

Measures of complex thermal modernization of enclosing structures are substantiated by the method of expert assessments according to technical-energy, financial and ecological criteria. Calculations confirm that the complex thermal modernization will reduce the value of specific energy consumption and specific greenhouse gas emissions by 1.5 times, specific heat consumption - by 1.9 times, increase the energy efficiency class of the building from G to D.

It is shown that the normative values of heat transfer resistances of external enclosing structures will provide only the class D energy efficiency of the building. It is not possible to achieve the recommended class "C" and higher by further increasing the thermal resistance of the enclosing structures - it is necessary to modernize the engineering systems of the building.

thermal modernization, enclosing constructions, thermophysical indicators, energy efficiency of the building

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 620.193, 628.312, 622.276.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.109-118](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.109-118)

В.М. Сероглазов, асп.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна
e-mail: wladimir.sr.m@gmail.com*

Корозія бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві нафтовидобувного підприємства

Наявність сірководню в водних експлуатаційних середовищах вказує на дуже високу вірогідність розвитку в надводній зволоженій частині споруди біогенної сірчаноокислої агресії – впливу сірчаної кислоти, що утворюють тіонові бактерії. Привабливим середовищем для накопичення сірководню шляхом мікробіологічної сульфатредукції є пластові води на об'єктах нафтовидобутку, особливо на ділянках водного господарства, де відбувається тривале відстоювання. З діяльністю сульфатредуючих бактерій пов'язано близько 80% втрат від корозії нафтопромислового обладнання. Мета роботи – ідентифікація виду й кінетичних показників корозії бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві підприємства з видобутку нафти. В експериментальних дослідженнях вивчали зразки бетону, які відібрали з верхньої надводної частини нафтопасток на досліджуваному об'єкті нафтовидобутку, розташованому в Дніпровсько-Донецькій западині. Результати хімічного дослідження зразків бетону (зменшення рН, накопичення сполук сульфуру та вилучування сполук кальцію) свідчили про те, що бетон уражений біогенною сірчаноокислою агресією. На підставі даних, визначених за допомогою корозиметра бетону, розраховані швидкість мікробіологічної корозії бетону – до 0,08 мм/рік, й глибина дифузії біогенних кислот – до 1,9 мм. Розрахована середньорічна концентрація сірководню в атмосфері, що впливає на бетон становила 3,4 – 5,4 мг/м³, що перевищує ГДК робочої зони в нафто-газовій галузі.

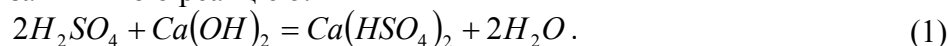
об'єкти нафтовидобутку, водне господарство, бетон, сірководень, біогенна сірчаноокисла агресія, швидкість корозії

Постановка проблеми. Біогенна сірчаноокисла корозія бетону є постійним ризиком для споруд водного господарства, в яких в експлуатаційних середовищах присутній сірководень і його похідні. Ці сполуки утворюються в спорудах, де формуються глибоко анаеробні умови (гравітаційний поділ, трубопроводи з ламінарною течією води), а вода містить органічні сполуки та сульфати [1-7]. Найбільш

агресивним біогенним середовищем, яке впливає на надводні частини споруд водовідведення, є плівкова конденсатна волога. Її корозійну агресивність формує життєдіяльність тіонових бактерій (аеробний хемосинтез) шляхом накопичення протонів та солевмісту [3, 8, 9]. Потужність корозійного процесу така, що трансформуються не тільки цементні гідрати, а й окремі мінерали дрібного і великого заповнювача [3, 8, 10-16]. За проведенням аналізом циклу нафтовидобувного підприємства, наведені процеси притаманні об'єктам водного господарства таких підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динаміку кислотної корозії бетону об'єктивно відбиває накопичення біогенних кислот, що можна контролювати за накопиченням протонів – значенню рН зразків [3]. У вихідному бетоні рН дорівнює 12,1-12,5, а процесі корозії знижується, досягаючи при глибокому ураженні значень нижче 1. В експериментальних дослідженнях [3] були встановлені кореляційні залежності між рН бетону (вірніше порової вологи бетону), що знаходиться в умовах мікробної сірчано-кислотної агресії, та його основними показниками: експлуатаційними, структурними, хімічними, фізико-хімічними, мікробіологічними матеріалознавчими.

Сірчана кислота, утворена тіобацилами при аеробному хемосинтезі в плівковій конденсатній волозі на поверхні бетону, взаємодіє з цементними гідратами (розчиненим СаО) за хімічною реакцією:



Біогенна сірчано-кислотна агресія перетворює СаО на Са(НСО₄)₂, що призводить до втрати міцності бетону. Цей процес супроводжується дифузійною міграцією Н₂SO₄ від поверхні бетону всередину, хімічною реакцією та відкладенням її продуктів у порах кородованого бетону [3-5].

