

7.2 Сточные воды и их очистка

УДК 576.8:620.193.81

Юрченко В.А., к.б.н., ст.н.с., Коринько И.В., к.т.н., доцент,

Зеленский Б.К., к.т.н., доцент, Бригада Е.В.

УГНИИ УкрВОДГЕО, ГКП «Харьковкоммуночиствод»,

г. Харьков, Украина

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРРОЗИОННО-АГРЕССИВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СРЕД В СЕТЯХ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Отечественные нормативные документы, используемые при проектировании и строительстве канализационных сетей (СНиП 2.04.03-85, СнИП 2.03.11-85), не содержат положений, определяющих эксплуатационную надежность, долговечность и экологическую безопасность канализационных трубопроводов с учетом воздействия на них особо агрессивных условий, при которых скорость коррозии может превышать 10 мм/год. В этих нормативных документах отсутствуют данные о микробиологическом факторе коррозии, происходящей в сетях водоотведения, формировании и составе специфических для данных технических объектов эксплуатационных сред и методах защиты конструктивных материалов. Масштабы коррозионного разрушения канализационных коллекторов, их экономический (около 2% валового национального продукта) и экологический ущерб требуют решений проблемы, основанных на установлении природы коррозионных процессов, состава агрессивных сред, источников их образования и оперативных методов контроля.

Цель данной работы – идентификация состава и генезиса газообразных и жидких коррозионно-агрессивных воздействий на бетон канализационных коллекторов.

Эволюция научных гипотез о природе и механизме коррозионного разрушения бетона в канализационных коллекторах прошла несколько

этапов. В настоящее время большинством отечественных и зарубежных специалистов механизм коррозионного разрушения железобетона в трубопроводах водоотведения представляется как результат биогенной сернокислотной агрессии – воздействия серной кислоты, образуемой на своде тионовыми бактериями.

Для исследования микробиоценозов канализационных трубопроводов, и их лабораторных моделей использовали микробиологические и биохимические методы анализа, применяемые в почвенной и водной микробиологии (в классических и модифицированных вариантах). Химический состав водных сред определяли по методикам, рекомендуемым нормативными документами для анализа природных и сточных вод. Бетон исследовали по ГОСТ 5382-91, методикам физико-химического и структурного анализа, а также по методикам анализа почв и минералов.

Анализ данных комплексного (химического, микробиологического, материаловедческого и физико-химического) обследования участков канализационных коллекторов города Харькова и данных научно-технической литературы с использованием методов биогеохимии (исследования превращений и миграций, которые происходят с элементами) позволяют представить источники и процессы, приводящие к образованию в трубопроводах водоотведения коррозионно-агрессивных сред, а также их состав.

Самотечный канализационный коллектор можно рассматривать как техногенную экосистему, которая включает три фазы: жидкую (транспортируемые сточные воды), газообразную (атмосферу коллектора), твердую (бетон свода) и их микробиоценозы. Биогеохимические трансформации серо-, углерод- и азотсодержащих соединений, которые осуществляют микроорганизмы, приводят к миграции элементов из жидкой фазы в газообразную, затем в твердую и из нее (частично) – в исходную жидкую. Видовой состав микробиоценозов, направленность и

активность биохимических реакций зависят от состава сред обитания – жидкой и твердой, а также от состава газообразной фазы. Но и микроорганизмы, в свою очередь, воздействуют продуктами своей жизнедеятельности на все эти среды и кардинально их преобразовывают.

Для миграции биогенных элементов в экосистеме, формирования химического состава ее газообразной и твердой фаз, селекции микробиоценозов на своде и интенсивности микробиологической коррозии в этой фазе значимыми являются те микробиологические процессы в сточных водах, которые приводят к образованию газообразных продуктов.

Жидкая фаза экосистемы коллекторов включает две экологических ниши, в которых развиваются микроорганизмы:

- транспортируемые сточные воды, в которых видовой состав микробиоты колеблется в широких пределах;
- лоток, на поверхности которого иммобилизован микробиоценоз развивающийся в относительно стабильных условиях.

Жизнедеятельность бактерий именно второй экологической ниши обуславливает доминирующие микробиологические превращения компонентов сточных вод, происходящие в сетях.

В результате гетеротрофной микробиологической деструкции в анаэробных и микроаэрофильных условиях органических и неорганических серо-, углерод- и азотсодержащих загрязнений транспортируемых сточных вод (сульфатредукции, гниения, брожений, неполных окислений, денитрификации и др.) и образуется ряд газообразных коррозионно-агрессивных соединений – H_2S , диметилсульфиды (ДМС), CO_2 , NO_x , NH_3 и др. Их концентрации в атмосфере подсводного пространства, установленные в сетях водоотведения г. Харькова, и в сетях водоотведения других городов, представлены в табл. 1.

Газообразные продукты микробного метаболизма выделяются из сточных вод в атмосферу коллектора и частично растворяются либо

непосредственно в конденсатной влаге на своде сооружения, либо в аэрозолях атмосферы трубопровода, которые затем конденсируются на своде.

