

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

БРИГАДА ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 628.29

**МОНІТОРИНГ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОВІДВІДНИХ
СПОРУД ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ**

05.23.04 – Водопостачання, каналізація

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Харків - 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
ЮРЧЕНКО ВАЛЕНТИНА ОЛЕКСАНДРІВНА,
завідуюча кафедрою безпеки життєдіяльності і інженерної екології Харківського національного університету будівництва та архітектури

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
КОВАЛЬЧУК ВІКТОР АНАТОЛІЙОВИЧ
професор кафедри водовідведення, теплогазопостачання та вентиляції
Національного університету водного господарства та природокористування

кандидат технічних наук, доцент
Рожков Віталій Сергійович
доцент кафедри водопостачання, водовідведення і охорони водних ресурсів
Донбаської національної академії будівництва і архітектури

Захист відбудеться «3» липня 2013 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01 у Харківському національному університеті будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2013 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент

О.В. Гвоздецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Безперебійна та безаварійна робота систем водовідведення є однією з найактуальніших задач життєзабезпечення міського населення України. Найважливішим чинником в забезпеченні надійності експлуатації водовідвідних систем й попередження аварійних ситуацій є діагностика стану трубопроводів і контроль складу атмосфери підсклепінневого простору каналізаційних мереж. Особливу небезпеку для надійності водовідведення створює накопичення в експлуатаційних середовищах залізобетонних трубопроводів (стічній воді, підсклепінневному просторі, конденсатній волозі на склепінні) сірководню, його похідних та продуктів окиснення, що ініціюють біогенну сірчаноокислотну корозію склепіння. Крім того, сірководень в газоподібних викидах з каналізаційних мереж створює проблеми для екологічної безпеки водовідведення. В таких умовах для забезпечення безаварійної експлуатації залізобетонних трубопроводів водовідведення необхідні методи оперативного контролю корозійного ураження цих об'єктів та активності накопичення в них сірководню. Наразі в Україні кількісне визначення концентрації сірководню в мережах водовідведення здійснюється лише в деяких великих містах і тільки періодично, що не дозволяє одержати об'єктивної оцінки небезпеки газоподібного середовища. Методи інспектування каналізаційних мереж (оптичні, телевізійні, лазерні і т.д.), які наразі широко використовують за кордоном (а в Україні через високу вартість дуже обмежено), не дозволяють визначити агресивність середовища на поверхні конструкцій та глибину корозійного руйнування бетону. Сучасні розробки пристроїв для безпосереднього визначення глибини корозії склепінневої частини залізобетонних трубопроводів, в яких використовується математична модель кислотної корозії бетону, потребують експериментального визначення спеціальних констант, що враховують особливості біогенної сірчаноокислотної агресії в каналізаційних мережах. Отже, існує нагальна проблема в суттєвому доповненні та удосконаленні методів контролю стану каналізаційних мереж, що знаходяться в експлуатації.

Розв'язання зазначених наукових та практичних питань сприятиме досягненню більш високого рівня надійності та екологічної безпеки відведення стічних вод залізобетонними трубопроводами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної державної роботи МОН України «Картографія сірководню в стічних водах водовідведення» (ДР № 0110U007191) на кафедрі екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Мета роботи – наукове обґрунтування та розробка методів оперативного інструментального визначення показників експлуатації водовідвідних споруд із залізобетону - глибини корозії бетону та середньорічної концентрації сірководню в підсклепінневному просторі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати особливості сучасних методів інспектування стану каналізаційних трубопроводів та визначення концентрації сірководню на ділянках каналізаційних мереж;

- удосконалити та доповнити методику розрахунку глибини біогенної сірчано-нікислотної корозії бетону підсклепінневої частини каналізаційних колекторів, як фактора експлуатаційної довговічності цих об'єктів;
- удосконалити та апробувати пристрій для оперативної неруйнуючої діагностики бетонних конструкцій на діючих мережах водовідведення;
- експериментально встановити коливання концентрації сірководню на ділянках мереж, виконати електронне картографування мереж за накопиченням сірководню та його похідних в експлуатаційних середовищах;
- розробити та апробувати математичну модель накопичення сірководню в газоподібному середовищі каналізаційних мереж;
- розробити метод інструментального контролю накопичення сірководню в атмосфері підсклепінного простору каналізаційних трубопроводів, осередненого за представницький період часу експлуатації.