Для опису корозійного руйнування бетону в мережах водовідведення та оцінки глибини корозійного ураження (h_K) було запропоновано формулу [17, 18]:

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

де D – ефективний коефіцієнт дифузії, см²/год;

C_1^0 – концентрація діючої Н₂SO₄, кг/м³;

C_1^* – концентрація Н₂SO₄ на фронті корозії, кг/м³;

δ – відстані дифузії агресивної сірчаної кислоти углиб неушкодженого бетону за фронт корозії, см;

t_a – тривалість кислотної агресії, год.

Цю формулу було перетворено при представленні концентрації діючої сірчаної кислоти через концентрацію протонів в агресивному середовищі, точніше через від'ємний логарифм концентрації протонів – рН [3, 13]:

$$\begin{aligned} h_K &= \sqrt{29,27 \cdot 10^{-4} \cdot 0,57 \cdot 48 \cdot 10^{-pH} D_K t_a + \delta^2} - \delta = \\ &= \sqrt{817,51 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-pH} D_K t_a + \delta^2} - \delta, \end{aligned} \quad (3)$$

На підставі аналізу науково-технічної літератури можливо зробити висновок, що ранню ідентифікацію біогенної сірчано-кислотної агресії бетону можливо зробити за наявністю наступних ознак:

- підкислення (зниження рН) бетону;
- накопичення сульфуру;
- накопичення сульфатів;
- підвищення рухливості кальцію;
- поява в бетоні гіпсу двохводного.

Зазначені показники виявляє хімічний та фізико-хімічний аналіз бетону, який спирається на хімізм корозійного процесу. Таке дослідження також дозволяє використовувати хімічні показники для визначення показників хімічної кінетики та хімічної термодинаміки.

Високий вміст сірководню в воді та викиди сірководню в атмосферне повітря притаманні водному господарству об'єктів видобутку нафти [19, 20]. Пластові води є привабливим середовищем для розвитку сульфатредуючих бактерій, що утворюють сірководень, особливо на ділянках водного господарства, де відбувається тривале відстоювання або в трубопроводах з ламінарною течією. Практика експлуатації нафтопромислового обладнання нафтових свердловин, ємностей, нафтопроводів показує, що одним з основних чинників аварій (30%) і передчасного виходу їх з ладу є корозія зовнішніх і внутрішніх поверхонь стінок труб, яка особливо інтенсифікується при насиченні їх сірководнем і вуглекислим газом. Відомо, що близько 80% втрат від корозії нафтопромислового обладнання пов'язано з діяльністю сульфатредуючих бактерій [19].

Постановка завдання. Таким чином, метою роботи є ідентифікація виду й кінетичних показників корозії бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві підприємства з видобутку нафти. В експериментальних дослідженнях вивчали зразки бетону, які відібрали з верхньої надводної частини нафтопасток на досліджуваному об'єкті нафтовидобутку, розташованому в Дніпровсько-Донецькій западині.

Виклад основного матеріалу. Зразки бетону досліджували пошарово: глибиною 0,4 – 0,6, мм (в середньому 0,5 мм та 4-6 мм (в середньому 5 мм)). Перед аналізом виконували пробопідготовку зразків: доводили до повітряно-сухого стану, подрібнювали, пропускали крізь сито с круглими отворами діаметром 1-2 мм і зберігали в пакетах. В зразках бетону хімічними методами за методиками, рекомендованими нормативними документами України та науково-технічною літературою, визначали: загальну концентрацію сульфуру за ДСТУ ISO 22016:2018 «Определение серы в огнеупорных изделиях и сырье гравиметрическим, фотометрическим и титриметрическим методами (ISO 22016:2015, IDT)» фотометричним методом [21], концентрацію сульфатів осадженням іону сульфату розчином хлористого барію та зважуванням прожареного залишку, загальну концентрацію кальцію комплексонометрично на реакції взаємодії катіонів кальцію з трилоном Б (комплексом III) та концентрацію рухливого кальцію визначали в водних витяжках з подрібненого бетону. спектрофотометрично на атомно- абсорбційний спектрофотометр Varian Spectr AA-200 [22-27]. За допомогою потенціометричного обладнання встановлювали окисно-відновний потенціал порової вологи (Eh) на зволоженій поверхні бетону та рН бетону. Для вимірювання цих показників твердофазним сурм'яно-оксидним електродом використали прилад Коррозіметр бетону, сертифікований в Україні [28, 29].

