

**МЕТОДИ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ КОНЦЕНТРАЦІЇ СІРКОВОДНЮ В ПІДСКЛЕПІННЕВОМУ ПРОСТОРІ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ**

**Вступ.** Об'єкти водовідведення призначені для забезпечення екологічної безпеки водокористування. Проте як великомасштабні промислові об'єкти вони спричиняють техногенне навантаження на довкілля. Особливу небезпеку для надійності водовідведення створює накопичення в експлуатаційних середовищах бетонних трубопроводів (стічній воді, підсклепінневному просторі, конденсатній волозі на склепінні) сірководню (H<sub>2</sub>S), його похідних та продуктів окиснення, що ініціюють біогенну сірчаноокислотну корозію бетонного склепіння. У м. Харкові понад 80 % бетонних трубопроводів водовідведення перебувають в передаварійному стані, який спричинений підвищенням вмістом сірководню на ділянках каналізаційної мережі. Наразі в Україні кількісне визначення концентрації сірководню в мережах водовідведення здійснюється лише в деяких великих містах і тільки періодично, що не дозволяє одержати об'єктивної оцінки небезпеки газоподібного середовища. Разові вимірювання концентрації H<sub>2</sub>S в атмосфері підсклепінневого простору не відображають реального рівня агресивності експлуатаційних середовищ на ділянках мереж, оскільки зміни концентрації сірководню в спорудах водовідведення відбуваються в досить широкому діапазоні не тільки протягом місяців і кварталів, але навіть діб [1].

Мета дослідження – кількісна оцінка накопичення сірководню в атмосфері підсклепінневого простору бетонних каналізаційних колекторів різними інструментальними методами.

Об'єкт дослідження – процес накопичення сірководню в підсклепінневному просторі бетонних каналізаційних мереж м. Харкова.

Результати дослідження. Розрахунок кінетичних показників накопичення H<sub>2</sub>S в атмосфері підсклепінневого простору –

викиду сірководню на безнапірній ділянці колектору (M<sub>i</sub>, мг/с) виконували за методикою, розробленою Мосводоканалом для очисних споруд за формулою [2]:

$$M_i = 5,47 \cdot 10^{-8} \cdot (1,312 + u) \cdot$$

$$F \cdot \left( 120 \frac{m_1 \cdot n_1}{273 + t_p} \cdot 10^{\frac{A-B}{C+t_{ж}}} \right) \cdot K_2 \cdot \frac{1}{m_1^{0,5}} \cdot (273 + t_{ж}) \quad (1)$$

де F - площа поверхні споруди, м<sup>2</sup>; m<sub>1</sub> - молекулярна маса сірководню, 34 г; n<sub>1</sub> – об'ємна доля H<sub>2</sub>S, що транспортується у стічній воді, K<sub>2</sub> - коефіцієнт перекриття поверхні; u - швидкість вітру, м/с; t<sub>p</sub> - температура рідини, °С; А, В, С – константи Антуана, які для H<sub>2</sub>S складають 8,5; 1175,3 і 273 відповідно [3].

Концентрацію сірководню в атмосфері підсклепінневого простору бетонних колекторів (мг/м<sup>3</sup>) розраховували за наступною формулою:

$$S_{AH_2S} = \frac{M_i}{K_{H_2S}} \quad (2)$$

де K<sub>H<sub>2</sub>S</sub> - коефіцієнт повітрообміну сірководню на даній ділянці, м<sup>3</sup>/с.

Результати виконаних експериментальних визначень і розрахунків концентрації насичених парів сірководню, а також викиду цього газу на обстежених ділянках каналізаційної мережі м. Харкова наведено в табл.

