет актуальность настоящего исследования.

Объект исследования: самотечный канализационный коллектор города, расположенный после камеры гашения напора (КГН).

Предмет исследования: аэродинамика движения газа по сети коллектора.

Цель исследования: получение данных, необходимых для расчета естественной тяги в коллекторе.

Задачи исследования:

- изучение и анализ исполнительной, отчетной документации на объект;
- получение объективных инструментальных данных о температуре атмосферного воздуха и промышленных выбросов, атмосферном давлении и концентрациях загрязняющих веществ в промышленных выбросах контрольных точек объектов канализации;
- аэродинамический расчет относительного давления в порталах канализационной сети.

Методы исследования: анализ литературных источников по изучаемой теме; экспериментальные исследования по замеру температуры, атмосферного давления, исследования концентраций газов во времени в действующем коллекторе.

1. Общие сведения об объекте

Объектом обследования являлся канализационный коллектор, расположенный в центральной части города. Началом коллектора является камера гашения напора (КГН). Далее стоки поступают в шахты главного разгрузочного коллектора (ГРК) – точки № 5, № 6 на рис. 1. На рис. 1 представлена профиль-схема данного участка канализационной сети. В плане трасса имеет 4 поворота, изменяющих гидравлический режим течения жидкости.

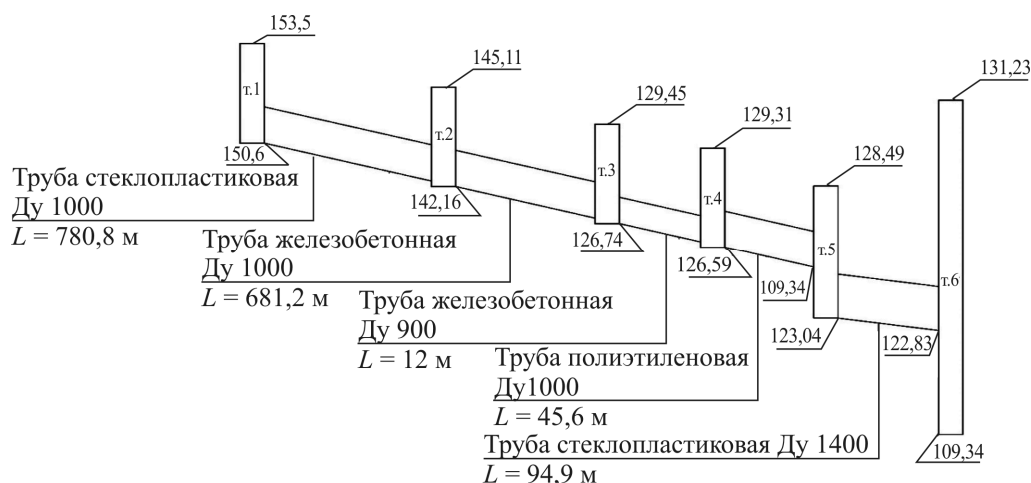


Рис. 1. Профиль-схема участка канализационной сети от КГН т. 1 до шахты ГРК т. 6
Fig. 1. Profile diagram of the sewer network section from point 1 to point 6

Коллектор расположен после протяженного (более 6 км) напорного участка со временем транспортирования стоков в анаэробных условиях порядка 3 ч. Дальнейшее движение потока осуществляется в аэробных условиях по самотечному коллектору длиной 1,6 км с очень кратким временем транспортирования – 7 мин.

Материал, диаметр и протяженность труб, используемых на данном участке канализационной сети, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материалы и диаметры труб на участке канализационной сети

Table 1

Materials and diameters of pipes in the sector of sewer network

Участок сети	Материал трубы	Диаметр трубы, мм	Протяженность участка, м
1-2	Стеклопластик	1000	780,8
2-3	Железобетон	1000	681,2
3-4	Железобетон	900	12
4-5	Полиэтилен	1000	45,6
5-6	Стеклопластик	1400	94,9
Итого			1614,5

В настоящее время на участке сети 1–2 установлена несъемная конструкция герметизации колодцев водоотводящей сети. Данная конструкция не позволяет осуществлять работу с сетью, в том числе визуальный осмотр и обслуживание, без ее полного демонтажа, а работа сети на данном участке осуществляется без естественной вентиляции.

