



В. А. Юрченко, Е. В. Бригада

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ БЕТОНА В СЕТЯХ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Согласно статистическим данным, 75 % аварий на железобетонных трубопроводах водоотведения вызваны биогенной сернокислотной агрессией.

Недостаточный объем информации об особенностях жизнедеятельности автотрофных бактерий, отсутствие методов оперативного контроля их концентрации не позволили до настоящего времени разработать эффективные способы подавления хемосинтеза в этих объектах.

Целью данной работы являлось установление количественных показателей и математическое моделирование развития ассоциации тиобацилл на сводовой части канализационных трубопроводов и процесса биогенной коррозии бетона на этих объектах.

На основании комплексного исследования процессов, представленных в статье, установлены необходимые кинетические константы и разработаны математические модели развития ассоциации экстремально ацидофильных тиобацилл и процесса биогенной коррозии бетона.

В блок математической модели (БММ) «Аэробный хемосинтез тиобацилл (окисление восстановленных соединений серы до серной кислоты)» включено описание процесса диффузии субстрата (H_2S) из конденсатной влаги в биопленку и его потребление, а БММ «Микробиологическая сернокислотная коррозия бетона» включает математическое описание диффузии серной кислоты, образуемой тиобациллами, в бетон и ее взаимодействие с цементными гидратами.

Ключевые слова: канализационные трубопроводы, биогенная сернокислотная коррозия, математическое моделирование, биокинетические константы, коэффициент диффузии, диффузия биогенных кислот за фронт коррозии.

Наши авторы:

Юрченко В. А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Харьковского национального университета строительства и архитектуры, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40, тел. (057) 700-30-08, e-mail: yurchenko.valentina@gmail.com

Бригада Е. В., ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Харьковского национального университета строительства и архитектуры, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40, тел. (057) 700-30-08, e-mail: ebrigada@gmail.com

Сооружения канализации, как технические средства защиты окружающей среды от загрязнения жидкими отходами выполняют природоохранную функцию, обеспечивая экологическую безопасность водопользования, но как масштабные промышленные объекты, служат фактором техногенного экологического риска. Наиболее проблемным звеном стабильной эксплуатации канализационных сетей являются бетонные трубопроводы, длина которых составляет 25 % протяженности всей сети и бетонные сооружения на сетях. Частота аварий на них составляет 1,8-4,6, а на трубопроводах из керамики — 0,9, кирпича — 0,09 км/год [1-3].

Поскольку бетон и железобетон применяются как конструкционные материалы для крупномасштабных сооружений водоотведения — бассейновых, главных



коллекторов, то отказы в их работе, а тем более аварии, приносят не только значительный экономический ущерб и нарушения в функционировании предприятий и народного хозяйства, но и интенсивное загрязнение всех сред биосферы с долгосрочными экологическими последствиями и угрозой безопасной жизнедеятельности населения. Согласно статистическим данным, 75 % аварий на железобетонных трубопроводах водоотведения (снижающих их долговечность с планируемых 50-10-15 лет) вызваны биогенной сернокислотной агрессией — действием серной кислоты, которая образована тионовыми бактериями. В связи с тем, что более 60 % канализационных сетей Украины выработали свой нормативный срок, экологическую ситуацию на сооружениях водоотведения можно оценить как напряженную, а на отдельных участках опасную и даже кризисную [1, 2].

Генезис кислотообразования на своде обусловлен процессами, происходящими в лотковой части канализационных трубопроводов. Сероводород и другие газообразные соединения биогенных элементов, образовавшиеся в сточных водах, элюируют в подсводовое пространство и растворяются в конденсатной влаге на своде. Взаимодействие этих соединений с компонентами бетона является причиной абиогенной коррозии конструктива. Намного более значимой для эксплуатационной долговечности бетонных трубопроводов является инициация этими соединениями развития на своде процессов аэробного хемосинтеза — жизнедеятельности автотрофных бактерий, использующих для конструктивного и энергетического обмена только неорганические соединения. Химический состав конденсатной влаги с низкой концентрацией органических веществ, высоким содержанием неорганических соединений серы, углерода и азота формирует специфический аэробный микробиоценоз, который окисляет неорганические соединения — оксид углерода, аммиак, нитриты — в неорганические кислоты — угольную, азотную, азотистую. Наиболее интенсивно происходит окисление серосодержащих соединений — сероводорода, меркаптанов и сульфидов в серную кислоту тиобациллами. Аэробный хемосинтез в сооружениях канализации по интенсивности и масштабам превращений биогенных элементов не имеет равных ни среди объектов техносферы, ни среди объектов в биосфере [1, 4-6].

