

д.т.н. Дрозд Г. Я.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТЕПЕНИ АГРЕССИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СРЕДЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

*Наведено методику визначення якості експлуатаційного середовища каналізаційних колекторів, яка дає змогу оцінювати ступінь агресивності сірководневого середовища до бетону і приймати рішення з його захисту, а також характеризувати загазованість трубопроводів і прогнозувати їх довговічність ще на стадії проектування.*

**Ключові слова:** ступінь агресивності середовища, сірководень, каналізаційний колектор, бетон, корозія, прогнозування.

*Приведена методика определения качества эксплуатационной среды канализационных коллекторов, позволяющая оценивать степень агрессивности сероводородной среды к бетону и принимать решения по его защите, а также характеризовать загазованность трубопроводов и прогнозировать их долговечность еще на стадии проектирования.*

**Ключевые слова:** степень агрессивности среды, сероводород, канализационный коллектор, бетон, коррозия, прогнозирование.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Долговечность и безопасность канализационных коллекторов зависит от химического состава стоков и конструктивных особенностей сооружения. Эти два фактора или их сочетание определяют свойства эксплуатационной среды коллекторов.

В напорных коллекторах эксплуатационной средой является сточная жидкость, в самотечных – сточная жидкость и воздушно-газовая атмосфера подсводового пространства трубопроводов.

Сточные воды, несмотря на сложный химический состав (минеральные, органические вещества и сопутствующие им микроорганизмы) по своим коррозионным свойствам (жесткости воды, величине рН и содержанию сульфатов – основным показателям, ответственным за I, II и III коррозии) не являются агрессивными к материалу труб [1]. Поэтому напорные трубопроводы не подвержены коррозионному воздействию.

Наличие в самотечных коллекторах двух фаз – жидкости и воздушно-газовой среды предопределяет их потенциальную

аварийность, вызванную коррозионным разрушением труб и санитарно-экологическую опасность в виде канальных газов (сероводорода, углекислого газа, меркаптана, аммиака и пр.) [2]. Именно наличие последних в подсводовом пространстве трубопроводов и колодцах обуславливает разрушение участков канализационной сети, осложняет работу эксплуатирующего персонала и приводит к загрязнению атмосферы городов токсичными газами через неплотности люков, вытяжки и вентиляционные стояки.

Опыт эксплуатации канализационных сетей свидетельствует о прямой связи между загазованностью коллектора и его долговечностью. При высокой загазованности коллекторов срок их эксплуатации исчисляется годами, при отсутствии газов, эксплуатация осуществляется многие десятилетия.

Из “букета” канальных газов наибольшую коррозионную (см. табл. 1) и токсическую угрозу  $\left[ ПДК_{H_2S} = 0,08 \frac{мг}{м^3} \right]$  представляет сероводород [3-6].

Таблица 1 - Сопоставление агрессивности растворов серной кислоты и сероводородной газовой среды к бетону

Сернокислотная коррозия				Сероводородная коррозия	Степень агрессивности газовой фазы
Концентрация $H_2SO_4$	рН раствора	Скорость коррозии бетона		Концентрация $H_2S$ , мг/м <sup>3</sup> (газовая фаза)	
		мм/год	См, за 50 лет		
1Н*	0,16	40,0	200	500	Сильная
0,1Н	1	10,0	50	135	
0,01Н	2	2,5	12,5	35	
0,001Н	3	0,6	3,0	8	Средняя
0,0001Н	4	0,3	1,5	4	
0,00001Н	5	0,08	0,4	2	Слабая
0.00001Н	6	0,05	0,25	1	

**Примечание:** Н\* - нормальность раствора серной кислоты.

Сероводород – продукт жизнедеятельности анаэробных сульфатредуцирующих бактерий, развивающихся в бескислородных условиях коллекторов (напорные трубопроводы, иловые отложения лотковой части труб), накапливается в сточной жидкости в зависимости от рН в виде сульфидов и, собственно, сероводорода [2, 3, 6]. При разделе фаз в самотечном трубопроводе из воды в воздушное подсводовое пространство выделяется газообразный сероводород, где под действием тионовых бактерий окисляется в серную кислоту, разрушающую материал труб [5].