Об'єкт дослідження – процес накопичення сірководню в підсклепінному просторі каналізаційних мереж і біогенна сірчано-нікислотна корозія бетону склепінневої частини трубопроводів.

Предмет дослідження – оперативне інструментальне визначення глибини корозійного ураження бетону та накопичення сірководню в атмосфері каналізаційних мереж за допомогою корозиметра бетону.

Методи досліджень. При дослідженні експлуатаційних середовищ на діючих мережах і в лабораторних умовах застосовували методи гідрохімічного аналізу рідких середовищ, хімічні та фізико-хімічні методи – при дослідженні газоповітряного середовища та складу бетону. Для обробки експериментальних даних використовували статистичні методи, методи математичного моделювання та методи регресійного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів:

- визначено залежності кінетичних показників біогенної сірчано-нікислотної корозії бетону - коефіцієнт дифузії біогенних кислот і глибини їх дифузії за фронт корозії – від параметрів експлуатаційних середовищ в каналізаційних мережах;
- експериментально встановлено лінійні швидкості процесів утворення сірководню в стічних водах та накопичення його в атмосфері підсклепінного простору каналізаційних трубопроводів, необхідні для розробленої математичної моделі;
- уперше теоретично обґрунтовано та експериментально встановлено можливість оперативного визначення середньорічної концентрації сірководню на конкретних ділянках каналізаційної мережі шляхом вимірювання глибини сірчано-нікислотної корозії склепінневої частини трубопроводу.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблений та сертифікований пристрій - корозиметр бетону - є засобом оперативного неруйнуючого контролю факторів експлуатаційної довговічності залізобетонних споруд водовідведення та засобом вимірювання середньорічної концентрації сірководню на ділянках мережі. Корозиметр бетону був успішно апробований на мережах водовідведення для оцінки агресивності експлуатаційного середовища і прогнозу

експлуатаційної довговічності обстежених ділянок Комунального підприємства «Харківводоканал» (м. Харків) і Кримського республіканського підприємства «Виробниче підприємство водопровідно-каналізаційного господарства м. Сімферополя» (м. Сімферополь). Корозиметр бетону передано службі експлуатації мереж КП «Харківводоканал».

Особистий внесок здобувача. Автором детально досліджені методи контролю стану бетону каналізаційних трубопроводів і діагностики мереж в цілому. Самостійно виконані експериментальні дослідження в натурних і лабораторних умовах для визначення основних коефіцієнтів, які використовуються при розрахунку експлуатаційних характеристик залізобетонних трубопроводів водовідведення. За результатами експериментальних досліджень автором виконано електронне картографування каналізаційних мереж м. Харкова за вмістом сірководню та його похідних в експлуатаційних середовищах - стічній воді, атмосфері підсклепінневого простору, а також за глибиною корозійного ураження залізобетонних трубопроводів. Автором апробовані різноманітні методи розрахунку концентрації сірководню в підсклепінневому просторі бетонних каналізаційних трубопроводів, в тому числі розроблений власно. Всі положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на науково-технічних конференціях ХНУБА 2007-2012 рр., науково-технічних конференціях ХНАДУ в 2008-2012 рр., міжнародних науково-технічних конференціях «Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (Алушта 2006, 2009 рр., Бердянськ, 2003, 2006-2008, 2010-2012 рр.), міжнародній конференції молодих вчених та аспірантів «Ефективні матеріали, технології, машини і обладнання для будівництва та експлуатації сучасних транспортних споруд» (Белгород, 2009 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 30 наукових робіт, в тому числі - 11 статей у фахових виданнях та 1 патент України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 147 найменувань та 5 додатків. Повний зміст викладено на 143 сторінках. Робота містить 30 таблиць, 37 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет та задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дисертації та особистий внесок автора.

