УДК 628.2

© А. В. Малков, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: malkov-anton@bk.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-184-187

© A. V. Malkov, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: malkov-anton@bk.ru

РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ КРАТНОСТИ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОДСВОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

ASSESSING THE REQUIRED MULTIPLICITY OF GAS EXCHANGE IN THE UNDERROOF SPACE OF THE SEWER NETWORK

Представлена методика расчета требуемой кратности воздухообмена в канализационной сети. Приведены значения ожидаемой концентрации сероводорода в период отсутствия воздухообмена на участке канализационной сети, а также значения периода достижения максимальных значений по сероводороду в газовой фазе канализационной сети.

Ключевые слова: канализация, коллектор, кратность воздухообмена, воздухообмен, газообмен, коррозия.

The paper presents the method of calculating the required multiplicity of air exchange in the sewer network. The expected concentration values of hydrogen sulfide in the absence of airflow in the sewer network are given. The period of the maximum values for hydrogen sulfide in the gas phase of sewer networks is determined.

Keywords: sewer network, sewer, air exchange multiplicity, air exchange, gas exchange, corrosion.

Как известно, высокая скорость разрушения канализационной сети глубокого заложения, а именно коррозии бетонных конструкций, связана с высокой концентрацией агрессивных токсичных газов в ее подсводном и шахтном пространстве. Наиболее опасным газом считается сероводород как продукт жизнедеятельности бактерий и первообразной серной кислоты [1]. Одним из способов увеличения срока эксплуатации канализационной сети считается воздухообмен между атмосферой и пространством канализационной сети. Воздухообмен возможно организовать за счет создания естественной тяги и использования увлекающей способности жидкости [2].

Существуют уравнения, позволяющие рассчитывать количество газа, движущегося за счет действия различных сил. Однако нигде не упоминается о требуемой кратности воздухообмена того или иного участка канализационного кол-

лектора. Отсутствие понимания значений требуемой кратности воздухообмена не позволяет оценить рациональность и обеспеченность того или иного объема газа, движущегося по сети за счет действия естественной тяги и увлекающей способности жидкости.

Малая кратность воздухообмена в сети может привести к увеличению скорости коррозии канализационной сети, так как при вентиляции канализационной сети происходит конкуренция двух процессов [3]:

- удаление сероводорода из подсводного пространства сети;
- окисление сероводорода кислородом воздуха, подаваемым с дневной поверхности земли (при участии микроорганизмов):

Соответственно, при малой кратности воздухообмена скорость удаления сероводорода

будет менее значительна, нежели окисление сероводорода кислородом воздуха, что будет способствовать обратному эффекту — увеличению скорости коррозии бетона и разрушению канализационной сети.

Требуемая кратность воздухообмена напрямую зависит от скорости дегазации сточных вод. Скорость дегазации зависит от разности концентраций агрессивных газов в сточной жидкости и газообразной среде, а также от турбулентности потока.

Образование газов в сточной жидкости зависит от ее химического состава, а именно от концентрации сульфатов (SO_4^{2-}) и химического потребления кислорода, физико-химических параметров (температура, величина pH), и происходит при анаэробных условиях:

- в заиленных лотках коллекторов в отложениях на банкетках шахт;
- в напорных трубопроводах (при этом выделение газов происходит в местах перехода из анаэробного режима движения в аэробный, то есть в камерах гашения напора и ниже по сети от них).

Как показывают наблюдения, наибольшим разрушениям на канализационной сети подвергаются именно камеры гашения напора (КГН) и канализационная сеть ниже по течению трубопровода. Поэтому расчет кратности воздухообмена следует вести именно по этим сооружениям, или, в случае отсутствия на участке сети КГН, любому другому месту канализационной сети, имеющему наибольшую турбулентность потока.

Кратность воздухообмена следует определять из расчета минимально допустимой концентрации сероводорода в газоздушном пространстве канализационной сети на основе баланса движения сероводорода:

Максимально допустимая концентрация сероводорода составляет 5 мг/м^3 [4].