Візуальне обстеження зразків бетону, відібраних з надводної частини непрацюючої та працюючої нафтопасток свідчили, що конструктивний матеріал має не властивий бетону яскраво-білий колір. Це свідчить про перетворення ураженої частини

конструкції з утворенням (при урахуванні найможливіших агресивних впливів) гіпсу двоводного ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Результати хімічного дослідження зразків бетону надводної частини нафтопасток водного господарства промислового підприємства представлені в табл. 1, підтвердили це припущення. Як видно з представлених даних, усі бетонні зразки зазнали кислотної агресії: рН зразків бетону надводної частини нафтопасток значно нижче, ніж рН контрольного зразка. Аналіз вмісту сульфуру та сульфатів в бетоні надводної частини нафтопасток показав надзвичайне зростання цих показників порівняно з контрольним. Наприклад, концентрація загального сульфуру в зразку 2 в 10 разів перевищувала його концентрацію в контрольному зразку. До того ж сульфур в зразках бетону представлений сульфуром сульфатів. Ці характеристики одноставно свідчили про агресивний вплив на бетон сірчаної кислоти.

Таблиця 1 – Результати визначення хімічних показників в зразках бетону надводної частини нафтопасток

Зразок бетону	Концентрація при глибині, мм									
	0,5					0,5				
	pH	S, %	S-SO ₄ , %	Ca, %	Ca рух., %	pH	S, %	S-SO ₄ , %	Ca, %	Ca рух., %
1	6,15	1,7	1,6	3,7	1,2	10,5	0,21	0,19	8,3	1,06
2	5,5	2,1	2,0	3,5	1,25	9,7	0,30	0,25	7,6	1,12
3	6,2	1,6	1,4	3,6	1,2	10,8	0,14	0,13	8,3	1,09
Міськ.каналіз.трубопро від. [3]						4,2	4,0	4,0	2,0	1,0
Контроль	10,0	0,2	0,2	10,2	0	12,0	0,2	0,2	10,5	0

Джерело: розроблено автором

Вона є результатом окиснення сірководню, що розчиняється в конденсатній волозі на поверхні бетонних конструкцій, тіоновими бактеріями в сірчану кислоту. Причому в усіх зразках динаміка рН, концентрації сульфуру та сульфатів в бетоні абсолютно однакова; чим нижче рН (більше глибина ураження корозією), тим більше концентрація загального сульфуру та сульфуру сульфатів.

Динаміка сполук кальцію в досліджених зразках бетону має залежність обернену динаміці сполук сульфуру: чим нижче рН бетону тим нижче концентрація загального кальцію. Тобто вплив біогенної сірчаної кислоти вилучує кальцій з бетону і кардинально (в 3-4 рази) зменшує його концентрацію. Це підтверджує і концентрація рухливого кальцію.

Як видно, із збільшенням глибини ураження (зменшення рН) рухливість кальцію підвищується і збільшується концентрація рухливого кальцію. Серед трьох досліджених зразків найбільшого впливу та зміни визначених хімічних характеристик зазнав бетон зразка 2 (відкрита частина діючої нафтопастки). Агресивність середовища відповідно СНіП 2.03.11-85 слабоагресивне.

Зразки, відібрані з закритої частини нафтопастки, вражені корозією дещо менше, оскільки закриття негерметичне, викиди відбуваються, проте вони менші. Зразок 3, відібрано з верхньої частини нафтопастки, яка не працює вже 10 років. Його стан свідчать про те, що свого часу відбулось його глибоке ураження, але за 20 років відсутності впливів воно було кардинально нейтралізоване дощовими змивами.

Розрахунок глибини дифузії біогенних кислот практично співпадає із глибиною зразків, на якій спостерігається значення рН, що співпадає з рН контрольних зразків, які не зазнали агресивного впливу (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати розрахунку корозійного ураження бетону нафтопасток водного господарства об'єкту нафтовидобутку за визначеними значеннями рН бетону

Зразки бетону	Введ. в експлуат.	Середнє значення ОВП, мВ	рН плівкової вологи бетону	D, см ² /го д	Глибина дифузії біоген. к-т, мм	Швидкість корозії, мм/рік
1	1980	-305	6,15	0,006	1,50	0,06
2	2002	-266	5,5	0,0078	1,86	0,08
3	2002	-314	6,25	0,005	1,45	0,05

Джерело: розроблено автором

В якості експлуатаційного середовища, яке містить сірководень, що викидається з водного середовища, та впливає на бетонні конструкції надводної частини нафтопастки, прийняли газо-повітряний шар висотою 1 м над водним середовищем цієї споруди. Визначення швидкості корозії бетону дозволяє розрахувати середньорічну концентрацію сірководню в експлуатаційному середовищі, що впливає на бетон за формулою, розробленою [3]:

$$S_{AH_2S} = \frac{V_{кор} \cdot S_{надвод.част.} \cdot M_{H_2S} \cdot m_{цпиг}}{M_{CaO} \cdot W_A \cdot \beta} \cdot \frac{p \cdot a \cdot b}{c \cdot k}, \quad (4)$$