У **першому розділі** викладено аналіз сучасного стану проблеми надійності експлуатації бетонних каналізаційних трубопроводів в умовах утворення агресивних експлуатаційних середовищ в спорудах водовідведення. Визначено, що найбільші проблеми для експлуатації залізобетонних мереж водовідведення спричиняє накопичення сірководню (H_2S), його похідних та продуктів окиснення в експлуатаційних середовищах трубопроводів - стічній воді, атмосфері підсклепінневого простору, конденсатній волозі на поверхні склепіння, та бетонному склепінні. Сірководень, що утворюється в стічній рідині, виділяється в

атмосферу підсклепінневого простору залізобетонних колекторів, розчиняється в конденсатній волозі на поверхні трубопроводів, що призводить до його мікробіологічного окиснення та виникнення корозійно-агресивної сполуки - сірчаної кислоти. В результаті взаємодії сірчаної кислоти з компонентами бетону відбувається корозійне руйнування склепіння бетонних каналізаційних трубопроводів водовідведення. Детально досліджено вітчизняні та закордонні методи діагностики та неруйнуючого контролю стану споруд водовідведення, і залізобетонних зокрема. Відзначено, що методи безпосереднього інструментального контролю швидкості корозії бетонних трубопроводів водовідведення, які знаходяться в експлуатації, практично відсутні, а існуючі лабораторні засоби контролю корозійних процесів довгострокові. Великий внесок у вивчення процесів корозійного руйнування бетонних споруд, мікробної корозії залізобетонних споруд водовідведення, математичного моделювання корозійних процесів та утворення сірководню в атмосфері підсклепінневого простору трубопроводів водовідведення внесли праці вітчизняних та закордонних науковців: Абрамовича І.О., Бабушкіна В.І., Гончаренка Д.Ф., Дрозда Г.Я., Іванова Ф.М., Козлової І.П., Корінько І.В., Любарської Г.В., Москвіна В.М., Ольгінського О.Г., Чернявського В.Л., Юрченко В.О., Розенталя М.К., Файвусовича О.С., Stein D., Hvitved-Jacobsen T., Nielsen A., Tanaka N., Vollertsen J., Yongsiri C. та ін.

Показана актуальність і необхідність наукового обґрунтування та розробки методів моніторингу експлуатаційних показників відведення стічних вод залізобетонними каналізаційними трубопроводами для підвищення експлуатаційної довговічності цих споруд.

У **другому розділі** наведено характеристики об'єктів та методів дисертаційного дослідження. Корозійні процеси в залізобетонних трубопроводах водовідведення досліджували в натурних (каналізаційні мережі м. Харкова та м. Сімферополя) й лабораторних умовах за допомогою корозиметра бетону. Вміст сірководню в атмосфері каналізаційних колекторів визначали за допомогою газоаналізатора УГ-2 та аналізатора ДОЗОР, склад стічних вод та бетону – за стандартними методиками. Для аналізу й статистичної обробки отриманих даних, при розробці математичної моделі та електронному картографуванні використовували програми Excel, MathCAD, Corel Draw.

У **третьому розділі** наведено основні вимоги (рис. 1), опис і принцип дії пристрою корозиметра бетону (розробленого здобувачем в співавторстві) для оперативного неруйнуючого контролю стану залізобетонних споруд водовідведення, його основних вузлів – вимірювального приладу й електродів, та програмного забезпечення. На підставі експериментальних досліджень обґрунтовано вибір матеріалу для твердофазного вимірювального електроду, охарактеризовано особливості конструкції вимірювального електроду та електроду порівняння (рис. 2, 3) при виконанні їх в небитких корпусах. Розроблено методологію проведення вимірів рН конденсатної вологи безпосередньо на поверхні залізобетонних споруд водовідведення за допомогою корозиметра бетону, схема якої наведена на рис. 4.