Шахты ГРК т. 5, т. 6 для приема стоков выполнены из железобетона с внутренним диаметром 6 м с камерой для переключения стоков в шахту т. 5. Шахты оборудованы вентиляционными киосками с воздушными фильтрами серии ФАВН (адсорбционные вытяжные низкого давления) [15].

2. Движение газа в самотечных коллекторах под действием естественной тяги

Одной из сил, побуждающих к движению газообразную среду, находящуюся в подсводном пространстве канализационного коллектора, является разность давления ΔP на концах расчетного участка канализационного коллектора – естественная тяга [16, 17].

$$|P_o - P_L| = \Delta P, \quad (1)$$

где P_o и P_L – давление на концах расчетного участка, Па.

Более тяжелый, холодный наружный воздух с температурой $t_{\text{нв}}^0$ и плотностью $\rho_{\text{нв}}$ поступает в приточную шахту. Далее, двигаясь по шахте, увеличивает свою температуру до $t_{\text{кол}}^0$ или близкой к ней и уменьшает плотность до $\rho_{\text{кол}}$, т.е. становится более легким. Затем воздух движется по коллектору, где сохраняет свою температуру, равную $t_{\text{кол}}^0$, и попадает в вытяжную шахту. В процессе движения по вытяжной шахте воздух охлаждается и становится более тяжелым. У выхода из вытяжной шахты температура воздуха достигает температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}}^0$ и соответствующей плотности $\rho_{\text{нв}}$.

Естественная тяга (движение воздуха) между приточным и вытяжным киосками возможна только при условии, если удельный вес воздуха на выходе будет меньше, чем удельный вес воздуха на входе (рис. 2).

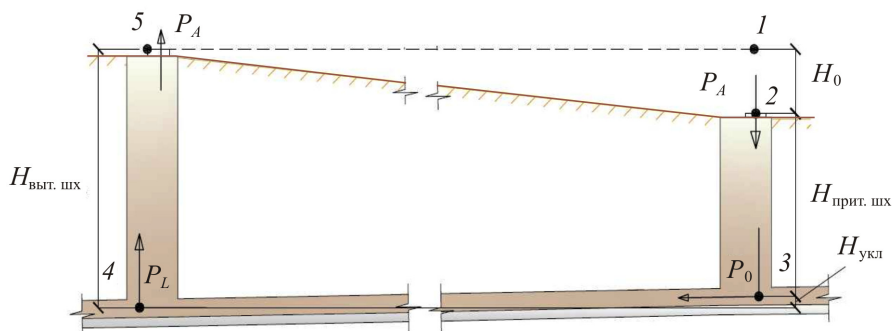


Рис. 2. Расчетная схема [20]

Fig. 2. Design scheme [20]

Естественная тяга может возникать только при условии

$$t_{\text{нв}}^0 \neq t_{\text{кол}}^0, \quad (2)$$

$$\rho_{\text{нв}} \neq \rho_{\text{кол}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{нв}}^0$ – температура воздуха на дневной поверхности, К;

$t_{\text{кол}}^0$ – температура газообразной среды в подсводном пространстве канализационного коллектора, К;

$\rho_{\text{нв}}$ – плотность воздуха на дневной поверхности, кг/м³;

$\rho_{\text{кол}}$ – плотность газообразной среды в подсводном пространстве канализационного коллектора, кг/м³.

Другими словами, естественная тяга возникает практически всегда.

Как было сказано ранее, естественная тяга возникает ввиду разности давления на концах расчетного участка (P_1 и P_2). Давление на концах участка можно определить, воспользовавшись основным уравнением гидростатики, по формуле [2]

$$P = \rho gh, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ – плотность газообразной среды (в зависимости от температуры среды), кг/м³.

