

УДК 504.06

**ЗАХИСТ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНОЇ
ЕМІСІЇ СІРКОВОДНЮ З СПОРУД ВОДОВІДВЕДЕННЯ****Юрченко В. О., Лебедєва О. С., Бойко С. В., Ярошенко А. О.**

Харківський національний університет будівництва та архітектури

Каналізаційні мережі внаслідок емісії екологічно небезпечних викидів становлять загрозу для газоповітряного середовища міста. В даній роботі розглядається зниження викидів внаслідок роботи теплових насосів, а саме зменшується кількість емісії внаслідок пониження температури стічних вод.

Ключові слова: екологічна безпека, газоподібні викиди, сірководень, забруднення атмосфери, каналізаційні мережі, тепловий насос

Каналізація є системою житлово-комунального господарства, яка забезпечує екологічну безпеку технічного та господарсько-питного водокористування міста. Але, в той же час, споруди водовідведення є і великомасштабними технічними об'єктами, які чинять інтенсивне техногенне навантаження на навколишнє природне середовище, нерідко стаючи джерелом значущої екологічної небезпеки для міських регіонів.

Аварії на трубопроводах водовідведення призводять не тільки до руйнування самих споруд, а й до забруднення підземного простору міст та об'єктів гідросфери токсичними сполуками. Але навіть при роботі каналізаційних мереж в безаварійному режимі, експлуатація каналізаційних мереж створює екологічну напруженість, обумовлену утворенням токсичних газоподібних сполук (сірководню, меркаптану, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду вуглецю, метану, оксидів азоту, аміаку та ін.), які через шахти і колодязі забруднюють атмосферу міських регіонів. Особливу екологічну небезпеку за кратністю перевищення ГДК в газоподібних викидах з каналізаційних мереж створює сірководень. Він до того ж ініціює розвиток на підсклепеневій частині бетонних трубопроводів самого активного виду мікробіологічної корозії – біогенної сірчанонокіслотної агресії. Отже, утворення сірководню в мережах водовідведення створює проблеми не тільки для екологічної безпеки цих технічних об'єктів, а й для їх експлуатаційної надійності. Одним з заходів, що придушує утворення цієї сполуки в каналізаційних колекторах, є зниження температури стічних вод, які транспортуються [1-8].

Постановка завдання

Самопливний каналізаційний колектор (реактор спонтанних хімічних і біологічних процесів) можна розглядати як техногенну екосистему, яка включає три фази: рідку (транспортовані стічні води), газоподібну (атмосферу колектора) і тверду (бетон склепіння), та їх мікробіоценози. При транспортуванні стічних вод каналізаційними колекторами в водному середовищі (рідкій фазі) внаслідок спонтанних мікробіологічних процесів утворюються екологічно небезпечні газоподібні сполуки (табл. 1). Ці сполуки виділяються в атмосферу підсклепеневого простору, а потім через відкриті люки каналізаційних шахт та колодязів – в атмосферу міського середовища. Загазовані каналізаційні мережі часто є причиною нещасних випадків (отруєння H₂S) обслуговуючого персоналу [3-6, 7].

Таблиця 1

**Токсикологічні характеристики та екологічна небезпека газоподібних сполук,
що виділяються в процесі водовідведення**

Речовина	Токсикологічні характеристики				Поріг запаху	Парниковий ефект
	Клас небезпеки	ГДК м.р., мг/м ³	ГДК р.з., мг/м ³	ГДК с.д., мг/м ³		
H ₂ S (сірководень)	2	0,008	10	0,008	14	-
NH ₃ (аміак)	4	0,2	20	0,04	32000	-
CO (окис вуглецю)	4	5	20	3	-	-
CO ₂ (двоокис вуглецю)	-	-	-	-	-	+
NO ₂ (двоокис азоту)	3	0,085	2,0	0,04	0,2	-
CH ₄ (метан)	-	50 (ОБРВ)	1500, 7000	50	-	+
CH ₃ CH ₂ SH (етилмеркаптан)	3	10 ⁻⁴	1	-	0,19	-
CH ₃ SH (метилмеркаптан)	2	9·10 ⁻⁶	0,8	-	0,4	-

Як видно з даних табл. 1, концентрації газоподібних сполук, що накопичуються в каналізаційних колекторах, мають високу небезпеку для обслуговуючого персоналу та для міського населення, як за класом небезпеки, рівнем перевищення ГДК, так і в результаті створення парникового ефекту [9-15].