#### Анализ исследований и публикаций.

Для прогнозирования скорости образования сульфидов (S) в напорном трубопроводе в свое время была предложена зависимость [3]:

$$\frac{dS}{dt} = 0,057 \cdot 10^{-3} \cdot ХПК \cdot (1,07)^{T-20} \times D^{-1}(1 + 0,037 D) \quad (1)$$

Общее количество сульфидов в конечной точке напорного трубопровода ( $S_2$ ) предлагалось вычислять по эмпирической формуле:

$$S_2 = 0,01312 \cdot t \cdot БПК \cdot (1,07)^{T-20} \times (12D + 0,12) + S_1 \quad (2)$$

где  $T$  – температура сточной жидкости, °С;

$D$  – диаметр трубы, дюймы;

$S_1$  – количество сульфидов в начальной точке напорного трубопровода, мг/л;

$t$  – время пребывания стоков в напорном трубопроводе, час.

Эти зависимости справедливы в случае, если ХПК (химическое потребление кислорода) в 2-3 раза превышает БПК (биологическое потребление кислорода).

В самотечном коллекторе прогнозировать рост сульфидов гораздо труднее, так как находящаяся в нем сточная вода частично сообщается с атмосферой. R. Romero [7], считая что количество растворенного кислорода в воде находится в диапазоне <0,5мг/л, при котором могут образовываться сульфиды, предложил уравнение для самотечных трубопроводов:

$$\frac{dS}{dt} = 0,32 \cdot 10^{-3} \cdot БПК \cdot 1,07^{T-20} - 0,64(i \cdot v)^{3/8} \cdot (i)^{d_m^{-1}} \quad (3)$$

где  $v$  - скорость потока воды, м/с;

$d_m$  – гидравлическая глубина, м;

$i$  - уклон.

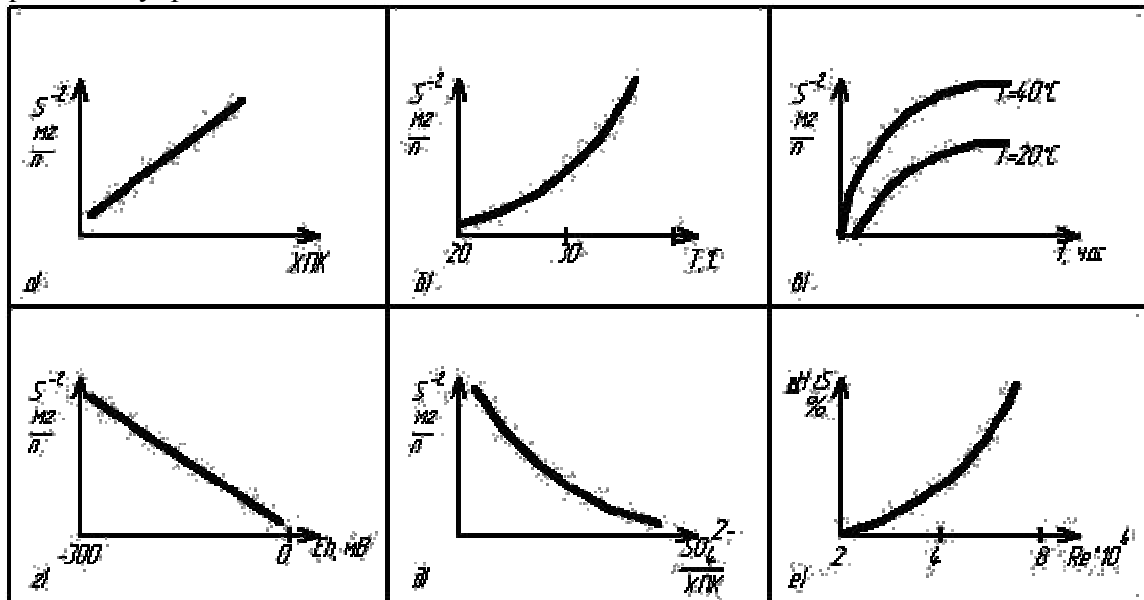
Эмпирические формулы (1 - 3) позволяют удовлетворительно оценивать содержание сульфидов в сточной воде. Однако в соответствии с ДСТУ [1] наличие в воде сульфидов и сероводорода не отражается на агрессивности сточной воды. Агрессивностью обладает газообразный сероводород (источник для окисления в серную кислоту), диффузия которого из воды должна подчиняться закону Генри [5]. Однако самотечные коллекторы являются открытой системой, где одновременное движение двух фазовых потоков – воды и воздушно-газовой смеси с различными мгновенными скоростями, особенно при наличии различных местных сопротивлений (перепады, повороты), делают сомнительным применимость данного закона.