де $V_{кор}$ – швидкість корозії бетону, мм/рік;

$S_{надвод.част.}$ – площа надводної частини, м²;

M_{H_2S} та M_{CaO} – молекулярні маси H₂S і оксиду кальцію відповідно, г/моль;

$m_{цпиг}$ – маса цементу, що необхідна для приготування 1 м³ бетону, кг;

W_A – об'єм газо-повітряного середовища, що впливає на батон, м³;

β – коефіцієнт масопереносу H₂S, діб⁻¹;

p – частка CaO в цементі, що вступив в реакцію з H₂SO₄ на конкретній ділянці, доли, 0,6;

a – перерахунковий коефіцієнт кг/мг, 10⁶;

b – коефіцієнт, який враховує стікання частини H₂SO₄ зі стін в водне середовище, 1,2;

c – перерахунковий коефіцієнт рік/діб, 365;

k – перерахунковий коефіцієнт мм/м, 1000.

$S_{надвод.част.}$ враховує площу поверхонь по ширині нафтопастки (12x2) м², по довжині нафтопастки (24x2) м² та 95% покриття нафтопастки, усього 347,6 м²

$W_A = 288 \text{ м}^2 \times 1 \text{ м} = 288 \text{ м}^3$.

$m_{цпиг} = 450$ кг;

β за усередненими значеннями, встановленими в колекторах міської каналізації [3], становить 9,6 діб⁻¹.

При проведенні розрахунків робили певні допущення:

- швидкість корозії однакова для всіх бетонних надводних поверхонь;
- концентрація сірководню в газо-повітряному середовищі над нафтопасткою однакова по всьому об'єму середовища.

Результати виконаних розрахунків представлені в табл.3.

Таблиця 3 – Розрахунок концентрації сірководню в газо-повітряному середовищі, що впливає на надводну частину нафтопастки за активністю біогенної сірчаноокислотної корозії цього бетону

Зразок бетону	Швидкість корозії, мм/рік	Середньорічна концентрація сірководню в експлуатаційному середовищі, мг/м ³
1	0,06	4,1
2	0,08	5,4
3	0,05	3,4

Джерело: розроблено автором

В роботі [4] приведена залежність між концентрацією сірководню в газоподібному експлуатаційному середовищі та швидкістю корозії бетону в системах водовідведення. Але ця залежність встановлена для дуже високих значень швидкості корозії бетону (більше 1 мм/рік) та концентрації сірководню (більше 20 мг/м³). Тому для перевірки одержаних даних (табл. 3) скористались даними науково-технічної літератури [3, 9, 11] і побудували графічну залежність між концентрацією сірководню в газоподібному експлуатаційному середовищі та швидкістю корозії бетону в системах водовідведення при низьких значеннях цих чинників (рис.1).

Необхідно зазначити, що розрахована концентрація сірководню над водним середовищем в нафтопастці перевищує ГДК робочої зони за цим забрудненням для підприємств нафтовидобувної промисловості (3 мг/м³).

Висновки.

1. Встановлено, що всі досліджені бетонні зразки зазнали кислотної агресії (рН зразків бетону на 4,0-5,5 одиниць нижчий, ніж рН контрольного зразка), а вміст сульфуру, представленого практично тільки сульфатами, в бетоні надводної частини нафтопасток в 10 разів перевищувала його концентрацію в контрольному зразку, що одноставно свідчило про агресивний вплив на бетон сірчаної кислоти і утворення в ньому гіпсу. Наявність сірководню в експлуатаційних середовищах вказувало на дуже високу вірогідність розвитку в надводній зволоженій частині споруди асоціації тіобацил продуцентів біогенної сірчаної кислоти.