Недостаточный объем информации об особенностях жизнедеятельности автотрофных бактерий в сооружениях канализации, отсутствие методов оперативного контроля их концентрации не позволили до настоящего времени разработать эффективные способы подавления хемосинтеза в этих объектах. Следствием этого является активное коррозионное разрушение сотен километров бетонных и железобетонных трубопроводов водоотведения.

Целью данной работы являлось установление количественных показателей и математическое моделирование развития ассоциации тиобацилл на сводовой части канализационных трубопроводов и процесса биогенной коррозии бетона в этих объектах.

Коррозию бетона и процессы, которые ее инициируют в канализационных трубопроводах, исследовали на сетях водоотведения г. Харькова, а также при моделировании этих объектов в лабораторных условиях. Для исследования микробиоценоза



развивающихся в сетях водоотведения, использовали микробиологические, физиологические, химические и биохимические методы, ингибиторный анализ [7, 8]. Бетон исследовали по стандартным методикам и с использованием специальных методов физико-химического, фазового и структурного анализа [9]. Для обсуждения полученных данных, выявления управляющих воздействий и построения математических моделей использовали методы биокинетики и биогеохимии, методы статистической обработки данных, программы *Excel*, *MathCad*.

Обследованные участки канализационных сетей рассматривали как техногенную экосистему, которая включает 3 фазы: жидкую — транспортируемые сточные воды; газообразную — атмосферу подсводового пространства; твердую — бетон сводовой части трубопровода. Коррозионное разрушение бетона сводовой части канализационных коллекторов было обусловлено развитием и метаболизмом экстремально кислотолюбивых штаммов *Thiobacillus thiooxidans*, образующих серную кислоту, которая при взаимодействии с компонентами бетона вызывает коррозию II вида по классификации Москвина. В экосистеме канализационных коллекторов микробиологическая коррозия являлась терминальным участком миграции биогенных элементов (наиболее интенсивной для серы) из жидкой фазы через газообразную на твердую, которая инициируется микробиологическими трансформациями загрязнений сточных вод [10].

Математическая модель биохимических, химических и физических процессов, приводящих к коррозии бетона в канализационных коллекторах, основывается на рассмотрении уравнений, описывающих физические, химические, биохимические процессы, перенос субстратов и продуктов реакции.

Блок математической модели «Аэробный хемосинтез тиобацилл (окисление восстановленных соединений серы до серной кислоты)» включает математическое описание процесса диффузии субстрата (H_2S) из конденсатной влаги в биопленку и его потребление по кинетике нулевого и первого порядка ассоциацией тиобацилл, иммобилизованных на поверхности бетона. Входные данные: кинетический и стехиометрические константы развития ассоциации тиобацилл, толщина биопленки, объем конденсатной влаги и ее физико-химические характеристики (pH , ХПК, концентрация питательного субстрата H_2S и кислорода), перенос субстрата в биопленку. Выходные данные: количество образуемой тиобациллами H_2SO_4 .

Блок математической модели «Микробиологическая сернокислотная коррозия бетона» включает математическое описание диффузии серной кислоты, образуемой тиобациллами, в бетон и ее взаимодействие с цементными гидратами. Входные данные: концентрация тиобацилл (серной кислоты) на поверхности бетона, коэффициент диффузии серной кислоты в корродирующем бетоне, время воздействия, расстояние диффузии серной кислоты в неповрежденном бетоне. Выходные данные: глубина микробиологической коррозии бетона.