**Постановка задачи.** В настоящее время проблематичность определения сульфидов в водном потоке и выделяющегося из него сероводорода выдвигают необходимость разработки упрощенной и более точной

методики оценки агрессивности и токсичности эксплуатационной среды коллекторов. Для этого необходимо учитывать максимальное количество факторов, влияющих как на биологическое образование сульфидов (рН, температура, количество сульфатов и органики, окислительно-восстановительный потенциал), так и гидравлические параметры потока - скорость и турбулентность, определяющие интенсивность его дегазации.

#### Изложение материала и его результаты.

Исходя из представлений о биологическом факторе формирования агрессивной среды в коллекторах, были проведены экспериментальные исследования образования сероводорода сульфатредуцирующими бактериями на среде Постгейта «В» [6] в зависимости от различных факторов анаэробной среды [8]. Полученные зависимости представлены на рис. 1 и явились основой для получения эмпирических формул (4 - 6), адаптированных к реальным условиям.



- а) зависимость образования сульфидов и сероводорода в жидкости от ХПК; б) зависимость образования сульфидов на среде Постгейта « В » сульфатредуцирующими бактериями от температуры (Т); в) зависимость биогенного образования сульфидов от температуры во времени; г) зависимость образования сульфидов от окислительно-восстановительного потенциала среды (Eh); д) зависимость биогенного образования сульфидов от соотношения  $SO_4^{2-}/XПК$ ; е) зависимость потерь сероводорода водой ( $\Delta H_2S$ ) от турбулентности потока (Re)

Рисунок 1 - Результаты микробиологических исследований

При натуральных исследованиях образования сероводорода в сточной воде в анаэробных условиях канализационных сетей описывается зависимостью (4) с достоверностью  $\gamma = 0,74$ :

$$[H_2S] = 0,0142 \cdot T^{1,744} \cdot t^{(2,878T^{-0,464})} \cdot \left( \frac{SO_4^{2-}}{ХПК} \right)^{-0,72}, \quad (4)$$

где  $[H_2S]$  - концентрация сероводорода в воде, мг/л;

$T$  - температура,  $^{\circ}C$ ;

$t$  - время пребывания в анаэробных условиях, час;

$SO_4^{2-}$  - концентрация сульфатов в воде, мг/л;

$ХПК$  - химическое потребление кислорода, мг $O_2$ /л.

Экспериментальные исследования стадии дегазации сероводорода из воды выполнены на действующих коллекторах. Концентрация сероводорода в атмосфере трубопроводов при условии постоянной турбулентности потока жидкости с достоверностью  $\gamma = 0,7$  может быть определена по эмпирической формуле (5):

$$H_2S_{нов} = 7 \cdot T^{0,034} [H_2S]^{(0,33T^{0,357})}, \quad (5)$$

где  $H_2S_{нов}$  - концентрация сероводорода в воздухе трубопровода, мг/м $^3$ ;

$T$  - температура,  $^{\circ}C$ ;

$[H_2S]$  - концентрация сероводорода в воде, мг/л.

При изменении турбулентности потока сточной жидкости по длине трубопровода ( $Re_2 > Re_1$ ) зависимость (5) с достоверностью  $\gamma = 0,79$  приобретает вид (6):

$$H_2S_{нов} = 7 \cdot T^{0,034} [H_2S] \times \left[ 1 + 0,0064 (Re \cdot 10^{-6})^{3,524} \right]^{0,33T^{0,357}}. \quad (6)$$

Рисунок 2 иллюстрирует связь между конструктивными особенностями коллектора (наличие перепадных колодцев), увеличением турбулентности потока (дополнительный выброс в подсводовое пространство газа) и коррозионным разрушением участков сооружения.