Соответственно, разность давления на расчетном участке можно записать в следующем виде [18]:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = g (\rho_1 h_1 - \rho_2 h_2), \quad (5)$$

где h_1 и h_2 – высота шахты 1 и 2 соответственно, м.

2. Результаты обследования коллектора

В 2019 г. были проведены лабораторные исследования и инструментальные замеры качества сточных вод, атмосферного воздуха, выбросов, интенсивности запаха на участке от т. 1 до т. 6.

По результатам обследования было установлено, что среднее за период наблюдений содержание сероводорода в подсводном пространстве коллектора составляло 86,5 мг/м³ [19].

Очевидно, что высокоагрессивная газовая среда на участке от КГН до шахты ГРК т. 6 оказывает критическое воздействие на конструктивные элементы шахт путем биохимической коррозии, а также на железобетонные трубы коллектора [20].

По степени агрессивности к бетону весь участок от т. 1 до приемной камеры шахты т. 6 относится к сильноагрессивному согласно ГОСТ 31384–2017 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии». Трасса коллектора от т. 2 до т. 4 выполнена в железобетонном исполнении, как и шахты ГРК. Дальнейшая эксплуатация коллектора и шахт в подобном режиме может привести к увеличению аварийных ситуаций с непредсказуемыми последствиями для инфраструктуры города.

Необходимы мероприятия по поддержанию уровня сероводорода на участке сети в допустимых пределах. В связи с этим требуется оценка естественной тяги в коллекторе водоотводящей сети для принятия необходимых решений по вентилированию данного участка.

3. Результаты расчета относительного давления в порталах канализационной сети

В качестве расчетного участка рассмотрен участок канализационной сети от КГН т. 1 до шахты т. 6. В КГН т. 1 имеется приток сточных вод по напорному трубопроводу. Расчетный участок разбит на три участка с опорными точками, в которых производились замеры физических параметров атмосферного воздуха и промышленных выбросов, необходимых для аэродинамического расчета:

- КГН т. 1 – т. 4 – колодец;
- т. 4 – шахта т. 5;
- шахта т. 5 – шахта т. 6.

Движение газа может идти по двум направлениям попутно потоку сточной жидкости (из КНГ т. 1 в шахту т. 6) или противопутно (из шахты т. 6 в КГН т. 1).

С точки зрения побуждающих сил движение газа по первому варианту попутно с потоком сточной жидкости является более рациональным.

Произведен расчет естественной тяги для каждой точки сети. В качестве плоскости сравнения принята самая высокая отметка участка сети КГН т. 1 (отм. 153,5 м).

Для портала сравнения (точка с максимальной отметкой) относительное давление, P_a , определяется по формуле

$$P_{\text{отн.порт}} = g \cdot h_{\text{порт}} \cdot \rho_{\text{порт}} \quad (6)$$

Для сравниваемых порталов относительное давление, P_a , определяется по формуле (7):

$$P_{\text{отн.порт}} = g \cdot h_{\text{ат}} \cdot \rho_{\text{ат}} + g \cdot h_{\text{порт}} \cdot \rho_{\text{порт}} = P_{\text{ат}} + P_{\text{порт}}, \quad (7)$$

где $h_{\text{порт}}$ – высота портала, м;

$h_{\text{ат}}$ – высота портала до плоскости сравнения, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\rho_{\text{ат}}$ – плотность воздуха на дневной поверхности, кг/м³;

$\rho_{\text{порт}}$ – плотность газообразной среды в подводящем пространстве канализационного коллектора, кг/м³.

Значения $\rho_{ат}$ и $\rho_{порт}$ определялись по таблицам в зависимости от температуры воздуха атмосферного на дневной поверхности ($T_{атм}$) и температуры газообразной среды в подводящем пространстве коллектора в портале ($T_{порт}$).