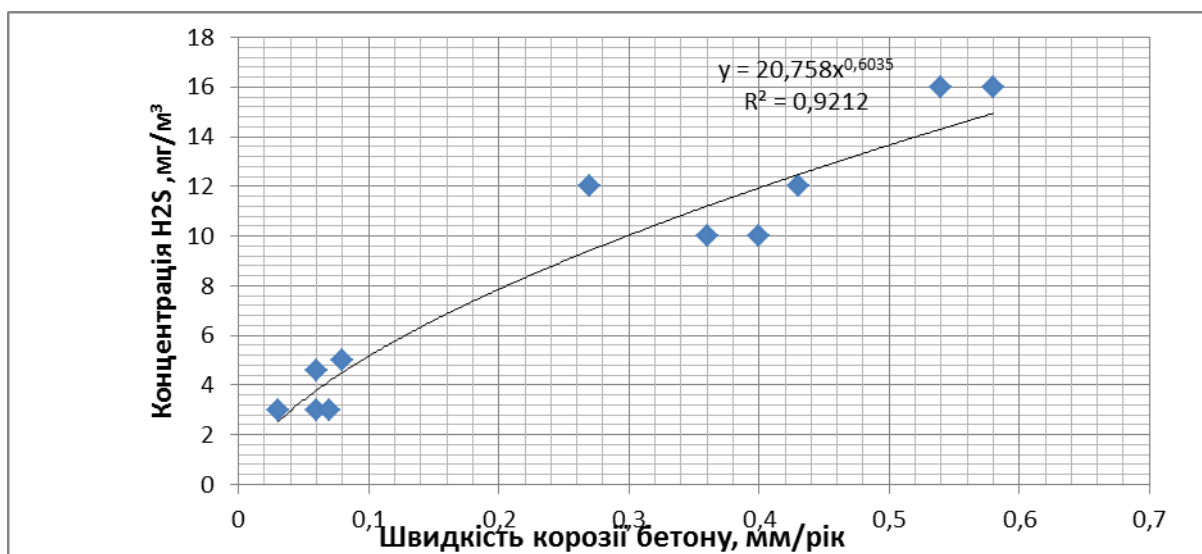


Рисунок 1 – Вплив концентрації сірководню на швидкість біогенної сірчаноокислотної корозії бетону
Джерело: [3, 9, 11]

2. Експериментально встановлена динаміка сполук кальцію в досліджених зразках бетону свідчила про його вилужування агресивною сірчаною кислотою: чим нижче рН бетону тим нижче концентрація загального кальцію і вище концентрація рухливого кальцію.

3. Накопичення в кородуючому бетоні кислот, сульфур, сульфатів, збільшення концентрації рухливого кальцію сполук сірки та наявність в експлуатаційному середовищі, що впливає на бетон, сірководню свідчили про те, що бетон уражений біогенною сірчаною кислотою.

4. На підставі даних, визначених за допомогою корозиметра бетону, розраховані характеристики експлуатаційної довговічності бетонних конструкцій, що перебувають в умовах біогенної сірчаною кислотою агресії: ступінь агресивності рідкого середовища (плівкової конденсатної вологи на бетоні) – слабоагресивне, швидкість мікробіологічної корозії бетону – до 0,08 мм/рік, глибину дифузії в бетон біогенних кислот – до 1,9 мм.

5. На підставі результатів визначення швидкості корозії бетону надводної частини нафтопастки розраховали середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері, що впливає на бетон (газо-повітряний шар висотою 1 м над водним середовищем цієї споруди). В діючій нафтопастці середньорічна концентрація сірководню в експлуатаційному середовищі становила 3,4 – 5,4 мг/м³, що перевищує ГДК робочої зони в нафто-газовій галузі за цим забрудненням.

Список літератури

1. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. Харьков: Консум, 2008. 400 с.
2. 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.
3. Юрченко В.А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: дисс.... д-ра техн. наук: 05.23.04 . УГНИИ „УкрВОДГЕО”. Харьков, 2007. 426 с.
4. Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация . Донецк: ИЭП НАН Украины, 2003. 260 с.
5. 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.
6. Basista M. Weglewski W. Micromechanical modelling of sulphate corrosion in concrete: influence of ettringite forming reaction. М.,; Belgrade, *Theoret. Appl. Mech.* 2008. Vol. 35. №. 1-3. P. 29-52.
7. 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.
8. Гончаренко Д. Ф., Алейникова А. И., Гудилин Р. И. Канализационные тоннели и коллекторы – на пороге экологической катастрофы. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 4 (93). С. 110–115.
9. Бригада О.В. Моніторинг показників експлуатації водовідвідних споруд з залізобетону: автореф...дис...канд. техн. наук: 05.23.04 . Харківський нац.ун-т будівництва та архітектури. Харків, 2013. 24 с.
10. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова. Киев: Наукова думка, 1980. 287с.
11. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами сірководню з каналізаційних мереж. / Коваленко А.В., Юрченко В.О., Бригада Е.В., Лебедева Е.С. *Науковий вісник будівництва*. 2014. Вип. 3(77). С. 218-223.
12. Monteny, J. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete / Monteny, J., Vinckeb E., Beeldensc A., De Belied N., Taerwea L., Van Gemertc D. and Verstraeteb W. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30. № 4. P. 623-634.
13. Юрченко В.А., Бригада Е.В. Кинетические характеристики микробиологической коррозии бетона в сетях водоотведения. *Вода и экология. Проблемы и решения*. 2014. № 1. С.51-61.
14. Журавская Н.Е., Шевченко К.В., Журавский Д.А. Биоповреждения бетонных конструкций,

