

Биологический фактор как причина разрушения канализационных сетей

Общий объем реализованной на Украине воды в 1999 г. превысил 3,3 млрд. м³, из которого только 2,9 млрд. м³ дошло до очистных сооружений, т. е. около 12 % воды потеряно за время транспортировки по сетям. По данным Госкомстата Украины, из 33 тыс. км канализационных сетей более 7,5 тыс. (около 23 %) находится в аварийном состоянии [1]. Прямые ежегодные затраты на ремонтно-восстановительные работы канализационных сетей на Украине превышают 40 млн. долл., из которых около 80 % приходится на восстановление участков, разрушенных коррозией. Техногенную опасность представляют аварии, вызванные газовой-биогенной коррозией (рис. 1).

Ведущим фактором разрушения канализационных сетей является биологический, при котором повреждаются километры труб (очень быстро и в больших масштабах), загрязняются водоемы, почва, атмосфера городов, заполняются газом сети, что приводит к отравлению обслуживающего персонала. Биологический фактор в канализационных системах порождает цепь взаимосвязанных технических, экологических и социальных проблем.

Согласно [2], биологический фактор – это организмы (микроорганизмы) или их сообщества, вызывающие нарушения исправного и работоспособного состояния объекта. Канализационные системы – это объекты, где для сообществ находящихся в них микроорганизмов имеются оптимальные условия жизнедеятельности: наличие питательных веществ, постоянная положительная температура и массооб-

мен с отведением продуктов метаболизма. Из последних ответственных за коррозионные процессы трубопроводов являются H₂S, CO₂, NH₃, концентрации которых в атмосфере подводящего пространства трубопроводов могут достигать соответственно 600; 3,5 и 20 мг/м³.

Исходные сточные воды, поступающие в канализационную сеть, в соответствии с требова-

нием СНиП 2.03.11–85 неагрессивны к материалу трубопроводов, но за время перемещения по трубопроводам в результате жизнедеятельности микроорганизмов теряют растворенный кислород и насыщаются CO₂, H₂S и NH₃. При этом воздушная (подводящая) эксплуатационная среда насыщается газами биогенного происхождения вследствие дегазации сточной воды. Конструкция

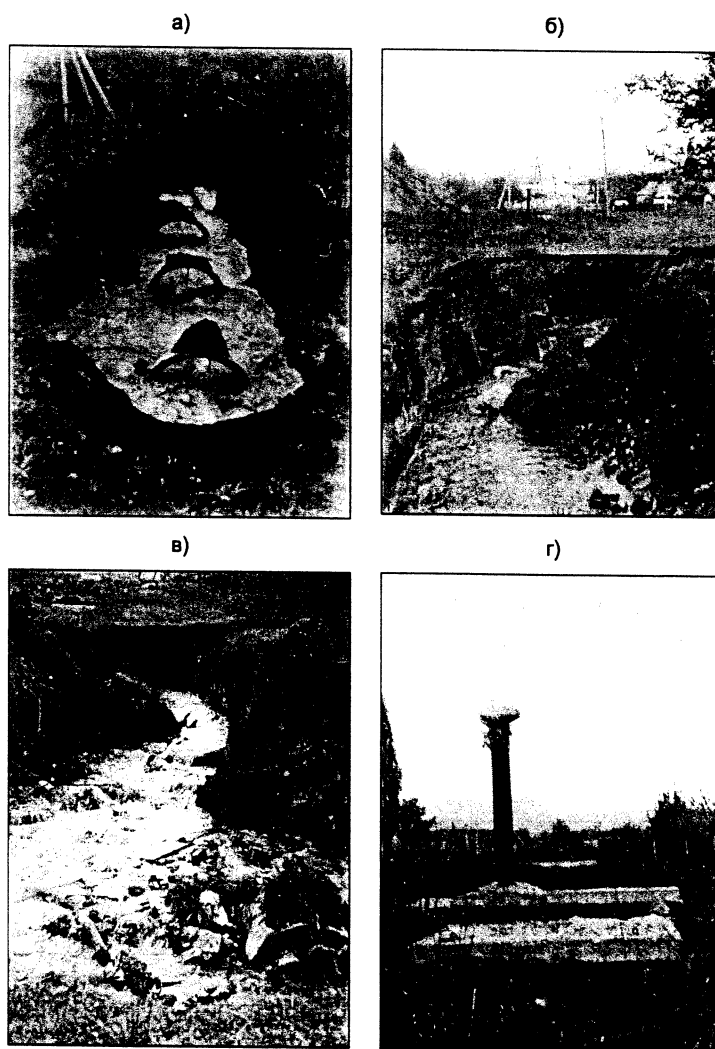


Рис. 1. Этапы разрушения канализационного коллектора (диаметр 1200 мм, срок службы 4 года)

а, б, в – экологические последствия биологического фактора коррозии; г – стояк для дегазации трубопровода

канализационной сети или отдельных ее участков способствует образованию агрессивной эксплуатационной среды, степень агрессивности которой определяет долговечность сооружения при воздействии биологического фактора.