Средняя скорость коррозии бетона труб повышенной плотности под действием се-

роводородной среды ( $\gamma = 0,79$ ) может быть определена по формуле (7):

$$v_{к.б.} = 0,073 \cdot H_2S_{нов} + 0,136, \quad (7)$$

где  $v_{к.б.}$  - скорость коррозии бетона, мм/год;

$H_2S_{нов}$  - концентрация сероводорода в атмосфере трубопровода, мг/м $^3$ .

Для бетона нормальной плотности (более пористого, чем особо плотный бетон) скорость коррозии, определенная по вышеприведенной формуле увеличивается примерно на 30 %.

Многочисленные данные обследований аварийных коллекторов свидетельствуют, что наиболее вероятными местами разрушений трубопроводов являются:

- участки сооружения после анаэробных зон (после напорных трубопроводов, в местах изменения продольного уклона с меньшего на больший);

- после перепадных колодцев, резких изменений продольных уклонов, изменения направления трассы в плане, в местах подключения к коллектору трубопроводов с более высокой температурой или более низким значением рН воды, чем в основном потоке.

Потенциальная аварийность указанных участков объясняется приведенными выше рассуждениями о формировании агрессивной эксплуатационной среды.

Приведенная методика прогнозирования агрессивности среды открывает широкие практические возможности ее использования:

- на стадии проектирования сооружения прогнозная оценка степени агрессивности среды позволяет осуществлять антикоррозионные мероприятия в виде первичной или вторичной защиты трубопроводов на потенциально опасных участках;

- на этапе эксплуатации сооружения позволяет оценить степень его загазованности;

- при проектировании и эксплуатации коллектора при комплексном использовании данных о качестве газовой среды, параметрах труб и скорости коррозии дает возможность с достаточно высокой степенью вероятности оценить долговечность всего сооружения или отдельных его участков.

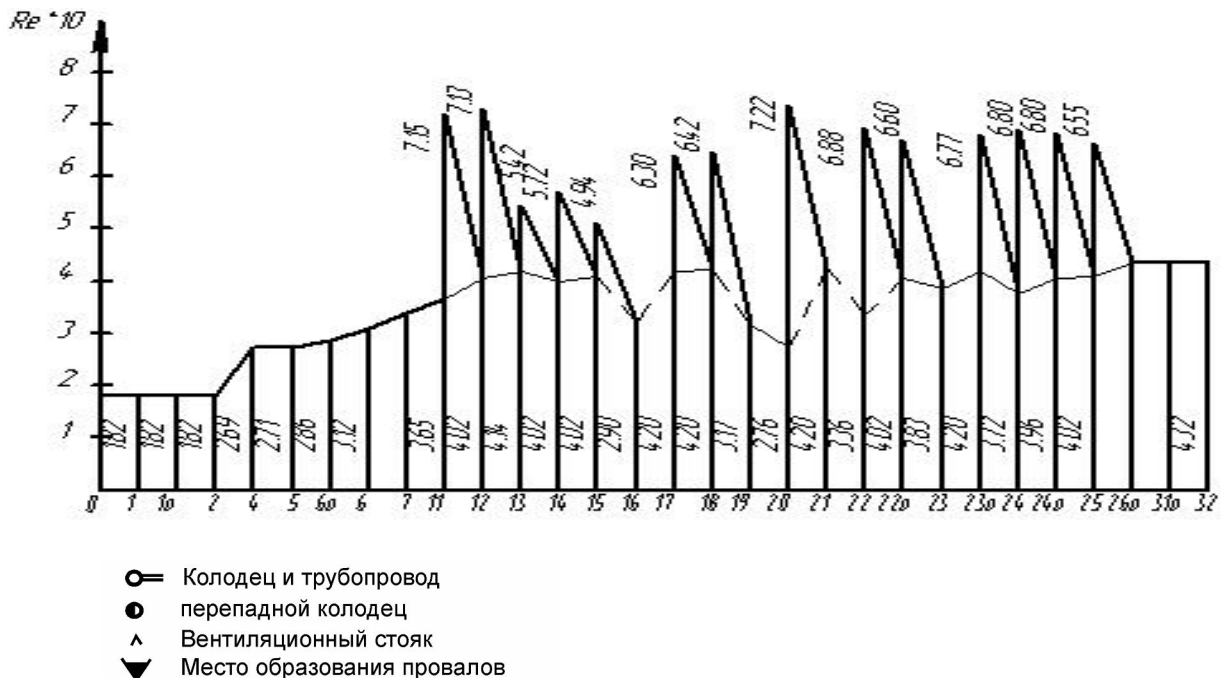
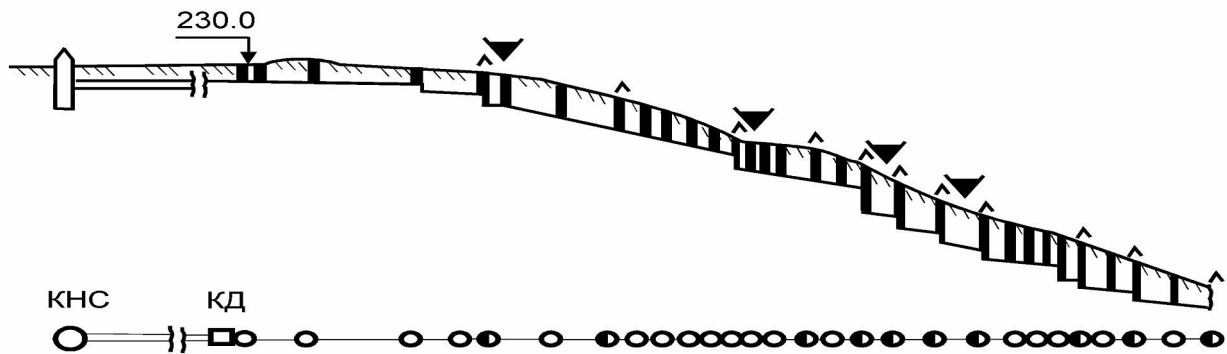