Мета роботи – визначення показників екологічно небезпечної емісії сірководню з споруд водовідведення в міську атмосферу та оцінка ефективності придушення цього процесу за допомогою охолодження стічних вод.

Об'єкти дослідження – газоподібне середовище в каналізаційних колекторах м. Харкова та модельні стічні води.

Аналіз складу газоподібного середовища в каналізаційних колекторах виконувались спільно зі спеціальним підрозділом лабораторії на каналізаційних мережах КП «Харківводоканал». Досліджували три контрольні шахти на одному з каналізаційних колекторів м. Харкова. В атмосфері каналізаційних шахт кількісно вимірювали концентрацій наступних екологічно небезпечних газоподібних речовин: SO_2 , H_2S , CO , CO_2 , CH_4 . Вимірювання проводили за допомогою трьох газоаналізаторів: УГ-2, «Дозор», шахтного інтерферометра ШИ-11.

Розрахунок розсіювання H_2S з шахт №4 та №4а, розташованих поблизу житлової забудови, проводили на підставі ОНД-86 «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств» при обробці даних на ЕОМ в програмі для розрахунку розсіювання «ЭОЛ+». Площадки для розрахунку були представлені у вигляді розрахункового прямокутника 250 м x 250 м, із кроком 5 м уздовж осей X і Y.

Вплив температури на активність утворення H_2S вивчали в лабораторних культиваторах (рис. 1). У пробі модельної стічної води вводили каналізаційні осади. Усі культиватори мали водні затвори. Проби в культиваторах інкубували при різних температурах без струшування.



Рис. 1. Лабораторний культиватор з водяним затвором

Результати досліджень

У табл. 2 наведені результати вимірювання концентрацій небезпечних газоподібних речовин в газо-повітряному середовищі каналізаційних колекторів, встановлені при обстеженні цих об'єктів спільно з співробітниками спеціалізованої лабораторії на мережах водовідведення [16-18].

Таблиця 2

Концентрація небезпечних газоподібних сполук в газо-повітряному середовищі каналізаційних мереж

№ контр. шахти	Концентрація газоподібних сполук				
	SO ₂ , мг/м ³	H ₂ S, мг/м ³	CO, мг/м ³	CO ₂ , Об.%	CH ₄ , Об.%
15	0	2	0,36	0,2	0
4	35	82,6	2,6	0,73	1,1
4а	35	73,4	2,1	0,73	1,1

Як видно з наведених результатів, концентрації CO, CO₂ та CH₄ в газо-повітряному середовищі на обстежених об'єктах каналізаційної мережі не перевищують ГДК робочої зони. Концентрація SO₂ в шахтах 4 та 4а в 3,5 рази перевищує ГДК для робочої зони (10 мг/м³). А концентрації H₂S (клас безпеки 2) в газо-повітряному середовищі шахт 4 та 4а перевищують ГДК для робочої зони (10 мг/м³) в 7-8 разів, що створює реальну загрозу для співробітників ремонтних служб на мережах. Кратність перевищення ГДК середньодобової за концентрацією сірководню (0,008 мг/м³) складає 9000-1000 разів. Настільки високі концентрації H₂S в газоподібних викидах представляють надзвичайну небезпеку для здоров'я населення. Проте при виході з шахти, глибина якої складає 10 м, концентрація H₂S в газоподібному викиді зменшується практично в 10 разів і на шахтах 4 та 4а досягає значень 7-8 мг/м³. Проте і ці значення перевищують ГДК середньодобову в 900-1000 разів.