Концентрация этих газообразных соединений в атмосфере подсводового пространства, а, следовательно, и в выбросах из сетей в атмосферу прилегающих городских регионов, значительно превышает не только ПДК для населенных мест, но и ПДК для рабочей зоны. К тому же, в газовой смеси присутствует диоксид серы, усиливающий (синергический эффект) токсичное действие других газообразных соединений. Такая нагрузка на окружающую природную среду создает существенную проблему для экологической безопасности водоотведения.

Таблица 1

Химический состав газовых выбросов из канализационных сетей

Соединения	Единицы измерения концентрации	Концентрация в газовых выбросах	ПДК
H ₂ S	мг/м ³	0-100	10*
ДМС	мг/м ³	(1-4) 10 ⁻⁴	9 10 ^{-6**}
SO ₂	мг/м ³	5-30	20*
NH ₃	мг/м ³	0-5,0	20*
NO _x	мг/м ³	0-5	5*
CO	мг/м ³	0-25	20*
CO ₂	Объемные %	0,1-3,5	0,5*
CH ₄	Объемные %	0,2-6,0	2,0*

• * - ПДК в рабочей зоне, ** - ПДК населенных мест.

Газообразная фаза, формируемая продуктами жизнедеятельности микробиоценозов жидкой фазы, в отличие от сточных вод уже коррозионно опасна для бетона. На некоторых участках коллекторов по концентрации сероводорода и углекислого газа она классифицируется как слабоагрессивная и агрессивная.

Растворение газообразных серо-, углерод- и азотсодержащих соединений и продуктов их химического окисления в пленочной

конденсатной влаге на поверхности сводовой части коллектора, приводит к их взаимодействию с компонентами бетона. При этом происходит абиогенное подкисление пленочной конденсатной влаги. Ведущую роль в подкислении, по мнению некоторых авторов, играет CO_2 . По нашим данным в подсводной атмосфере концентрация CO_2 сравнима с концентрацией SO_2 . А образуемая при растворении диоксида серы сернистая кислота имеет константу диссоциации на два порядка выше константы диссоциации угольной кислоты, образуемой при растворении CO_2 . Поэтому, SO_2 играет, по крайней мере, не менее значимую, чем CO_2 роль в снижении pH пленочной конденсатной влаги на сводовой части канализационных трубопроводов.

Однако намного более масштабным и значимым для конструкций трубопроводов является другой результат растворения газообразных соединений подсводного пространства в конденсатной влаге на своде - инициация микробиологических процессов, в которых образуются кислые неорганические продукты. Кроме неорганических веществ автотрофные и гетеротрофные бактерии образуют на своде трубопровода и органические соединения (в более низких концентрациях): кислоты, эфиры, жироподобные вещества, углеводороды, ароматические соединения.

В результате этих процессов пленочная влага на поверхности бетона превращается в многокомпонентную чрезвычайно коррозионно-агрессивную смесь с низким значением pH, которая активно взаимодействует с компонентами бетона (главным образом, с цементными гидратами) (табл. 2). Ее можно рассматривать как еще одну жидкую эксплуатационную среду в канализационных трубопроводах. Воздействие продуктов метаболизма микробиоценоза, развивающегося на поверхности свода, на бетон включает несколько реакций, среди которых наиболее значимыми для долговечности и надежности конструкций трубопроводов являются следующие:

- нейтрализация гидроксидов, карбонатов и накопление в среде протонов, снижение pH бетона до значений менее 1;
- выщелачивание катионов из твердой фазы (главным образом кальция, магния, железа и алюминия) в виде растворимых соединений – нитратов, бикарбонатов, сульфатов, органических солей и комплексных соединений;
- образование химических соединений (минералов) с более низкими прочностными характеристиками, чем исходный бетон, и минералов, вызывающих при расширении механические повреждения бетона;
- кардинальная трансформация структуры бетона.

Таблица 2

Химические характеристики пленочной конденсатной влаги

pH бетона	pH пленочной конденсатной влаги	Солесодержание (расчетное по контролируемым ионам), г/дм ³	XПК, г/дм ³
12,3	12,8	1,7	0
8,6	7,0	13,6	0,1
4,2	2,8	37,8	0,9
1,5	0,5	67,9	1,5

Микробиологические и химические процессы, происходящие на своде трубопроводов, обуславливают коррозию бетона второго (по классификации Москвина) вида и в течение нескольких лет снижают его прочностные характеристики на некоторых участках за 10-15, а иногда и 5 лет эксплуатации, разрушают свод коллектора, вызывая аварийную ситуацию. В целом коррозионное разрушение бетона сводовой части канализационных сетей и сооружений на них обусловлено воздействием двух агрессивных эксплуатационных сред: газообразной, но главным образом, жидкой – пленочной конденсатной влаги, сформированных, в основном, продуктами микробного метаболизма.