Розроблено математичну модель виділення сірководню в атмосферу підсклепінневого простору при експлуатації самопливних каналізаційних трубопроводів [4-7]. Моделювання процесу утворення сульфідів у біоплівці лоткової частини колектора і відкладеннях, переходу сульфідів у потік стічних вод, біохімічних і фізико-хімічних перетворень сульфідів у потоці стічних вод з наступною емісією H<sub>2</sub>S в підсклепінневий простір колектора містить у собі моделювання: процесу аеробного ро-

сту гетеротрофної біомаси в потоці стічних вод та в біоплівці лоткової частини; процесу споживання субстрату, що піддається біохімічним перетворенням, і продуктів цих процесів в енергетичному метаболізмі мікроорганізмів; процесу аеробної й анаеробної гідролізації; процесу біохімічних трансформацій; процесу утворення сульфідів; процесу хімічного і біологічного окиснювання сульфідів у потоці стічних вод і в біоплівці лоткової частини, процесу емісії сульфідів у підсклепінний простір колектора через поверхню розподілу фаз; процесу реаерації кисню з атмосфери колектора; гідродинамічного режиму плинну стічної рідини в самопливному колекторі [8]. Математичне вираження вказаних вище процесів надало можливість створити рівняння для розрахунку концентрації  $H_2S$  в атмосфері підсклепінного простору:

$$r_{S_{A.H_2S}} = r_{EM} - r_{AD.OX} =$$

$$= a_1 \cdot \left( 0,86 \cdot \left( 1 + 0,2 \frac{V^2}{gh_{mean}} \right) \cdot (iV)^{3/8} \right) \times$$

$$\times (h_{mean})^{-1} \cdot b \cdot k_{pH} \left( S_{S(-II)} - \frac{S_{A.H_2S} \beta}{k_{pH} C_{H.W/A.H_2S}} \right) \times$$

$$\times \cdot a_T^{T-20} - k_{AD.OX} \alpha_A \cdot \left( \frac{S_{A.H_2S}}{K_{S_{A.H_2S}} + S_{A.H_2S}} \right) \cdot a_t^{T-20} \quad (3)$$

де  $a_1$  – коефіцієнт, що враховує масоперніс  $H_2S$  через коефіцієнт масопереносу кисню, 0,86;  $V$  - середня швидкість течії стічної рідини, м/с;  $g$  - прискорення сили ваги, м/с<sup>2</sup>;  $h_{mean}$  - середня гідравлічна глибина;  $i$  - ухил колектору,  $b$  - коефіцієнт, що враховує вплив фізико-хімічного складу стічної рідини на масоперенос  $H_2S$  в порівнянні з чистою водою;  $k_{pH}$  - коефіцієнт, що враховує частку сірководню із загальної кількості розчинених сульфідів у залежності від рН;  $S_{S(-II)}$  - сумарна концентрація розчинених сульфідів, г S/м<sup>3</sup>;  $S_{A.H_2S}$  - концентрація сірководню в атмосфері колектора, г S/м<sup>3</sup>;  $\beta$  - коефіцієнт, що враховує вплив фізико-хімічного складу стічних вод на концентрацію насичення сірководню;  $C_{H.W/A.H_2S}$  - безрозмірне значення константи закону Генрі (м<sup>3</sup> водної

фази/м<sup>3</sup> газової фази) для  $H_2S$ ;  $T$  – температура стічної води, °С;  $k_{AD.OX}$  - максимальна поверхнева швидкість адсорбції  $H_2S$  з атмосфери колектора в плівці конденсатної вологи й окислення в біоплівці тіоновими мікроорганізмами на склепінні колектора, г S(м<sup>2</sup>·с)-1;  $\alpha_A$  - питома площа поверхні плівки конденсатної вологи і біоплівки на склепінні, м<sup>-1</sup>;  $K_{S_{A.H_2S}}$  - константа напівнасичення за газоподібним  $H_2S$ , г S/м<sup>3</sup>;  $a_t$  – температурний коефіцієнт, 1,034.

Розроблено метод розрахунку очікуваної концентрації  $H_2S$  в атмосфері підсклепінного простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів осередненої за великий проміжок часу. Він базується на наступних положеннях:

- виміри, проведені за допомогою корозиметра бетону (КБ) дозволяють визначити швидкість корозії й об'єм прокородованого бетону;
- маса прокородованого бетону пропорційна масі сірчаної кислоти, що впливала на бетон протягом визначеного часу;
- весь сірководень, що перейшов з атмосфери підсклепінного простору в плівкову вологу на склепінні окислюється у сірчану кислоту.