Разность давления на расчетном участке определяется в соответствии с формулой (5):

$$\Delta P = P1 - P2.$$

Расчеты проведены для всех дней, когда осуществлялся отбор проб и замеры физических параметров атмосферного воздуха и промвыбросов в контрольных точках. Исходные данные для расчета приняты на основании натуральных замеров. Высотные отметки приведены на профиле участка сети (см. рис. 1). Высотные отметки верха шахт т. 5 и т. 6 приняты с учетом высоты вытяжной трубы от венткиосков с фильтрами ФАВН = 4 м. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет естественной тяги на участке сети от КГН т. 1 до шахты ГРК т. 6

Table 2

Calculation of natural draft in the network section from point 1 to point 6

Портал	Высота портала	Высота до плоскости сравнения	Ускорение свободного падения	Температура атмосферного воздуха	Атмосферное давление	Плотность атмосферного воздуха	Температура воздуха в портале	Плотность воздуха в портале	Относительное давление портала	Относительное давление портала до плоскости сравнения	Суммарное относительное давление	Естественная тяга (депрессия)	Дата, 2019 г.
	$h_{порт}$	$h_{АТ}$	g	$T_{атм}$	$P_{атм}$	$\rho_{АТ}$	$T_{порт}$	$\rho_{порт}$	$P_{отн. порт}$	$P_{плос}$	$P_{отн}$	ΔP	
	м	м	м/с ²	°С	мм рт. ст.	кг/м ³	°С	кг/м ³	Па	Па	Па	Па	
т. 1	2,9		9,81	8	745	1,23	12	1,211	34,5		34,5		24,05
т. 4	2,47	17,23	9,81	8	746	1,233	16	1,193	28,9	208,41	237,3	-202,9	
ш. 5	5,6	20,86	9,81	10	746	1,221	16	1,193	65,5	249,86	315,4	-78,1	
ш. 6	21,89	18,27	9,81	10	746	1,221	16	1,193	256,2	218,84	475,0	-159,6	
т. 1	2,9		9,81	19	745	1,185	22	1,173	33,4		33,4		19,06
т. 4	2,47	17,23	9,81	20	745	1,181	23	1,169	28,3	199,62	227,9	-194,6	
ш. 5	5,6	20,86	9,81	20	745	1,181	27	1,161	63,8	241,68	305,5	-77,5	
ш. 6	21,89	18,27	9,81	20	745	1,181	27	1,161	249,3	211,67	461,0	-155,5	
т. 1	2,9		9,81	24	749	1,171	25	1,165	33,2		33,2		17,07
т. 4	2,47	17,23	9,81	24	749	1,171	22	1,13	28,6	197,93	226,5	-193,3	
ш. 5	5,6	20,86	9,81	25	749	1,171	24	1,171	64,3	239,63	304,0	-77,4	
ш. 6	21,89	18,27	9,81	25	749	1,171	26	1,165	250,2	209,88	460,0	-156,1	
т. 1	2,9		9,81	16	747	1,196	19	1,19	33,9		33,9		14,08
т. 4	2,47	17,23	9,81	16	747	1,196	19	1,19	28,8	202,16	231,0	-197,1	
ш. 5	5,6	20,86	9,81	16	747	1,196	20	1,186	65,2	244,75	309,9	-78,9	
ш. 6	21,89	18,27	9,81	16	747	1,196	21	1,182	253,8	214,36	468,2	-158,3	
т. 1	2,9		9,81	5	749	1,25	13	1,202	34,2		34,2		16,10
т. 4	2,47	17,23	9,81	5	750	1,25	6	1,244	30,1	211,28	241,4	-207,2	
ш. 5	5,6	20,86	9,81	6	750	1,244	15	1,21	66,5	254,57	321,0	-79,6	
ш. 6	21,89	18,27	9,81	6	750	1,244	21	1,185	254,5	222,96	477,4	-156,4	

В результате расчетов относительного давления в расчетных точках по трассе сети КГН т. 1 – шахта т. 6 установлено отсутствие депрессии, создаваемой естественной тягой. Разница относительного давления порталах: т. 4 – колодец, шахта т. 5, шахта т. 6 относительно плоскости сравнения КГН т. 1 – отрицательная.