Пристрій дозволяє оперативно вимірювати рН конденсатної вологи на бетоні як у лабораторних умовах, так і на діючих об'єктах водовідведення. Він мо-

же також використовуватись для оперативної кількісної оцінки кислотної агресивності експлуатаційних середовищ, що діють на залізобетонні споруди різного призначення. Корозиметр бетону сертифіковано в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (м. Харків).

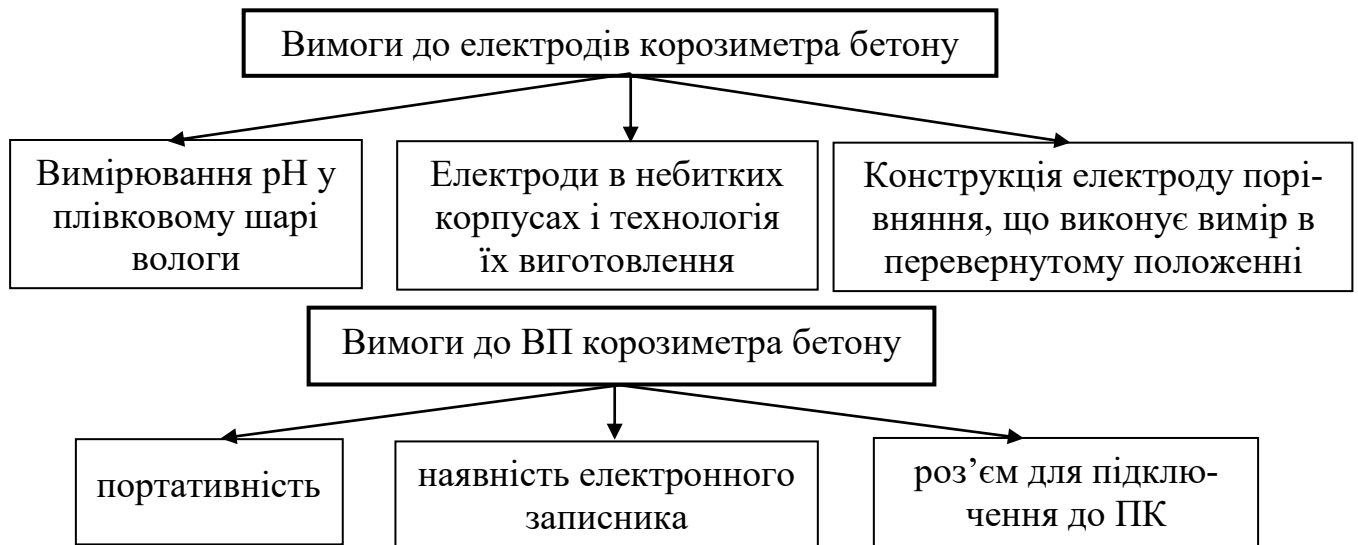


Рис. 1. Основні вимоги до електродів та вимірювального приладу (ВП), які використовуються в корозиметрі бетону

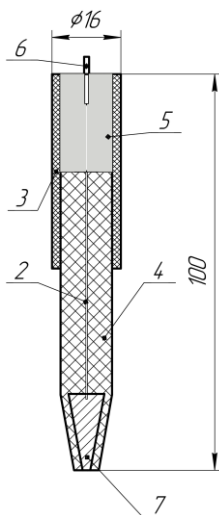


Рис. 2. Вимірювальний електрод: 1 - електрод, 2 - токопровід, 3 - трубка, 4 - корпус, 5 - пробка, 6 - кабель, 7 - контактний кінець