Рисунок 2 - Разрушение канализационного коллектора агрессивной эксплуатационной газовой средой, обусловленной конструктивными особенностями сооружения

### Выводы.

1. Впервые разработана и предложена методика прогнозирования качества эксплуатационной среды канализационных коллекторов, позволяющая с достаточно высокой достоверностью (70 – 80 %) оценивать степень агрессивности сероводородной среды к бетону и принимать реше-

ния по его антикоррозионной защите, характеризовать загазованность трубопроводов и прогнозировать их долговечность.

2. Методика, в виду отсутствия аналогов, может быть полезна для специалистов, работающих в области проектирования, строительства и эксплуатации канализационных сетей.

### **Библиографический список**

1. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. *Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384:2008, NEQ)*. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 52 с.
2. Дрозд Г.Я. *Коррозионное разрушение бетонных канализационных коллекторов* /Г.Я.Дрозд // *Водопостачання та водовідведення*, 2012. - №1. – С. 30-34.
3. Klose N. *Biogene Schwefelsaurekorrosion* / Norbert Klose // *Abwassertechnik*. – 1985. – Bd. 36. - №1. – S. 13-24.
4. *Biochemika koros betonu ve stokach: V konferencia "Ochrana stavebneto diela pred korosion"*. – Bratislava, 1986, S. 11-76.
5. Читаишвили Т. *Тионовые бактерии как фактор коррозии бетонных сооружений, омываемых сероводородными минерализованными водами* / Т. Читаишвили // Иванов Ф.М., Горшин С.Н.// *Биоповреждения в строительстве*. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 193-199.
6. *Микробная коррозия и ее возбудители: учеб. пособ.* / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова // *Наукова думка*. - Киев: б.и. , 1980. – 287 с.
7. Pomeroy R.D. *The forecasting of sulfide Buildup rates in sewers* / R.D. Pomeroy, I.D. Parkkurst // *Progr. wat. Techn.*, 1977. - №9. – S. 53-63.
8. *Приближенная оценка агрессивности сточных вод с точки зрения развития биогенной коррозии бетона самотечных канализационных коллекторов: сб. науч. тр.* / М – во высш. обр. України.- Киев: УМК ВО, 1992. – 263 с.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.**