Згідно проведених розрахунків розсіювання забруднюючих речовин на ЕОМ були побудовані карти розсіювання H₂S. Їх було нанесено на ділянки карти м. Харкова, де розташовані шахти 4 та 4а. В якості нормативного показника приймали ГДК середньодобове (0,008 мг/м³).

Як видно з даних на рис. 2, в міському середовищі, що прилягає до шахти 4, навіть на відстані 110 м спостерігається перевищення ГДК (в 2,81 разів) за концентрацією H₂S. Найближча житлова забудова знаходиться на відстані 100 м від цієї

шахти. На території, що прилягає до шахти 4а, на відстані 110 м від шахти перевищення ГДК становить 3,03 рази. А житлова забудова знаходиться на відстані менш ніж 50 м від цієї шахти. Екологічно безпечна територія знаходиться на відстані приблизно 150 м від цих шахт. Отже, газоподібні викиди з шахт 4 та 4а спричиняють екологічно небезпечні концентрації H_2S в атмосфері міської території (особливо з шахти 4а), що прилягає до цих шахт, а, отже, створюють несприятливі умови для нормальної життєдіяльності населення та погрозу для його здоров'я.

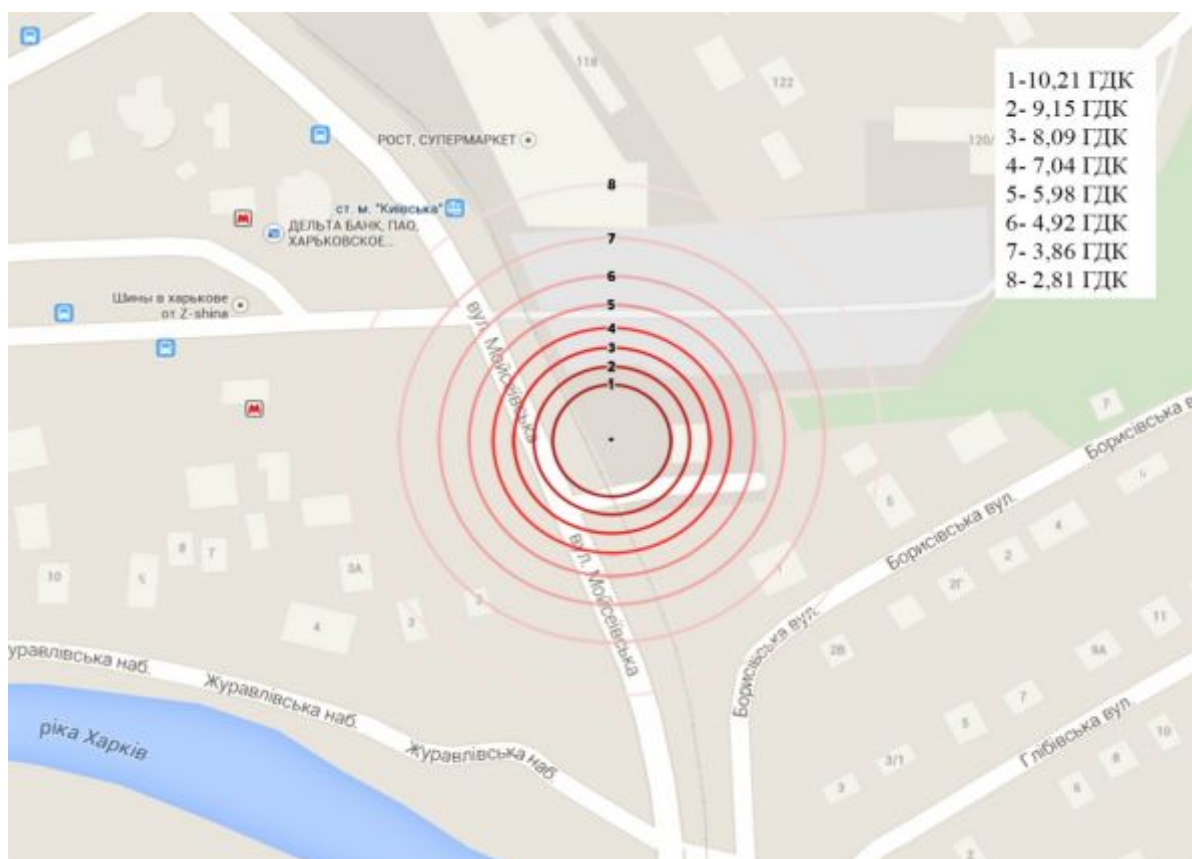