- мероприяття по відновленню . *Проблеми сучасного будівництва* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, Мінськ, 28 травня 2020 г. / редкол.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа. Мінськ : БНТУ, 2020. С. 229-237.
15. Ахмадуллин Р.Р. Повышение долговечности железобетона в условиях сероводородной коррозии : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 . Уфим. гос. нефтяной ун-т. Уфа, 2006. 154 с.
 16. Кантор П.Л. Повышение долговечности железобетона водоотводящих коллекторов : дис.... канд. техн. наук : 05.23.05 . Уфим. гос. нефтяной ун-т. Уфа, 2012. 143 с.
 17. Рекомендации по оценке степени коррозионного воздействия слабоагрессивных кислых сред на бетон. М.: НИИЖБ, 1986. 14 с.
 18. Математическая модель коррозии бетонов в жидких средах. / Гусев Б.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. . *Изв. вузов. Строительство*. 1998. № 4-5. С. 56-60.
 19. Сахабутдинов Р.З. Разработка технологических процессов сбора, подготовки и транспортировки углеводородного сырья с минимальными потерями углеводородов и выбросами вредных веществ в атмосферу: дис. доктора наук: 25.00.17 . Татарский НИПИ нефти. Бугульма, 2001. 268 с
 20. Рабартдинов З.Р. Научно-методическое обоснование использования сероводорода как реперной компоненты в процессах нефтедобычи: автореф...дис. канд. техн. наук: 25.00.17 . ОАО НПФ «Геофизика». Уфа, 2013. 24 с.
 21. ДСТУ ISO 22016:2018. Определение серы в огнеупорных изделиях и сырье гравиметрическим, фотометрическим и титриметрическим методами. (ISO 22016:2015, IDT). ГП «УкрНИУЦ».
 22. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. [Взамен ГОСТ 5382-73, ГОСТ 9552-76. Введ. 01.07.91]. Цементы. Методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1994. С. 46-144.
 23. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
 24. Химический анализ горных пород и минералов. / Под ред. Н.П.Попова и И.А.Столяровой. М.: Недра, 1974. 248 с.
 25. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. М.: Высшая школа, 1984. 116 с.
 26. ДСТУ 7909:2015 . Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці.
 27. ДСТУ 7945:2015 . Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці.
 28. Пристрій для визначення параметрів стану споруд із бетону, які зазнають впливу сірчаноокисlotної агресії "Корозиметр бетону": пат. 25294 України : МПК 2006 G01F 23/28 (Україна). у 2006 133612006; заявл 18.12.2006; опубл. 10.08.2007. Бюл. №12. 8 с.
 29. Спосіб визначення ступеня агресивності експлуатаційного середовища по відношенню до споруд із бетону, які зазнають впливу біогенної сірчаноокисlotної агресії : пат. 50558 Україна : МПК 7 C12M1/00/ .№ 2002021123; заявл. 12.02.2002; опубл. 15.10.02. Бюл. № 10. 6 с.

References

1. Goncharenko, D.F. (2008). *Ekspluatatsiya, remont i vosstanovleniye setey vodootvedenii* [Operation, repair and restoration of sewerage networks]. Kharkov: Konsum [in Russian].
2. Vasiliev, V.M., Pankova, G.A. & Stolbikhin, Yu.V. (2013). Razrusheniye kanalizatsionnykh tonneley i sooruzheniy na nikh vsledstviye mikrobiologicheskoy korrozii. [Destruction of sewer tunnels and structures on them due to microbiological corrosion.]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary engineering*, 9, 67-76. [in Russian].
3. Yurchenko, V.A. (2007). Razvitiye nauchno-tekhnologicheskikh osnov ekspluatatsii sooruzheniy kanalizatsii v usloviyakh biokhimicheskogo okisleniya neorganicheskikh soyedineniy. [Development of scientific and technological foundations for the operation of sewerage facilities under conditions of biochemical oxidation of inorganic compounds] *Doctor's thesis*. UGNII „UkrVODGEO”. Kharkov [in Russian].
4. Drozd, G.Y. (2003). *Kanalizatsionnyye truboprovody: nadezhnost', diagnostika, sanatsiya*. [Sewer pipelines: reliability, diagnostics, sanitation]. Donetsk: IEP NAS of Ukraine [in Russian].
5. Rosenthal N.K. (2011). Korroziya i zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsey sooruzheniy ochestki stochnykh vod. [Corrosion and protection of concrete and reinforced concrete structures of wastewater treatment facilities. *Beton i zhelezobeton – Concrete and reinforced concrete. Equipment, materials, technology*, 1, 96-103. [in Russian].
6. Basista, M. & Weglewski, W. (2008). Micromechanical modelling of sulphate corrosion in concrete: influence of ettringite forming reaction. M.,: Belgrade, *Theoret. Appl. Mech. Vol. 35. №. 1-3*. P. 29-52. [in English].