Потенциальная аварийность канализационных трубопроводов вследствие биологического фактора зависит от состава транспортируемых сточных вод и наличия: напорных участков с анаэробными условиями или анаэробных зон в водном потоке; зон повышенной турбулентности водного потока (перепадные колодцы и камеры, быстротоки, повороты); подключения стоков с температурой воды выше или с pH ниже, чем в основном водном потоке; высокого содержания в воде органических веществ. Сочетание вышеперечисленных условий обуславливает неизбежность наступления предельного состояния трубопроводов в сроки от 4 до 10 лет.

Распад органических соединений, находящихся в сточных водах, происходит при аэробных процессах, сопровождающихся в основном выделением углекислого газа (CO_2), а при анаэробных процессах основным продуктом распада является сероводород (H_2S) и метан (CH_4). Так как в сточных водах содержание растворенного кислорода невелико, в атмосфере подсводного пространства преобладают углекислый газ, аммиак и продукты анаэробного разложения, наибольший процент из них приходится на сероводород – продукт восстановления серы и сернистых соединений при активном участии сульфатредуцирующих бактерий. Появление сероводорода в атмосфере подсводного пространства коллектора сопровождается образованием на его стенках колоний тионовых бактерий (аэробных микроорганизмов цикла серы), продуцирующих серную кислоту концентрацией до 5 %, разрушающую стенки труб (рис. 2).

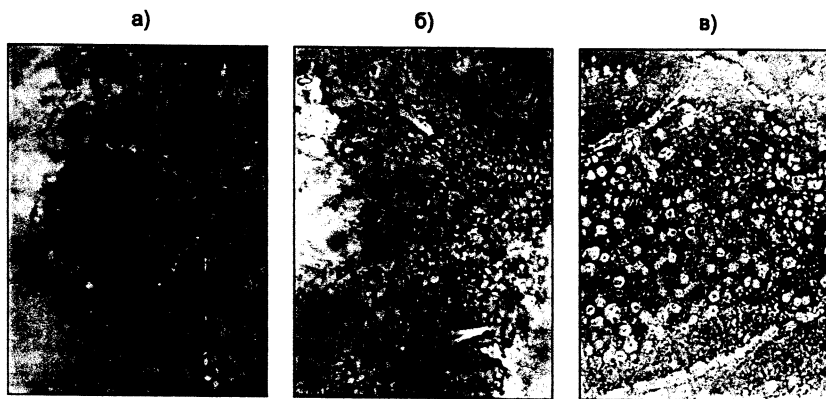


Рис. 2. Микроорганизмы в поре бетона (а), тионовые бактерии на поверхности бетона (б, в)

Таким образом, биологический фактор в процессе коррозии канализационных трубопроводов состоит из трех связанных между собой этапов, ведущая роль в двух из них принадлежит микроорганизмам:

образование и накопление в водной среде биогенных газов, состав и концентрация которых зависят от исходного содержания в воде органических и серосодержащих веществ и физических условий среды – окислительно-восстановительного потенциала, концентрации кислорода, температуры и времени;

выделение из воды газов, зависящее от наличия свободной поверхности, температуры, pH и турбулентности потока воды;

растворение газа в конденсатной влаге на поверхности материала и его биоокисление в результате взаимодействия кислых продуктов с поверхностью конструкций, зависящие от условий в месте контакта среды – влажности, температуры, окислительного потенциала, наличия кислорода и свойств материала.

Обобщенная характеристика процессов биологического фактора приведена в табл. 1 [3]. Термодинамические параметры основных реакций превращения серы бактериями представлены в табл. 2.

Анализ равновесий рассмотренных реакций применительно к условиям в системах канализации показывает, что сульфатредукция в сточной воде (первый этап) будет протекать на участ-

ках с высокой концентрацией SO_4^{2-} , низким парциальным давлением H_2S и тем активнее, чем выше значения pH и Eh; равновесие между сероводородом и серной кислотой (второй этап) даже при незначительном парциальном давлении кислорода достигается при высоких значениях концентрации серной кислоты в конденсатной влаге, реакция окисления сероводорода термодинамически необратима. Таким образом, из многообразия микроорганизмов и продуктов их выделения, наиболее опасными являются бактерии цикла серы (сульфатредукторы в анаэробных условиях и тионовые в аэробных) и продукт окисления сероводорода – серная кислота.

Авторами получены зависимости, удовлетворительно описывающие механизм биологического фактора на каждом из этапов и позволяющие прогнозировать долговечность трубопровода исходя из конкретных условий [3]: сульфатредукция

$$[\text{H}_2\text{S}] = 0,01427^{1,744} t^{(2,878T - 0,464)} \times (\text{SO}_4^{2-} / \text{ХПК})^{-0,72}; \quad (1)$$

содержание газообразного сероводорода в подсводном пространстве в месте его наиболее вероятного скопления

$$\text{H}_2\text{S} = 7T^{0,034} [\text{H}_2\text{S}]^{0,337 \cdot 0,357} + [\text{H}_2\text{S}] 5,8 \cdot 10^{-3} (\text{Re} \cdot 10^{-6})^{3,524}; \quad (2)$$