Кинетику аэробного хемосинтеза тиобацилл, который приводит к окислению H_2S до H_2SO_4 , можно достаточно адекватно описать с помощью системы уравнений Моно. Кинетические и стехиометрические константы аэробного хемосинтеза тиобацилл установили в экспериментальных исследованиях и рассчитали с помощью методов линеаризации, используемых в биокинетики [11] (табл. 1).



Таблица 1.

Значение стехиометрических, кинетических и физиологических констант развития ассоциации экстремально ацидофильных тиобацилл

Константа	Значение
$Y_{S m.}$, г/г	0,13-0,18
$K_{S m.}$, мг/дм ³	8
$\mu_{max m.}$, сут ⁻¹	1,5
Константы ингибирования процесса протонами K_{IH1}, K_{IH2} K_{IL1}, K_{IL2}	1,8 3,4 при pH > 1,1 0,65 0 при pH < 1,1
$K'_{ХПК}$, мг/дм ³	50-70
K_{Omp} , мг/дм ³	0,4-1,0

Образование серной кислоты в конденсатной влаге на своде биопленкой тиобацилл (при допущении стационарной концентрации биомассы в условиях усреднения значений параметров за срок \geq года) по кинетике первого порядка ферментативного окисления серосодержащих соединений, наиболее вероятной в условиях канализационного коллектора, описывается выражением:

$$\frac{\partial C_S^{na}}{\partial t} = D_S \frac{\partial^2 C_S^{na}}{\partial h_{ck}^2} - \frac{\mu_{max m.}}{Y_{S m.}} \frac{C_S^{na}}{K_{S m.}} X_{nl. m.} = 0 \quad (1)$$

где C_S^{na} — концентрация сульфидов в биопленке, г/м³;

h_{ck} — координата по толщине биопленки, м;

D_S — коэффициент диффузии серосодержащих соединений в биопленке, ($0,8 D_S^{молекул}$), м²/сут;

$\mu_{max m.}$ — удельная скорость роста тиобацилл, сут⁻¹;

$Y_{S m.}$ — экономический коэффициент тиобацилл, г/г;

$X_{nl. m.}$ — приведенная объемная концентрация тиобацилл биопленки, г/м³:

$$X_{nl. m.} = \alpha_{ce} B_{ce} \rho_{nl. m.}, \quad (2)$$

где α_{ce} — коэффициент удельной поверхности биопленки в конденсатной влаге на своде, м²/м³;

B_{ce} — толщина биопленки на своде, м;

$\rho_{nl. m.}$ — концентрация тиобацилл в 1 м³ биопленки (64000), г/м³.

Решения уравнения (1) в безразмерных переменных, нормированных по C_S^0 — концентрации серы серосодержащих соединений на границе раздела конденсатная влага-биопленка (г/м³), и B_{ce} , для стационарного процесса при граничных условиях

$$\xi = \frac{h}{B} = 0, \quad \tilde{C} = 1; \quad \xi = 1, \quad \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \xi} = 0, \quad \text{где } \tilde{C} = \frac{C_S}{C_S^0}, \quad \text{а } z = \sqrt{\frac{\mu_{max m.} B_{ce}^2 X}{Y_{S m.} D_S K}}, \quad (3)$$



известно и определяется зависимостью:

$$\tilde{C}(\xi) = ch(z\xi) - th(z) \times sh(z\xi). \quad (3)$$

Концентрация серной кислоты ($C_{H_2SO_4}^{к.в.}$, г/м³), образованной тиобациллами на поверхности бетона, может быть определена из зависимости:

$$C_{H_2SO_4}^{к.в.} = c_m \cdot k_1 C_S^0 \cdot \left(1 - \int_0^1 C(\xi) d\xi \right), \quad (4)$$

где c_m — коэффициент, который учитывает экспериментально установленное соотношение S-H₂S/S-H₂SO₄ при окислении серы серосодержащих соединений тиобациллами (0,8);

k_1 — стехиометрический коэффициент, который отражает соотношение молекулярных масс $M_{H_2SO_4}/M_S$ 98/32 (3,06);

$1 - \int_0^1 C(\xi) d\xi$ — часть серы серосодержащих соединений, преобразованной в биопленке, определяется по экспериментальным данным.