Реальная концентрация сероводорода в подсводном шахтном пространстве сети может быть определена опытным путем или рассчитана по эмпирической зависимости, предложенной Г. Я. Дроздом [3]:

$$\text{H}_2\text{S}_{\text{газ}} = 7 \cdot T^{0,034} [\text{H}_2\text{S}]^{0,337 \cdot 0,357}, \quad (3)$$

где $\text{H}_2\text{S}_{\text{газ}}$ — концентрация сероводорода в подсводном шахтном пространстве сети, мг/м^3 ; T — температура в подсводном шахтном пространстве сети, $^\circ\text{C}$; $[\text{H}_2\text{S}]$ — концентрация сероводорода в воде, мг/л .

$$[\text{H}_2\text{S}] = 0,0142 \cdot T^{1,744} \cdot t^{2,878 \cdot T^{(-0,464)}} \left(\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{ХПК}} \right)^{-0,72}, \quad (4)$$

где t — время пребывания в анаэробных условиях, ч; SO_4^{2-} — концентрация сульфатов в воде, мг/л ; ХПК — химическое потребление кислорода, $\text{мг O}_2/\text{л}$.

Зная концентрацию сероводорода на расчетном участке канализационной сети, кратность воздухообмена можно рассчитать по следующей зависимости:

$$K_{\text{газ}} = \frac{C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{газ}}}}{t_{\text{газ}} \cdot C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{ПДК}}}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{газ}}$ — требуемая кратность воздухообмена, ч^{-1} ; $C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{газ}}}$ — концентрация сероводорода в период отсутствия воздухообмена (насыщенная концентрация H_2S), мг/м^3 ; $C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{ПДК}}}$ — предельно допустимая концентрация сероводорода на расчетном участке канализационной сети, мг/м^3 ; $t_{\text{газ}}$ — время насыщения внутриканализационного пространства сероводородом до максимальных концентраций, ч.

Время насыщения внутриканализационного пространства сероводородом до максимальных концентраций принимаем в диапазоне 1–2 ч на основе графиков изменения концентрации сероводорода в течение времени в шахтном пространстве канализационной сети [5].

Используя зависимость (5), мы принимаем допущение о линейности закона изменения концентрации сероводорода в подсводном и шахтном пространстве сети, что в действительности можно наблюдать на графиках изменения концентрации сероводорода (см. рисунок) [5].

В случае отсутствия возможности измерения или расчета насыщенной концентрации H_2S можно произвести расчет по следующей зависимости:

$$K_{\text{газ}} = \frac{V_{C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{газ}}}}}{C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{ПДК}}}}, \quad (6)$$

где $V_{C_{\text{H}_2\text{S}_{\text{газ}}}}$ — скорость насыщения газа, расположенного в подсводном и шахтном пространстве сероводородом, $\text{мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$;

График изменения концентрации H_2S в шахте № 10 «Дублер коллектора по ул. Верности» в период с 20:57 08 июля 2011 г. по 04:38 09 июля 2011 г. Температура наружного воздуха 25,1 °C

$$V_{C_{H_2S_{газ}}} = \frac{C_{H_2S_{газ}}}{t_{газ}}. \quad (7)$$

Скорость насыщения газа сероводородом можно принять на основе анализа графиков изменения концентрации сероводорода равной 125 мг/(м³ · ч).

Требуемый расход газа из расчета кратности воздухообмена и объема вентилируемого пространства можно определить по следующей зависимости:

$$Q_{газ} = \frac{W_{уч} \cdot K_{газ}}{3600}, \quad (8)$$

где $Q_{газ}$ — требуемый расход воздуха на вентилируемом участке, м³/с; $W_{уч}$ — объем вентилируемого участка, подверженного насыщению сероводородом, м³:

$$W_{уч} = W_{шахты} + W_{кол}, \quad (9)$$

где $W_{шахты}$ — объем шахты, подверженной насыщению сероводородом (как правило это весь объем шахты), м³; $W_{кол}$ — объем коллектора, подверженного насыщению сероводородом, м³.