Очікувану середньорічну концентрацію  $H_2S$  в атмосфері підсклепінного простору каналізаційних трубопроводів визначали за наступною формулою:

$$S_{A.H_2S} = \frac{V_{кор} \cdot S_{підскл.пр.} \cdot M_{H_2S} m_{ц.пит.}}{M_{CaO} W_A \cdot \beta} \cdot \frac{p \cdot a \cdot b}{c \cdot k}, \quad (4)$$

де  $V_{кор}$  – швидкість корозії бетону, мм/рік;  $S_{підскл.пр.}$  - площа підсклепінного простору колектору, м<sup>2</sup>;  $M_{H_2S}$  і  $M_{CaO}$  - молекулярні маси  $H_2S$  і оксиду кальцію відповідно, кг;  $m_{ц.пит.}$  – маса цементу, що необхідна для приготування 1 м<sup>3</sup> бетону [9], кг;  $W_A$  - об'єм атмосфери підсклепінного простору, м<sup>3</sup>;  $\beta$  - коефіцієнт масопереносу  $H_2S$  [10], діб<sup>-1</sup>;  $p$  – частка CaO в цементі, що вступив в реакцію з  $H_2SO_4$  на конкретній ділянці каналізаційного трубопроводу, долі, 0,6;  $a$  – перерахунковий коефіцієнт кг/мг, 10<sup>6</sup>;  $b$  - коефіцієнт, що враховує стикання частини  $H_2SO_4$  зі стін колектору в стічну воду, 1,2;  $c$  – перерахунковий

коефіцієнт рік/діб, 365; k – перерахунковий коефіцієнт мм/м, 1000.

Результати розрахунку концентрації H<sub>2</sub>S в атмосфері ділянок каналізаційної мережі з допомогою розглянутих методів за середньорічними даними вимірювань концентрації H<sub>2</sub>S в стічній воді та рН бетону склепінневої частини представлено в табл. Для оцінки їх відповідності реальній концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору наведено середньорічні дані інструментального вимірювання цього показника.

Як свідчать дані табл. 1, найточніше оцінити стан атмосфери каналізаційних колекторів дозволяє розроблена математична модель та метод розрахунку середньо-

річної концентрації сірководню з використанням даних вимірювань за допомогою корозиметра бетону. Для розрахунку середньорічної концентрації H<sub>2</sub>S за допомогою математичної моделі необхідний великий обсяг вихідних даних (концентрація органічної речовини, концентрація сірководню у воді, рН стічної води, заповнення колектора і т.д.), що ускладнює застосування математичної моделі в повсякденних визначеннях. Використання корозиметра бетону дозволяє достатньо точно оцінити середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері підсклепінневого простору бетонних каналізаційних трубопроводів, не вимагаючи при цьому вимірювання великої кількості параметрів.

Таблиця 1 - Результати розрахунків очікуваної концентрації сірководню в атмосфері підсводового простору каналізаційних трубопроводів різними методами

Ділянка відбору проби	Дані хімічного аналізу експлуатаційних середовищ			Концентрація H <sub>2</sub> S в атмосфері (мг/м <sup>3</sup> ), розрахована за різними методиками		
	Середньорічна концентрація H <sub>2</sub> S у воді, мг/дм <sup>3</sup>	Середньорічна концентрація H <sub>2</sub> S в атмосфері, мг/м <sup>3</sup>	рН бетону	За методикою для очисних споруд (Мосводоканал)	За розробленою математичною моделлю	За розробленим методом на підставі даних вимірювання за допомогою КБ
Кол-р ХТЗ, шахта № 4	18,6	198,0	1,98	130,7	232,1	209,0
Кол-р ХТЗ, шахта № 5	12,0	20,0	3,7	12,9	16,0	17,5
Кол-р ХТЗ, шахта № 6	13,0	30,6	3,50	18,1	34,0	33,2
Кол-р ХТЗ, шахта № 8	6,6	10,5	4,1	6,0	8,3	12,5
Кол-р ХТЗ, шахта № 10	8,46	62,4	3,20	43,4	71,3	60,1
Кол-р ХТЗ, шахта № 12	31,0	239,7	1,93	150,8	201,3	251,0
Ріг вул. Забайкальської та вул. Н'ютона	15,3	60,0	3,05	48,4	66,0	62,4

**ЛІТЕРАТУРА<sup>^</sup>**

1. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: Монография / Гончаренко Д.Ф. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
2. Временная методика расчета количества загрязняющих веществ, выделяющихся от

- неорганизованных источников станций аэрации бытовых сточных вод. М.: МОСВОДОКАНАЛНИИПРОЕКТ, 1994. - 11с.
3. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха / Тищенко Н.Ф. - М.: Химия, 1991. – 368 с.