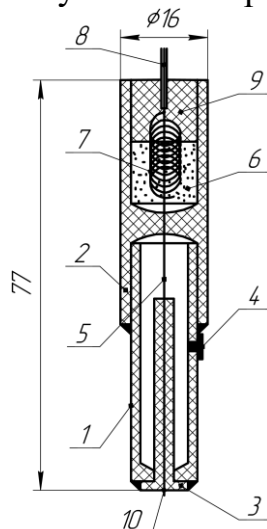


Рис. 3. Електрод порівняння: 1 - корпус, 2 - кришка, 3 - втулка, 4 - пробка, 5 - гніт, 6 - активна маса AgCl/Ag, 7 - срібний дріт, 8 - токопровід, 9 - пробка корпусу, 10 - контактний кінець

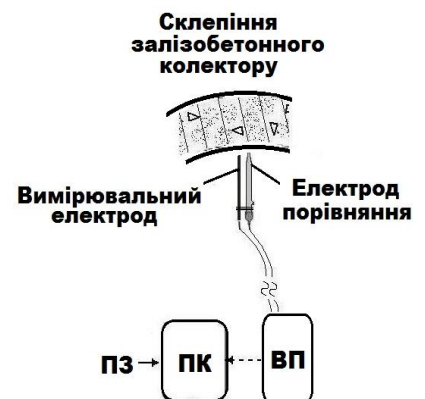


Рис. 4. Схема проведення вимірів за допомогою корозиметра бетону: ПЗ – програмне забезпечення, ПК – персональний комп'ютер

В розділі наведено дані експериментального визначення основних коефіцієнтів для розрахунку швидкості корозії бетону при біогенній сірчано-кислотній агресії – коефіцієнту дифузії біогенних кислот в бетон (D , $\text{см}^2/\text{год}$), величини дифузії біогенних кислот за фронт корозії (δ , мм) та залежності, що враховує вплив повного підтоплення трубопроводу на швидкість корозії склепінневої частини. Ці коефіцієнти необхідні для розрахунку глибини та швидкості біогенної

сірчаноокислотної корозії бетону за відомою формулою, виведеної з математичної моделі цього виду корозії бетону:

$$h_K = 1,1 \sqrt{16,67 \cdot 10^{-4} \cdot D \cdot 10^{-\gamma} t_a + \delta^2} - \delta \quad (1)$$

де D - коефіцієнт дифузії, $\text{см}^2/\text{год}$; γ - рН конденсатної води; t_a - час впливу агресивної сірчаної кислоти, год; δ - відстань дифузії агресивної сірчаної кислоти вглиб неушкодженого бетону попереду фронту корозії, см.

В розрахунках за формулою (1) дотепер використовували значення D для сірчаної кислоти ($0,041 \text{ см}^2/\text{год}$) та $\delta=2 \text{ см}$, як константи. Визначення D виконували при пошаровому дослідженні стандартних бетонних зразків (вимірюванні концентрації протонів – рН бетону) після експозиції їх в атмосфері підсклепінцевого простору мереж водовідведення за відомими формулами, з використанням значень глибини дифузії, інтегралу помилок та часу дифузії біогенних кислот в бетон. Як було встановлено, D залежить від концентрації кислот (рН) на поверхні бетону (рис. 5).

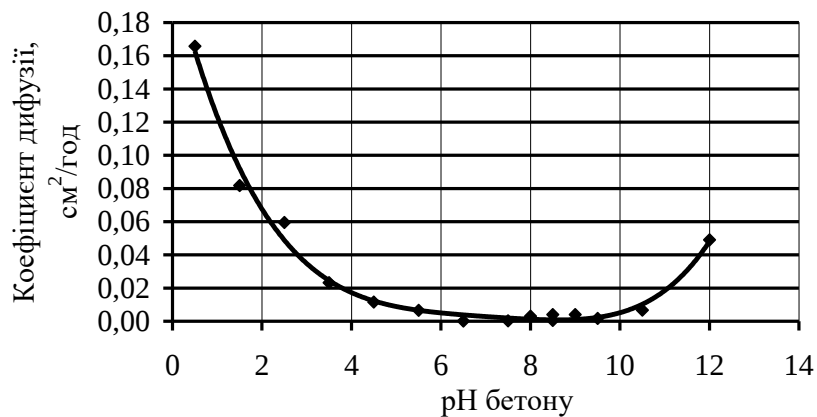


Рис. 5. Вплив глибини ураження бетону (рН) на значення коефіцієнта дифузії протонів при біогенній сірчаноокислотній агресії