В зависимость (4) вводятся поправочные коэффициенты, которые отражают влияние концентрации O₂, pH и ингибирующее влияние органических соединений на образование H₂SO₄ ($K_O, K_{IL1}, K_{IL2}, K_{IH1}, K_{IH2}, K_{XPK}$), значения которых установили экспериментально (табл. 1).

$$C_{H_2SO_4}^{к.в.} = c_m \cdot k_1 C_S^0 \cdot \left(1 - \int_0^1 C(\xi) d\xi \right) \cdot \left(\frac{XPK}{K_{XPKm} + XPK} \right) \cdot \left(\frac{C_O}{K_O + C_O} \right) \cdot \frac{1}{1 - (x_1/x_2)^{\ln(99)/\ln(x_3/x_2)}} \quad (5)$$

где K_{IXCKm} — константа ингибирования аэробного хемосинтезу тиобацилл органическими соединениями, г/м³;

XPK — концентрация органических соединений в среде, г/м³;

K_O — константа полунасыщения аэробного хемосинтеза тиобацилл кислородом, г/м³;

C_O — концентрация растворенного кислорода в среде, г/м³;

x_1, x_2, x_3 — аргументы зависимости развития тиобацилл от pH — a_{pHm} :

$$a_{pHm} = \begin{cases} F(1,1 - pH, 1,1 - K_{IL1}, 1,1 - K_{IL2}), & \text{при } pH < 1,1, \\ F(pH - 1,1, K_{IH1} - 1,1, K_{IH2} - 1,1), & \text{при } pH > 1,1, \end{cases}$$

Для описания коррозионного разрушения бетона в сетях водоотведения была предложена формула (корреспондирующая с предложенной НИИЖБ [12]), которая учитывает воздействие на бетон комплекса кислот [10].

$$h_K = 1,1 \sqrt{2D \frac{C_1^0}{C_1^*} t + \delta^2} - \delta \quad (6)$$

где D — эффективный коэффициент диффузии, см²/ч;

C_1^0 — концентрация действующей H₂SO₄, кг/м³;

C_1^* — концентрация H₂SO₄ на фронте коррозии, кг/м³;



δ — расстояния диффузии агрессивной серной кислоты вглубь неповрежденного бетона за фронт коррозии;

t — продолжительность кислотной агрессии, ч.

Согласно [10]:

$$C_1^* = \frac{m \cdot M_{H_2SO_4}}{n \cdot M_{CaO}} \cdot \frac{K}{\left(\frac{1}{\rho_{II}} + \frac{v}{u} \frac{1}{\rho_B} \right)}, \quad (7)$$

где K — относительное содержание CaO в портландцементе, 0,63;

Согласно [10] для бетона обычной плотности (W4):

$$\sqrt{2 \frac{1}{K} \left(\frac{1}{\rho_{II}} + \frac{v}{u} \frac{1}{\rho_B} \right)} = 5,41 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кг},$$

В результате подстановки в (6) получим окончательную расчетную формулу:

$$h_K = \sqrt{29,27 \times 10^{-4} \cdot 0,57 \cdot \tilde{D}_K C_1^0 t_a + \delta^2} - \delta. \quad (8)$$

В [10] D — эффективный коэффициент диффузии (установленный для минеральной серной кислоты) принимали постоянным по толщине бетона, хотя, на самом деле, измененная структура бетона обладает иными диффузионными особенностями, по сравнению с нормальной. Анализ литературных данных показывает, что при математическом моделировании процесса коррозии бетона с использованием уравнений диффузии, кроме граничных условий, для правильной постановки задачи следует установить реальные значения коэффициента диффузии. В некоторых случаях допущения о постоянстве коэффициента диффузии может привести к значительной недооценке ресурса бетонного слоя, например при увеличении сопротивления диффузии кислоты из-за отложений продуктов коррозии в поверхностных слоях бетона [13].

Определение коэффициента диффузии протонов проводили при послойном исследовании образцов бетона (балочек 4x4x16 см) обычной плотности W4 после экспозиции в канализационном коллекторе. В слоях бетона определяли pH электрометрическим методом [9].