7. Stein, D. (2001). Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers / Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ruhr-University Bochum (RUB), Faculty of Civil Engineering. Germany. 804 p. [in English].
8. Goncharenko, D. F., Aleinikova, A. I. & Gudilin, R. I. (2018). Kanalizatsionnyye tonneli i kollektory – na poroge ekologicheskoy katastrofy. [Sewer tunnels and collectors - on the verge of ecological catastrophe.]. *Naukovyj visnyk budivnytstva – Scientific bulletin of everyday life*, (93), 110–115 [in Russian].
9. Bryhada, O.V. (2013). Monitorynh pokaznykiv ekspluatsiyi vodovidvidnykh sporud z zalizobetonu. [Monitoring of indicators of exploitation of drainage structures made of reinforced concrete] . *Candidate's thesis*. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Kharkiv [in Ukrainian].
10. Andreyuk, E.I., Bilay, V.I., Koval, E.Z. & Kozlova, I.A. (1980). *Mikrobnaya korrozija i yeye vzbuditeli*. [Microbial corrosion and its pathogens]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
11. Kovalenko, A.V., Yurchenko, V.O., Bryhada, E.V. & Lebedeva, E.S. (2014). Zakhyst atmosferneho povitrya vid zabrudnennya vykydamy sirkovodnyu z kanalizatsiynykh merezh. [Protection of atmospheric air from pollution by hydrogen sulfide emissions from sewage networks]. *Naukovyj visnyk budivnytstva – Scientific bulletin of construction, Issue 3(77)*, 218-223. [in Ukrainian].
12. Monteny, J. (2000). Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete / Monteny, J., Vinckeb E., Beeldens A., De Belied N., Taerwea L., Van Gemert D. and Verstraeteb W. *Cement and Concrete Research. Vol. 30. № 4. P. 623-634*. [in English].
13. Yurchenko, V.A. & Bryhada, E.V. (2014). Kineticheskiye kharakteristiki mikrobiologicheskoy korrozii betona v setyakh vodootvedeniya. [Kinetic characteristics of microbiological corrosion of concrete in sewer networks]. *Voda i jekologija. Problemy i reshenija – Water and ecology. Problems and solutions. 1. 51-61* [in Ukrainian].
14. Zhuravskaya, N. E., Shevchenko, K.V. & Zhuravsky, D.A. (2020). Biopovrezhdeniya betonnykh konstruksiy, meropriyatiya po vosstanovleniyu. [Biodamage of concrete structures, restoration measures]. *Problems of modern construction: Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferenciya (28 maja 2020 g.) – International Scientific and Technical Conference (pp. 229-237)*, Minsk: BNTU [in Russian].
15. Akhmadullin, R.R. (2006). Povysheniye dolgovechnosti zhelezobetona v usloviyakh serovodorodnoy korrozii. [Increasing the durability of reinforced concrete under conditions of hydrogen sulfide corrosion]. *Candidate's thesis*. Ufim. state oil un-t. Ufa, 154 p. [in Russian].
16. Kantor, P.L. (2012). Povysheniye dolgovechnosti zhelezobetona vodootvodyashchikh kollektorov. [Increasing the durability of reinforced concrete drainage collectors] . *Candidate's thesis*. Ufa, 143 p. [in Russian].
17. Rekomendatsii po otsenke stepeni korrozionnogo vozdeystviya slaboagressivnykh kislykh sred na beton. [Recommendations for assessing the degree of corrosive effect of slightly aggressive acid environments on concrete]. (1986). Moskow: NIIZhB [in Russian].
18. Gusev, B.V., Faivusovich, A.S., Stepanova, V.F. & Rozental, N.K. (1998). Matematicheskaya model' korrozii betonov v zhidkikh sredakh. [Mathematical model of concrete corrosion in liquid media]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – Izv. universities. Construction, No. 4*, 56-60. [in Russian].
19. Sakhabutdinov, R.Z. (2001). Razrabotka tekhnologicheskikh protsessov sbora, podgotovki i transportirovki uglevodorodnogo syr'ya s minimal'nymi poteryami uglevodorodov i vybrosami vrednykh veshchestv v atmosferu. [Development of technological processes for the collection, preparation and transportation of hydrocarbon raw materials with minimal losses of hydrocarbons and emissions of harmful substances into the atmosphere] . *Doctor's thesis*. Bugulma. 268 p. [in Russian].
20. Rabartdinov Z.R. (2013). Nauchno-metodicheskoye obosnovaniye ispol'zovaniya serovodoroda kak reporny komponenty v protsessakh nefte dobychi. [Scientific and methodological substantiation of the use of hydrogen sulfide as a reference component in oil production processes] . *Extended abstract of candidate's thesis*. OJSC NPF "Geophysics". Ufa. 24 p. [in Russian].
21. DSTU ISO 22016:2018 Determination of sulfur in refractory products and raw materials by gravimetric, photometric and titrimetric methods (ISO 22016: 2015, IDT). [in Ukrainian].
22. GOST 5382-91. Cements and materials for cement production. Methods of chemical analysis. Instead of GOST 5382-73, GOST 9552-76. Introduction 07/01/91 // Cements. Test methods. Moskow: Publishing house of standards, 1994 S. 46-144. [in Russian].
23. Arinushkina, E.V. (1970). *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv*. [Guide to the chemical analysis of soils]. Moskow: Publishing house of Moscow State University [in Russian].
24. Ed. Popova, N.P. & Stolyarova, I.A. (1974). *Khimicheskij analiz gornykh porod i mineralov*. [Chemical analysis of rocks and minerals]. Moskow: Nedra [in Russian].