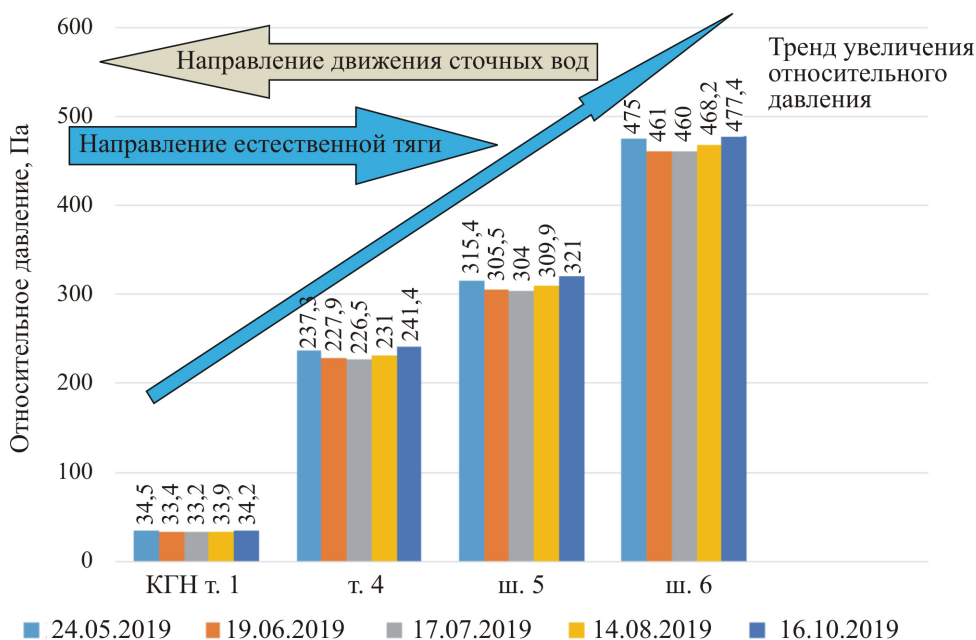


Рис. 3. Относительное давление на участке сети от КГН т. 1 до шахты т. 6

Fig. 3. Relative pressure in the network section from point 1 to point 6

Проведенные расчеты показали, что движение газа в весенний, летний и осенний периоды происходит противоположно потоку сточной жидкости из шахты т. 6 в КГН т. 1 (рис. 3).

Заключение

Установлено, что транспортирование стоков по самотечному коллектору от т. 1 до шахт ГРК т. 5, т. 6 является постоянным источником образования сероводорода в высоких концентрациях и причиной микробиологической коррозии канализационной сети и сооружений на ней.

Выполненные расчеты показали отсутствие естественной тяги в водоотводящем коллекторе. Движение газа в весенний, летний и осенний периоды происходит противоположно потоку сточной жидкости из шахты т. 6 в КГН т. 1. Необходимы мероприятия по организации искусственной вентиляции коллектора.

Для расчета необходимой депрессии, создаваемой вентиляционной установкой, требуется расчет депрессии, создаваемой увлекающей способностью жидкости.

Библиографический список

1. Васильев В.М., Новикова А.М. Способ организации газообмена на канализационной сети // Информационно-технический листок № 90–112 / ЛДНТП. – Л., 1990. – 35 с.
2. Assessment of pH shock as a method for controlling sulfide and methane formation in pressure main sewer systems / Oriol Gutierrez [et al.] // Water research. – 2014. – № 48. – P. 569–578.
3. Gerars M.N. Areview of dangerous gazez in sanitari sewers // Pyblic Works. – 1982. – Vol. 113, № 10. – P. 34–36.
4. Васильев В.М., Малков А.В. Газы в канализационной сети их вред и пути ликвидации // Техника и технологии мира. – 2016. – № 3–4 (81–82). – С. 48–53.