Рис. 2. Карта розсіювання H_2S від шахти №4 (масштаб 1:1000)

В експериментальних дослідженнях кількісно контролювали вплив температури на накопичення сірководню в стічних водах при лабораторному моделюванні. В експериментах використовували модельні стічні води наступного складу: ХСК – 350-400 мг/дм³, SO_4^{2-} – 170-190 мг/дм³, N-NH₄ – 19-15 мг/дм³, P-PO₄ – 2-3 мг/дм³, рН – 7,5-8,0. Результати контролю процесу приведені на рис. 3.

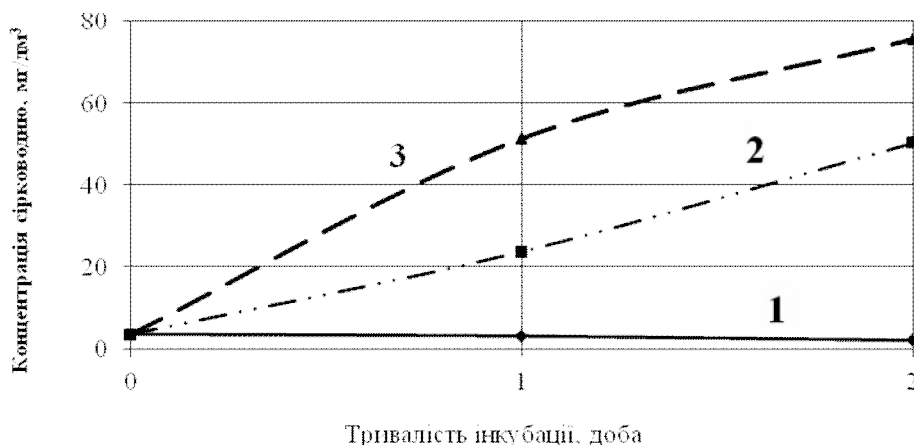


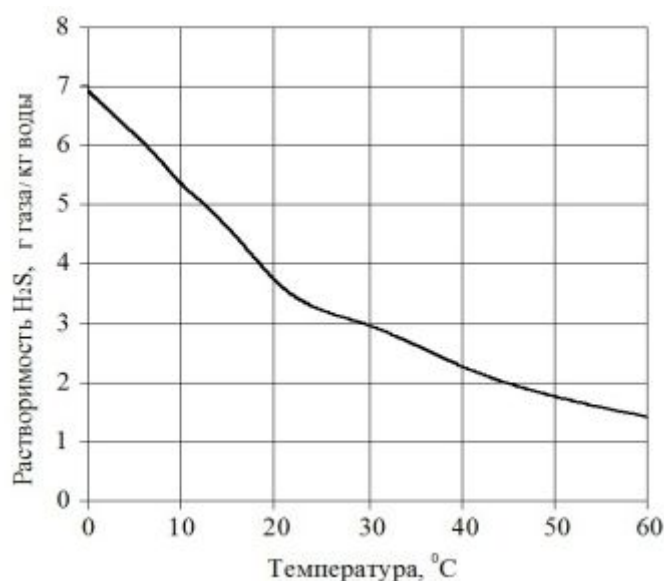
Рис. 3. Вплив температури на накопичення H_2S у стічних водах:
1 – $t^{\circ} 6^{\circ}C$, 2 – $t^{\circ} 17^{\circ}C$, 3 – $t^{\circ} 28^{\circ}C$

Як видно, найбільша швидкість накопичення сірководню в стічній воді спостерігалася при температурі $27^{\circ}C$, незважаючи на те, що розчинність газів при підвищенні температури води зменшується. Причому, при збільшенні температури середовища на $10^{\circ}C$, концентрація H_2S у стічній воді збільшувалася ~ в 2 рази, що погоджується з законами кінетики мікробіологічних процесів.