Коэффициент диффузии протонов вычисляли по формуле [14, 15]:

$$z = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}, \quad (9)$$

где z — интеграл ошибок (гауссовский интеграл);

x — глубина диффузии, мм;

D — коэффициент диффузии, см²/ч;

t — время диффузии, ч.

Определение интеграла ошибок выполняли по формуле:



$$c = \frac{c_0}{2}(1 - \operatorname{erf} z) \quad (10)$$

где c_0 — концентрация протонов на поверхности слоя i , г-экв/дм³;

c_x — концентрация протонов (г-экв/дм³) на поверхности слоя $(i+1)$ на глубине x .

Концентрацию протонов устанавливали по значениям pH бетона на поверхности соответствующего слоя ($c_0 = 10^{-pH_i}$ слоя i , $c_x = 10^{-pH_{(i+1)}}$ слоя $(i+1)$ на глубине x). По экспериментальным данным устанавливали соотношение c/c_0 , затем по формуле (4) — гауссовский интеграл $\operatorname{erf} z$, после чего по таблице, приведенной в [14], определяли z .

На основании полученных результатов была построена зависимость между значением коэффициента диффузии H^+ в бетоне при биогенной кислотной агрессии и продолжительностью экспозиции образцов (рис. 1).

Как видно, зависимость коэффициента диффузии от глубины коррозионного поражения бетона имеет 4 основные области: 1 — в относительно здоровом бетоне (pH бетона 12-9), 2 — при неглубоком коррозионном поражении (pH бетона 9-6), 3 — при интенсивном коррозионном поражении (pH бетона 6-4) и 4 — при глубоком и экстремально глубоком коррозионном поражении бетона (pH 4-0,5). В первой области (относительно здоровом бетоне) со снижением pH бетона коэффициент диффузии уменьшается, однако, его значения существенно выше, чем во второй области, в которой этот показатель сохраняет постоянные значения. В третьей области со снижением pH отмечается возрастание коэффициента диффузии до значений, близких к значениям этого показателя в первой области (здоровом бетоне). В четвертой области зависимость коэффициента диффузии от снижения pH описывается экспоненциальной зависимостью.

Коэффициент диффузии протонов биогенных кислот, образуемых микробной ассоциацией на сводовой части канализационных коллекторов, вглубь неповрежденного бетона ($c\ pH \geq 11,0$), составляет $0,049\ \text{см}^2/\text{ч}$, что несколько превышает коэффициент диффузии минеральной серной кислоты — $0,041\ \text{см}^2/\text{ч}$.

Фронт коррозии расположен на участке, где концентрация агрессивной серной кислоты равна концентрации гидроксида кальция, т.е. $pH = 7$. За фронтом коррозии также происходят структурные изменения в бетоне. Глубину диффузии биогенных кислот за фронт коррозии (d) определяли по данным экспериментальных послыных исследований (измерении расстояния вглубь бетона от пласта $c\ pH = 7,0$

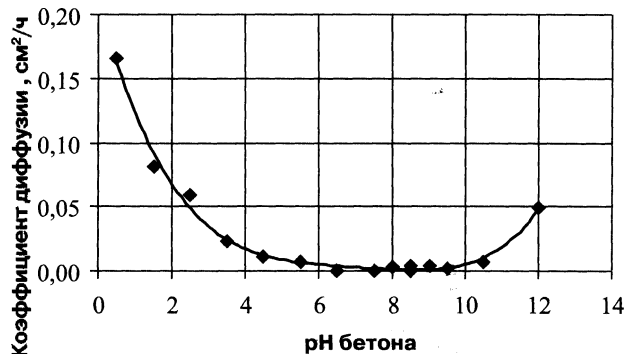


Рис. 1. Влияние глубины поражения бетона (pH) на значение коэффициента диффузии протонов при биогенной агрессии



до пласта с $pH = 11,5$) прородированных образцов бетона после экспозиции в канализационном коллекторе. Исследовали зависимость значения δ от: агрессивности среды (pH на поверхности), термина эксплуатации и комплексного воздействия этих двух эксплуатационных факторов (рис. 2; 3).