5. Рублевская О.Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 10. – С. 46–55.
6. Sewer ventilation // Minimization of Odors and Corrosion in Collection Systems. – 2005. – Chapter 6. – P. 6–10.
7. Жмаков Г.Н. Водоотводящие сети и сооружения // Техника и технологии мира. – 2015. – № 6 (74). – 48 с.
8. James P., James J. Ventilation, Odor and Corrosion Control for Large Diameter Collection Systems. – 2012. – № 6. – P. 1–32.
9. Joyce J., Hunniford Ch., Plummer A. Implementing vapor phase odor control on large diameter interceptor systems // Biosolids and Odor and Corrosion, Conference & Expo. – 2013. – P. 1–31.
10. Parker W.J., Ryan H.A. Tracer study of headspace ventilation in a collector sewer // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2011. – Dec. – P. 581–592.
11. Васильев В.М. Почему необходимо вентилировать канализационные коллектора // Подземное пространство мира. – 1993. – № 5–6. – С. 12–18.
12. Снопченко И. «Неприятно, но не опасно»: чем воняет в Петербурге, и как с этим борются власти [Электронный ресурс] // ИА «Диалог». – URL: <https://topdialog.ru/2016/07/05/nepriyatno-no-ne-opasno-chem-vonyaet-v-peterburge-i-kak-s-etim-boryutsya-vlasti/> (дата обращения: 22.02.2019).
13. Лобановский А. Зловонный Петербург стыдливо «задушили» [Электронный ресурс]. – URL: <http://ok-inform.ru/stroitelstvo/zhkkh/53466zlovonnyj-peterburg-stydlivo-zadushili.html> (дата обращения: 29.01.2016).
14. Бизенков В.Н. Стационарные машины. Расчет вентиляторных установок шахт. – Кемерово: Тип. ГУ КузГТУ, 2005. – 67 с.
15. Дезодорация газовоздушных выбросов объектов канализационной сети. Ч. 2 [Электронный ресурс] // Все о ЖКХ. – 2011. – № 2 (10). – С. 50–51. – URL: <https://rucont.ru/efd/573405> (дата обращения: 29.01.2016).
16. Медведев Б.И., Гуцин А.М., Лобов В.Л. Естественная тяга глубоких шахт. – М.: Недра, 1985. – 77 с.
17. Васильев В.М. К расчету естественной тяги канализационных коллекторов // Подземное пространство мира. – 1994. – Вып. 1. – 131 с.
18. Лапшев Н.Н. Гидравлика. – М.: Академия, 2007. – 268 с.
19. Дрозд Г.Я. Коррозионное разрушение, прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды и обеспечение надежности канализационных коллекторов на стадии проектирования // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2013. – № 1. – С. 40–56.
20. Малков А.В. Предотвращение коррозии конструкционных материалов в системах водоотведения на основе организации газообмена: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2017. – 179 с.

References

1. Vasilev, V.M. Sposob organizatsii gazoobmena na kanalizatsionnoy seti [The method of organizing gas exchange in the sewer network] 1990, no. 90-112, pp. 35.
2. Assessment of pH shock as a method for controlling sulfide and methane formation in pressure main sewer systems Oriol, Gutierrez [et al.] *Water research*. - 2014. – no 48. – pp. 569-578.
3. Gerars, M.N. Areview of dangerous gazez in sanitari sewers / M.N. Gerars // *Pyblic Works*. 1982, vol. 113, no. 10, pp. 34 - 36.