25. Popov, L.N. (1984). *Laboratornyye ispytaniya stroitel'nykh materialov i izdeliy*. [Laboratory testing of building materials and products]. Moscow: Higher school [in Russian].
26. DSTU 7909:2015 Soil quality. Determination of sulfate ion in aqueous extract. [in Ukrainian].
27. DSTU 7945:2015 Soil quality. Determination of calcium and magnesium ions in water extract. [in Ukrainian].
28. Yurchenko V.O., Korinko I.V., Mykhaylenko V.G., Kovalenko O.M., Piligram S.S., Zelenskyi B.K., Bryhada O.V., Onatskyi P.I., Borisevich D.E. (2006). Prystryi dlya vyznachennya parametriv stanu sporud iz betonu, yaki zaznayut' vplyvu sirchanokyslotnoyi ahresiyi "Korozymetr betonu". [The device for determining the parameters of the condition of concrete structures that are affected by sulfuric acid aggression "Concrete Corrosimeter"]. Patent 25294 of Ukraine IPC 2006 G01F 23/28 (Ukraine). - u 2006 133612006. Application 18.12.2006. Publ. 10.08.2007. Bul. No. 12. - 8 s. [in Ukrainian].
29. Korinko I.V., Yurchenko V.O., Babushkin V.I., Klein Y.B., Piligram S.S., Zelenskyi B.K., Kovalenko O.M. (2002). Sposib vyznachennya stupenya ahresyvnosti ekspluatatsiynoho seredovyscha po vidnoshennyu do sporud iz betonu, yaki zaznayut' vplyvu biohennoyi sirchanokyslotnoyi ahresiyi. [The method of determining the degree of aggressiveness of the operating environment to concrete structures exposed to biogenic sulfuric acid aggression]. Patent of Ukraine No. 50558 IPC 7 C12M1/00/. (Ukraine). - 2002021123. Application 12.02.2002. Publ. 15.10.02. Bul. No. 10. - 6 p. [in Ukrainian].

Volodymyr Sierohlazov, post-graduate

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine

Concrete Corrosion of the Above-water Part of the Oil Trap in the Water Management of Oil-and-gas Facilities

The purpose of the work is to identify the type and kinetic indicators of concrete corrosion of the surface part of the oil trap in the water management of oil-and-gas facilities.

Biogenic sulfuric acid concrete corrosion is a constant risk for water management facilities, in which hydrogen sulfide and its derivatives are present in the operating environment. Based on the analysis of the cycle of the oil production enterprise, the above processes are inherent in the water management of oil-and-gas facilities. The presence of hydrogen sulfide in water operating environments indicates a very high probability of the development of biogenic sulfuric acid aggression in the above-water moistened part of the structure - the influence of sulfuric acid produced by thion bacteria. An attractive environment for the accumulation of hydrogen sulfide by microbiological sulfate reduction is reservoir water at oil production sites, especially at water management sites where long-term sedimentation occurs. About 80% of losses from corrosion of oil industry equipment are associated with the activity of sulfate-reducing bacteria. In the experimental studies, concrete samples were studied, which were taken from the upper surface of the oil traps at the studied oil production facility located in the Dnipro-Donetsk depression.

The results of a chemical study of concrete samples (decrease in pH, accumulation of sulfur compounds, and leaching of calcium compounds) indicated that the concrete is affected by biogenic sulfuric acid aggression. The experimentally determined dynamics of calcium compounds in the studied concrete samples indicated its leaching by aggressive sulfuric acid: the lower the pH of concrete, the lower the concentration of total calcium and the higher the concentration of mobile calcium. Based on data determined using a concrete corrosionmeter, the rate of microbiological corrosion of concrete was calculated - up to 0.08 mm/year, and the depth of diffusion of biogenic acids - up to 1.9 mm. The calculated average annual concentration of hydrogen sulfide in the atmosphere affecting concrete was 3.4 - 5.4 mg/m³, which exceeds the MPC of the working zone in the oil and gas industry.

oil-and-gas facilities, wastewater, concrete, hydrogen-sulfide, acid aggression

Одержано (Received) 17.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 21.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022