Рис. 2. Влияние массы серной кислоты, воздействующей на бетон на глубину диффузии биогенных кислот за фронт коррозии



Рис. 3. Влияние кислотности среды на поверхности бетона на глубину диффузии биогенных кислот

Суммарное влияние агрессивности среды и термина эксплуатации d количественно рассчитывали с помощью определения массы H_2SO_4 ($m_{H_2SO_4}$, Моль), которая подействовала на поверхность бетона на протяжении определенного времени. Ее высчитывали, исходя из формулы потока H_2SO_4 (пропорционального потоку H_2S) на своде коллектора [10]:

$$q_{H_2S} = C_{H_2SO_4}^{к.в.} \cdot V_{к.в.} \cdot \frac{q_{H_2O}}{V_{к.в.} \cdot C_m} = \frac{C_{H_2SO_4}^{к.в.} \cdot q_{H_2O}}{C_m}, \quad (11)$$

где $C_{H_2SO_4}^{к.в.}$ — концентрация H_2SO_4 в пленочной конденсатной влаге, Моль/м³;

$V_{к.в.}$ — объем пленочной конденсатной влаги на своде участка длиной 1, м³;

q_{H_2O} — поток воды на свод на участке длиной 1, м³/ч, (0,001);

C_m — соотношение $S-H_2S/S-H_2SO_4$ при окислении H_2S , 0,8.

Масса H_2SO_4 ($m_{H_2SO_4}^T$, Моль), которая воздействовала на бетон в течение определенного времени, составляет:

$$m_{H_2SO_4}^T = \frac{C_{H_2SO_4}^{к.в.} \cdot q_{H_2O}}{C_m} \cdot t_a \quad (12)$$

Зависимость величины d от массы серной кислоты, воздействующей на бетон, свидетельствует о том, что при экстремально низких значениях pH (меньше 3,0) и большой продолжительности эксплуатации (≥ 40 лет) значения d повышаются по экспоненциальной зависимости, а при значениях pH больше 3,0 и уменьшении продолжительности эксплуатации (≤ 40 лет) значения d практически не изменяются и составляет около 10 мм (что коррелируется с данными [12]).



Анализ экспериментальных данных показал, что диапазон изменения времени агрессивного влияния серной кислоты составляет 2 порядка, а диапазон изменения концентрации серной кислоты в конденсатной влаге — 10 порядков. Поэтому именно последний фактор оказывает более значимое воздействие на величину δ .

Зависимость δ от pH на поверхности бетона (агрессивности среды) (рис. 3) свидетельствует, что при pH от 9 до 4 δ не превышает 10 мм, а при pH от 4 до 3 — возрастает до 15-20 мм. При дальнейшем снижении pH на поверхности δ возрастает по экспоненциальной зависимости, что необходимо учитывать при прогнозных расчетах глубины коррозии бетонных конструкций в канализационных сетях (больше 40 лет).

Выводы

Разработана математическая модель развития ассоциации экстремально кислотолюбивых тиобацилл на сводовой части канализационных коллекторов и установлены стехиометрические, кинетические и физиологические константы процесса.

Разработана математическая модель коррозии бетона сводовой части канализационных коллекторов и установлены его кинетические коэффициенты в сетях водоотведения, необходимые для прогнозного расчета эксплуатационной надежности этих сооружений.