4. Vasilev V.M. Gazy v kanalizatsionnoy seti ih vred i puti likvidatsii [Gases in the sewage systems, harm and ways of liquidation]. *Tekhnika i tekhnologii mira*, 2016, no. 3-4 (81-82), pp. 48-53.
5. Rublevskaya O.N. Meropriyatiya po predotvrascheniyu rasprostraneniya nepriyatnykh zapakhov na obektakh GUP «Vodokanal Sankt-Peterburga» [Measures to prevent the spread of unpleasant odors at the facilities of the State Unitary Enterprise “Vodokanal of St. Petersburg”], *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2013, no. 10, pp. 46 – 55.
6. Sewer ventilation, Minimization of Odors and Corrosion in Collection Systems, 2005, vol. 6, pp. 6–10.
7. Zhmakov, G.N. Vodootvodjashhie seti i sooruzheniya [Water sewage systems and facilities], *Tekhnika i tekhnologii mira*, 2015, no. 6 (74), 48 p.
8. James, P. Ventilation, Odor and Corrosion Control for Large Diameter Collection Systems. 2012. no. 6. pp. 1-32.
9. Joyce, James. Implementing Vapor Phase Odor Control on Large Diameter Interceptor Systems / J. Joyce, Ch. Hunniford, A. Plummer // Biosolids and Odor and Corrosion, Conference & Expo. 2013, pp. 1-31.
10. Parker, W.J. A Tracer Study of Headspace Ventilation in a Collector Sewer / W.J. Parker, H. Ryan // Journal of the Air & Waste Management Association. 2011, pp. 581-592.
11. Vasilev, V.M. Pochemu neobkhodimo ventilirovat kanalizatsionnye kollektora [Why necessary to ventilate sewage collectors], *Podzemnoe prostranstvo mira*, 1993, no. 5-6, pp. 12-18.
12. «Nepriyatno, no ne opasno»: chem vonyaet v Peterburge, i kak s etim boryutsya vlasti [Inform Agency “Dialog”, “Unpleasant, but not dangerous”: what stinks in St. Petersburg, and how the authorities struggle with it], available at: <https://topdialog.ru/2016/07/05/nepriyatno-no-ne-opasno-chem-vonyaet-v-peterburge-i-kak-s-etim-boryutsya-vlasti/> (accessed: 22 February 2019)
13. Lobanovskiy. A. «Zlovonnyy Peterburg stydlivo «zadushili» «[Elektronnyy resurs] <http://ok-inform.ru/stroitelstvo/zhkkh/53466zlovonnyj-peterburg-stydlivo-zadushili.html> (accessed: 29 January 2016)
14. Bizenkov. V.N. Statsionarnyye mashiny. [Stationary cars] *Raschet ventilyatornykh ustanovok shakht* 2005. pp. 67.
15. Dezodoratsiya gaza-vozdushnykh vybrosov obyektov kanalizatsionnoy seti. Vse o ZHKKH 2011 no. 2 (10). pp. 50-51 <https://rucont.ru/efd/573405>
16. . Medvedev B.I. Estestvennaya tyaga glubokikh shakht [Natural traction in deep mines] M.: Nedra, 1985. 77 p.
17. Vasilyev. V.M. K raschetu yestestvennoy tyagi kanalizatsionnykh kollektorov [To the calculation of the natural draft of sewer collectors] *Podzemnoye prostranstvo mira*. 1994. no. 1. pp. 131.
18. Lapshev, N.N. Gidravlika [Hydraulics] – M.: Akademiya, 2007. pp. 268.
19. Drozd G. Ya. Korrozionnoe razrushenie, prognozirovaniye stepeni agressivnosti jekspluatatsionnoy sredy i obespechenie nadezhnosti kanalizatsionnykh kollektorov na stadii proektirovaniya [Corrosion destruction, predicting the degree of aggressiveness of the operating environment and ensuring the reliability of sewer collectors at the design stage] *Voda i jekologiya. Problemy i resheniya*. – 2013. no -.1. pp. 40-56.
20. Malkov A.V. Predotvraschenie korrozii konstruktsionnykh materyalov v sistemakh vodootvedeniya na osnove organizatsii gazoobmena [Corrosion prevention of structural materials in drainage systems based on gas exchange] dis. kand. tehn. nauk. Sankt-Peterburg, 2017. 179 p.