$W_{кол}$ следует принимать из расчета длины канализационного коллектора, подверженного на-

сыщению сероводородом, которую можно определить по зависимостям Г. Я. Дрозда [3]:

$$\bar{U} = \left[\frac{k \cdot D \cdot l}{V \cdot d_r} \right]; \quad (10)$$

$$\bar{l} = \frac{0,7 \cdot V \cdot d_r}{k \cdot D}, \quad (11)$$

где $\bar{U}$ — относительная средняя концентрация выделившегося газа по длине канала; $\bar{l}$ — относительная длина коллектора; d_r — гидравлический диаметр воздушной части коллектора; V — скорость газа в подсводном пространстве; k — коэффициент, зависящий от вида препятствий в коллекторе, вызывающих интенсификацию выделения газа.

Для упрощения расчета для вентилируемых участков сети объем канализационной сети, подверженной насыщению сероводородом, можно принять равным объему шахты, подверженной насыщению сероводородом, с повышающим коэффициентом ($k = 1,5$), который будет учитывать возможное распространение сероводорода по коллектору и создавать некоторый запас в расче-

тах. В таком случае формула (8) примет следующий вид:

$$Q_{\text{газ}} = \frac{1,5 \cdot W_{\text{шахты}} \cdot K_{\text{газ}}}{3600}. \quad (12)$$

Используя вышеприведенные зависимости, можно рассчитать требуемую кратность воздухообмена на участке канализационной сети, определить требуемый расход воздуха.

Библиографический список

1. Васильев В. М., Дмитриева Е. Ю. Современное представление о микробиологической биодеструкции бетона и металлов при эксплуатации канализационных коллекторов // Инженерно-экологические системы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 10–12 октября 2012 г. СПб.: СПбГАСУ, 2012. С. 24–26.

2. 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. 39–44.

3. 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.

4. Васильев В. М., Бессолов П. П., Булгаков О. Н., Лившиц М. Б., Шаповалов В. Т. Техническая эксплуатация системы канализационных тоннелей: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2002. 59 с.

5. Васильев В. М. и др. Отчет о результатах обследования дублера канализационного коллектора в районе площади мужества. СПб.: ООО «ПИБ “Инженерные Экосистемы”», 2010.

References

1. Vasil'ev V. M., Dmitrieva E. Yu. *Sovremennoe predstavlenie o mikrobiologicheskoy biodestruktsii betona i metallov pri ehkspluatatsii kanalizatsionnykh kollektorov* [Modern ideas of microbiological bio-destruction of concrete and metals at operation of collecting pipes]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 10–12 oktyabrya 2012 g. «Inzhenerno-ehkologicheskie sistemy»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. October 10–12, 2012 "Engineering-ecological systems"]. St. Petersburg, SPSUACE, 2012, pp. 24–26.

2. Vasil'ev V. M., Malkov A. V. *Gazy v kanalizatsionnoy seti, ikh vred i puti likvidatsii* [Gas substances in sewer network, their harm and ways of elimination]. *Tekhnika i tekhnologii mira – Equipment and technologies of the world*, 2016, no. 3–4 (81–82), pp. 39–44.

3. Drozd G. Ya. *Korroziionnoe razrushenie, prognozirovaniye stepeni agressivnosti ehkspluatatsionnoy sredy i obespecheniye nadezhnosti kanalizatsionnykh kollektorov na stadii proektirovaniya* [Corrosion destruction, forecasting of aggression degree of the operational environment and ensuring reliability of collecting pipes at the design stage]. *Voda i ehkologiya: problemy i resheniya – Water and ecology: problems and solutions*, 2013, no. 1, pp. 40–56.

4. Vasil'ev V. M., et al. *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya sistemy kanalizatsionnykh tonneley. Ucheb. posobie* [Technical operation of system of sewer tunnels. Teaching manual]. St. Petersburg, SPSUACE, 2002, 59 p.

5. Vasil'ev V. M. et al. *Otchet o rezul'tatakh obsledovaniya dublera kanalizatsionnogo kollektora v rayone Ploshchadi Muzhestva* [The report on the inspection results of the secondary collecting pipe around the Square of Courage in St. Petersburg]. St. Petersburg, Inzhenernye Ekosistemy Publ., 2010.