скорость разрушения бетона под действием H_2S и микроорганизмов

$$V_{\kappa.б} = 0,073\text{H}_2\text{S} + 0,136, \quad (3)$$

Таблица 1

Условия образования	Этап биологического фактора		
	первый – сульфатредукция	второй – дегазация	третий – микробная коррозия
Предпосылки возникновения	Условия для сульфатредукции: анаэробные ($E_h < 0$); наличие сульфатов или серосодержащих веществ в воде; наличие органических веществ	Наличие раздела водной и воздушной фаз	Наличие конденсатной влаги на поверхности конструкций, биопленки микроорганизмов и кислорода
Процесс	Сульфатредукция: восстановление сульфатов и серосодержащих веществ до сульфидов или сероводорода в сточной воде	Дегазация: выход молекулярного сероводорода в атмосферу сооружения из сточной воды	Растворение H_2S в конденсатной влаге и окисление в присутствии кислорода тионовыми бактериями до H_2SO_4 с последующим ее взаимодействием с материалом конструкций
Факторы, усиливающие процесс	Снижение E_h до значений 450 МВ; преобладание органических веществ над серосодержащими ($SO_4/XПК = 0,1-1$); постоянная температура воды в интервале 15–40 °С; малые скорости и турбулентность потока	Высокая турбулентность и бурное состояние потока; высокая температура (более 20 °С) и низкое значение рН воды (менее 7)	Высокая удельная концентрация микроорганизмов на поверхности бетона (тионовых бактерий 10^2-10^4 кл/г бетона)
Факторы, ингибирующие процесс	Аэробные условия в воде, низкое содержание органических веществ, низкая температура воды (менее 10 °С), высокое содержание нитратов, нитритов, хлора и прочих окислителей	Высокое значение рН (> 8) воды, спокойное состояние потока воды и малая его турбулентность	Сухая поверхность конструкций, низкая удельная концентрация микроорганизмов, пассивность материала к действию кислот
Место проявления	В застойных зонах сточной жидкости, иловых отложениях, напорных участках	При переходе потока воды из напорных в безнапорные участки; после преодоления участков, изменяющих величину и направление скорости потока; в местах подключения трубопроводов с низкими значениями рН или повышенной температурой воды	Надводная зона трубопровода и сооружений на нем

где $[H_2S]$ – концентрация сероводорода в воде, мг/л; T – температура воды, °С; t – время пребывания в анаэробных условиях, ч; SO_4^{2-} – концентрация сульфатов, мг/л; H_2S – концентрация сероводорода в газовой фазе над поверхностью воды, мг/м³; $V_{к.б}$ – скорость коррозии бетона, мм/год.

Выводы

Выявленные закономерности явились основанием для разра-

ботки и систематизации способов и мероприятий по повышению долговечности канализационных трубопроводов [1; 3; 5], которые прошли определенную апробацию, и должны быть реализованы в СНиП. Биологический фактор необходимо учитывать в нормативных документах, при проектировании и эксплуатации, что приведет к повышению долговечности и надежности канализационных сетей, уменьшению ущерба и оздоровлению окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрозд Г. Я., Зотов Н. И., Маслак В. Н. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация. – Донецк: ИЭП НАНУ, 2000.
2. ГОСТ 9.102–78. Воздействие биологических факторов на технические объекты. Термины и определения. – М.: ГЧ СССР по стандартам, 1980.
3. Дрозд Г. Я. Підвищення експлуатаційної довговічності та екологічної безпеки каналізаційних мереж: Автореф. дис... д-р техн. наук. – Макіївка, 1998.
4. Микробиологическая коррозия бетона и железобетона в сооружениях водоотведения и методы защиты / В. Н. Бабушкин, А. А. Пругин, Г. Я. Дрозд, В. А. Юрченко // Тез. докл. междунар. конф. «Долговечность и защита конструкций от коррозии»: – М., 1999.
5. Защита канализационных сетей от газовой коррозии: рекомендации по проектированию и эксплуатации. – Харьков: УкркоммунНИИпрогресс, 1998.

Таблица 2

Реакция	ΔG_{298}^0 , ккал/моль	Константы равновесия K_p	Уравнения равновесия реакций сульфатредукции и окисления сероводорода (этапы I и II)
$SO_4^{2-} + 8e + 10H^+_{Ag} = H_2S_{газ} + 4H_2O_{ж}$	–97,06	$6,8 \cdot 10^{41}$	$lg P_{H_2S} - lg [SO_4] + 10pH - 135,1Eh - 41,8 = 0$
$H_2S_{газ} + 2O_{2(газ)} = H_2SO_{4Ag}$	–196,26	$1,8 \cdot 10^{41}$	$lg [H_2SO_4] - lg P_{H_2S} - Lg P_{O_2} - 124,1 = 0$
Примечание. $[SO_4]$, $[H_2SO_4]$ – термодинамические концентрации соответствующих ингредиентов, ммоль/дм ³ ; P_{H_2S} ; P_{O_2} – парциальное давление соответствующих газов, атм; Eh – окислительно-восстановительный потенциал в данных условиях [4].			