Список использованной литературы

1. Дрозд Г. Я., Зотов Н. И., Маслак В. Н. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация. — Донецк: ИЭП НАН Украины, 2003. — 260 с.
2. Гончаренко Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: Монография. — Харьков: Консум, 2008. — 400 с.
3. Розенталь Н. К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // Бетон и железобетон. Оборудование, материалы, технология. 2011. № 1. С.96-103.
4. Stein D. Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers/ Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ruhr-University Bochum (RUB), Faculty of Civil Engineering. — Germany. — 2001. — 804 p.
5. Basista M. Weglewski W. Micromechanical modelling of sulphate corrosion in concrete: influence of ettringite forming reaction. M.,: Belgrade, Theoret. Appl. Mech., 2008. — Vol. 35. — № 1-3. — P. 29-52.
6. Васильев В. М., Панкова Г. А., Столбихин Ю. В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии // Водоснабжение и санитарная техника. — 2013. — № 9. — С.67-76.
7. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. — М.: Изд-во МГУ, 1989. — 224 с.
8. Каравайко Г. И. Методы выделения, учета и изучения микроорганизмов / Биотехнология металлов. — М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. — С. 51-93.
9. Попов Л. Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. — М.: Высшая школа, 1984. — 116 с.
10. Юрченко В. А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических со-



единений: дисс... доктора техн. наук: 05.23.04 / Юрченко Валентина Александровна. — УГНИИ «УкрВОДГЕО». — Харьков, 2007. — 426 с.

11. Березин И. В. Основы физической химии ферментативного катализа. — М.: Высшая школа, 1977. — 280 с.
12. Рекомендации по оценке степени коррозионного воздействия слабоагрессивных кислых сред на бетон. — М.: НИИЖБ, 1986. — 14 с.
13. Бригада О. В. Моніторинг показників експлуатації водовідвідних споруд з залізобетону: автореф...дис...кандидата наук: 05.23.04 /Харківський нац.ун-т будівництва та архітектури. — Харків, 2013. — 24 с.
14. Долговечность железобетона в агрессивных средах: Совм. изд. СССР-ЧССР: ФРГ / С. Н.Алексеев, Ф. М.Иванов, С. Модры, П. Шиссль. — М.: Стройиздат, 1990. — 320 с.
15. Герцрикен С. Д., Дехтяр И. Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. — М.: Гос. изд-во физ-мат. литературы, 1960. — 564 с.

Jurchenko V. A., Brigada E. V.

THE KINETIC CHARACTERISTICS OF CONCRETE MICROBIOLOGICAL CORROSION IN THE SEWAGE NETWORKS

According to statistics 75 % of accidents at ferroconcrete water disposal pipelines are caused by biogenic sulfuric corrosion. Till nowadays insufficient information about features of autotrophic bacteria life activity, absence of methods of their operative concentration control have not allowed developing effective ways of suppression of chemosynthesis in these object. The aim of this work is identification of quantitative indexes and mathematical modeling of thiobacilli association development on sewage pipeline upstructure part and process of concrete biogenic corrosion at these objects. On the basis of complex process study presented in the article necessary kinetic constants are defined; mathematical models of extremely acidophilic thiobacilli association development and process of concrete biogenic corrosion are developed. Mathematical model unit «Aerobic chemosynthesis of thiobacilli (oxidation of reducible sulfur compounds to sulfuric acid)» includes substrate diffusion process (H₂S) from condensate moisture in biofilm and its consumption, whereas mathematical model unit «Microbiological sulfuric acid corrosion of concrete» includes mathematical description of diffusion of sulphuric acid formed by thiobacilli in concrete and its interaction with concrete hydrates.

Key words: sewage pipelines, biogenic sulfuric acid corrosion, mathematic modeling, kinetic constants, diffusion coefficient, biogenic acids diffusion behind corrosion.

Authors:

Jurchenko V. A., doctor of engineering, professor, head of the chair of life safety and environmental engineering, Kharkiv national University of construction and architecture, 40 Sumskaja street, 61002, Kharkov, Ukraine, tel.: (057) 700-30-08, e-mail: yurchenko.valentina@gmail.com

Brigada E. V., assistant of the chair of life safety and environmental engineering, Kharkiv national University of construction and architecture, 40 Sumskaja street, 61002, Kharkov, Ukraine, tel.: (057) 700-30-08, e-mail: ebrigada@gmail.com

References:

1. Drozd G. Ja., Zotov N. I., Maslak V. N. Kanalizacionnye truboprovody: nadezhnost', diagnostika, sanacija [Sewage pipelines: reliability, diagnostics, sanitation], Donetsk, Institute of industrial economics of NAS of Ukraine, 2003, p. 260 (in Russian).