Як видно, найбільший викид H_2S у повітряне середовище був зроблений із третього культиватора, де відзначалося найбільше накопичення H_2S у водному середовищі.

Отже, проведені експерименти свідчать, що при зниженні температури стічних вод на $10^{\circ}C$, концентрація H_2S у стічній воді зменшувалася приблизно в 2 рази. В реальних умовах каналізаційних колекторів за допомогою теплового насоса можливо знизити температуру стічної води на $3-6^{\circ}C$ (до $15^{\circ}C$). Вплив такого зниження температури води на утворення сірководню можливо розрахувати.

Зниження температури стічних вод призведе також до підвищення розчинності H_2S у воді [15] і зниженню його елюювання в газоподібну середу (рис. 4). При зниженні температури води з 21 до $15^{\circ}C$ розчинність H_2S підвищиться на 20 %, тобто на 20% знизиться викид в атмосферу.

Рис. 4. Розчинність H₂S у воді в залежності від температури [15]

Таким чином, якщо підсумувати ці ефекти, то в цілому, концентрація H₂S в підсклепеному просторі колекторів після зниження температури стічної води, що транспортується на 6 °C знизиться ~ на 44% від початкової.

$$3K_{n.n.} = C_{поч.} \cdot \frac{100 - a}{100} \cdot \frac{100 - v}{100} = 56\%, \quad (1)$$

де $3K$ – залишкова концентрація H₂S в підсклепеному просторі колекторів після зниження температури стічної води, що транспортується від початкової, %, $C_{поч.}$ – початкова концентрація H₂S, a – ефект зниження концентрації H₂S в стічній воді, 30 %, v – ефект затримання H₂S в стічній воді, 20 %.

Крім того, зниження температури транспортованих стічних вод до 16 °C істотно знизить тягу в колекторі і викид газоподібних речовин через колодязі, а особливо – через глибокі шахти.

Отже в результаті відбору низько потенційного тепла від каналізаційних колекторів можливо суттєво знизити концентрацію сірководню в газоповітряному середовищі каналізаційних мереж, чим підвищити безпеку роботи працівників на цих об'єктах та зменшити викиди екологічно небезпечних газоподібних сполук в міську атмосферу.

Висновки

1. При проведенні обстеження складу природного газоповітряного середовища в шахтах каналізаційних мереж встановлено, що в них концентрація сірководню в 7-8 разів перевищує ГДК робочої зони.
2. Розрахунок розсіювання викидів сірководню з цих шахт в міській атмосфері показав, що кордон екологічно безпечної зони становить більше, ніж 110 м (приблизно 150 м).
3. На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що при зниженні температури стічних вод на 10 °С, концентрація H₂S у стічній воді (а, отже, і в атмосфері надводного середовища) зменшується приблизно в 2 рази.
4. Розрахунки, виконані на підставі математичної моделі питомої швидкості мікробіологічних процесів та даних з фізичних властивостей сірководню, свідчать, що при технічно можливому зниженні температури стічної води в каналізаційних мережах (на 3-6 °С) зменшення концентрації сірководню в газоповітряному середовищі цих об'єктів та в його викидах в міську атмосферу становить приблизно 44%. Такий ефект дуже важливий як для охорони праці робітників, так і для екологічної безпеки прилеглих міських регіонів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кофман В. Я. Сероводород и метан в канализационных сетях (обзор) / Кофман В. Я. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – №11. – С. 72-78.
2. Дрозд Г. Я. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация. [Sewers: reliability, diagnostics, sanation] / Г.Я. Дрозд, Н.И. Зотов, В.Н. Маслак – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2003. – 260 с.
3. Гончаренко Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: Монография. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
4. Gostelow P., Parsons S. A. Sewage treatment works odour measurement / Water Sci. Technol. – 2000. – № 6, V. 41.
5. Zarra T., Naddeo V., Belgiorno V., Reiser M. and Kranert M. Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment // Water Science & Technology – WST. – 2008. – Vol.58, №1. – P. 89-94.