4. Vavilin V.A. Modelling ammonia and hydrogen sulfide inhibition in anaerobic digestion / V.A. Vavilin, V.B. Vasiliev, S.V. Rytov, A.V. Ponomarev // *Water Research*, 1995. - № 29. - P. 827-835.
5. Hvitved-Jacobsen T. Sewer Processes – microbial and chemical process engineering of sewer networks / T. Hvitved-Jacobsen: CRC Press, 2002. - 237 p.
6. Nielsen A. Kinetics and stoichiometry of sulfide oxidation by sewer biofilms / A. Nielsen, T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen // *Water Research*, 2005. - Vol. 39. - № 17. - P. 4119-4125.
7. Yongsiri C. Hydrogen sulfide emission in sewer networks: a two-phase modeling approach to the sulfur cycle / C. Yongsiri, T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen // *Water Science and Technology*, 2004. - Vol. 50. - № 4. - P. 161-168.
8. Юрченко В.А. Моделирование процесса эмиссии сероводорода в самотечных канализационных коллекторах / Юрченко В.А., Архипов О.В., Бригада Е.В. // *Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов* / Сборник научных трудов XVIII (ежегодной) международной научно-технической конференции // Под ред. В.Ф.Костенко, А.И. Абрамовича, Бердянск, 7-11 июня 2010 г., Харьков, УкрВОДГЕО. - 2010. - С. 279-286.
9. Файнер М.Ш. Новые закономерности в бетоневедении и их практическое приложение / [Файнер М.Ш.] - К.: Наукова думка, 2001. - 448 с.
10. Усык А.А. Исследование процесса массопереноса сероводорода в системе «газ-жидкость» / Усык А.А., Деркач И.Л., Шишкин Э.А. // *Коммунальное хозяйство городов*, 2010. - № 93. - С. 414-421.

УДК 504.06

**Чистикова А.В., Выставная Ю.Ю.,**

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова*

**Яковлев В.В., Мацюк С.А., Горшкова Е.А.**

*ТОВ «Лаборатория качества воды «ПЛАЯ», г. Харьков*

### **К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА ВОДЫ РОДНИКОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ГОРОДСКОЙ ЭКОСИСТЕМЕ г.ХАРЬКОВА**

#### ***Введение***

Подземная гидросфера представляет собой наиболее динамичную составляющую геологической среды, которая в условиях интенсивного хозяйственного освоения территории Харькова является показателем его экологического состояния. Родники в городской черте являются индикатором загрязнения подземных вод и могут быть использованы для оценки воздействия на гидросферу урбанизированной территории [6]. При мониторинге особое внимание уделялось физико-химическим показателям качества родниковой воды, а также содержанию нитратов и их сезонной миграции.

Родники как естественные выходы подземных вод на поверхность были известны и использовались как источник питьевой и хозяйственной воды со времени основания г. Харькова в 17 столетии.

До настоящего времени вода источников используются населением в питьевых, лечебных и рекреационных целях [5]. Но техногенез ухудшает качество родниковых вод Харькова [3]. Подобные тенденции изменения качества родниковых вод наблюдаются и на других урбанизированных территориях. Поэтому актуальным является изучение как трансформации качественного состава родниковых вод на застроенных территориях, так и причин, их вызывающих для прогнозирования возможности использования родниковых вод.

Подземные воды обладают известной восприимчивостью к любым антропогенным воздействиям, а изменения в их режиме и качественном состоянии приводят к изменениям различных компонентов природной среды. Например, увеличение питания грунтовых вод, которое характерно для застроенных территорий приводит