6. Юрченко В. А., Бригада Е. В., Бахарева А. Ю. Химический состав газообразных выбросов из канализационных сетей // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – № 46. – С. 223-228.
7. Stuetz R., Frechen F.-V. *Odours in Wastewater Treatment*. Published by IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street (London SW1H 0QS, UK). – 2001. – 437 p.
8. George Simon, Charles Alix and Vincente Arrebola. *Odor Control – Solutions for Managing Emissions from Wastewater Treatment Facilities* // Florida water resources journal. – 2010. – Vol. 7, №2. – P. 32-34.
9. ДБН В.2.5-75: 2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування // К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 207 с.
10. Чернова Н. М. *Общая экология* / Н. М. Чернова А. М. Былова. – М. : Издательство: Дрофа, 2004. – 416 с.
11. Юрченко В. А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: дисс. ... доктора техн. наук: 05.23.04 / Юрченко Валентина Александровна. ХГТУСА. – Харьков, 2007. – 426 с.
12. Дрозд Г. Я., Зотов Н. И., Маслак В. Н. Вентиляция канализационных сетей как фактор загрязнения городской атмосферы // Вестник ДонГАСА, 2000.
13. Паспорт «Газоанализатор универсальный УГ-2» 09К.095.00.000 ПС. – 24 с.
14. Лурье Ю. Ю. *Химический анализ производственных сточных вод*. Издание 4-е, перераб. / Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова. – М. : Химия, 1974. – 336 с.
15. Кузнецов В. В. *Физическая и коллоидная химия* / В. В. Кузнецов – М. : Высшая школа, 1968. – 392 с.
16. Екологічно небезпечні газообразні сполуки в каналізаційних мережах м. Харків : матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека людини в сучасних умовах» / упоряд.: В. В. Березуцький, Є. О. Лаптева. – Х. : Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014. – С. 157-159.
17. Количественная оценка экологически опасных газообразных соединений в канализационных сетях г. Харькова : Матеріали III Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» – Х. : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. – С. 81.

18. Влияние окислительно- восстановительных условий на образование сероводорода в сточных водах : сб. докл. II Международной молодежной научной конференции «Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов», 1-3 октября 2014 г. / БГТУ. – Белгород: изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 16-18.

Юрченко В. А., Лебедева Е. С., Бойко С. В., Ярошенко А. О.

Защита городской среды от экологически опасной эмиссии сероводорода из сооружений водоотведения

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Канализационные сети в результате эмиссии экологически опасных выбросов представляют угрозу для газовой среды города. В данной работе рассматривается снижение выбросов в результате работы тепловых насосов, а именно уменьшается количество эмиссии вследствие понижения температуры сточных вод.

Ключевые слова: экологическая безопасность, газообразные выбросы, сероводород, загрязнение атмосферы, канализационные сети, тепловой насос

Iurchenko V. A., Lebedeva E. S., Boiko S. V., Yaroshenko A. O.

Urban environment protection from ecologically dangerous hydrogen sulfide emissions from wastewater facilities

Kharkov national university of civil engineering and architecture

Sewer network as a result of emissions of environmentally hazardous emissions pose a threat to the gas-air environment of the city. In this paper we consider the reduction of emissions from heat pumps, namely, reducing the amount of emissions as a result of lowering the temperature of wastewater.

Key words: environmental safety, gaseous emissions, hydrogen sulfide, atmosphere pollution, sewer networks, heat pump