Як видно, залежність D від глибини корозійного ураження бетону має 4 основні області: першу - у відносно здоровому бетоні (рН бетону 12-9), другу - при неглибокому корозійному ураженні, де цей показник зберігає постійні відносно найнижчі значення (рН - 9-6), третю - при інтенсивному корозійному ураженні (рН - 6-4) відзначається зростання D до значень, близьких до значень цього показника в першій області, і четверту - при глибокому і екстремально глибокому корозійному ураженні бетону (рН - 4-0,5), де зі зниженням рН збільшення D відбувається за експоненціальною залежністю.

Глибину дифузії біогенних кислот за фронт корозії (δ) визначали за даними експериментальних пошарових досліджень (вимірюванні відстані вглиб бетону від шару з рН=7,0 до шару з рН=11,5) прокородованих зразків бетону після експозиції в каналізаційному колекторі. Досліджували залежність значення δ від: агресивності середовища (рН на поверхні), терміну експлуатації та комплексної дії цих двох експлуатаційних чинників.

Сумарний вплив агресивності середовища та терміну експлуатації на δ кількісно розраховували за допомогою визначення маси H_2SO_4 ($m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^T$, Моль),

яка подіяла на поверхню бетону протягом певного часу. Її вираховували, виходячи з відомої формули плинину H_2SO_4 (пропорційного плинину H_2S) на склепіння колектору:

$$q_{\text{H}_2\text{S}} = C_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{к.в.}} \cdot V_{\text{к.в.}} \cdot \frac{q_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{к.в.}} \cdot \tilde{N}_0} = \frac{C_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{к.в.}} \cdot q_{\text{H}_2\text{O}}}{\tilde{N}_0}, \quad (2)$$

де $C_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{к.в.}}$ – концентрація H_2SO_4 в плівковій конденсатній волозі, Моль/м³; $V_{\text{к.в.}}$ – об'єм плівкової конденсатної води на склепінні ділянки довжиною 1, $q_{\text{H}_2\text{O}}$ – плин води на склепіння на ділянці довжиною 1, м³/год, (0,001); C_T – співвідношення $\text{S-H}_2\text{S} / \text{S-H}_2\text{SO}_4$ при окисленні H_2S , 0,8.

Маса H_2SO_4 ($m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^T$, Моль), що впливала на бетон протягом певного часу, складає:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^T = q_{\text{H}_2\text{S}} \cdot t_a = \frac{C_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{к.в.}} \cdot q_{\text{H}_2\text{O}}}{C_T} \cdot t_a \quad (3)$$

Залежність величини δ від маси сірчаної кислоти, що впливала на бетон, свідчить про те, що при екстремально низьких значеннях рН (менше 3,0) і великої тривалості експлуатації (більше 40 років) значення δ підвищуються за експонентою, а при значеннях рН більше 3,0 та зменшенні тривалості експлуатації значення δ практично не змінюється і становить близько 10 мм. Аналіз експериментальних даних показав, що діапазон зміни часу агресивного впливу сірчаної кислоти складає 2 порядки, а діапазон зміни концентрації сірчаної кислоти в конденсатній волозі – 10 порядків. Отже саме останній фактор робить більш значимий вплив на величину δ .

Залежність δ від рН на поверхні бетону (агресивності середовища) (рис. 6) свідчить, що при рН на поверхні від 9 до 4 δ не перевищує 10 мм, а при рН від 4 до 3 – зростає до 15-20 мм. При подальшому зниженні рН на поверхні δ зростає за експоненціальною залежністю.

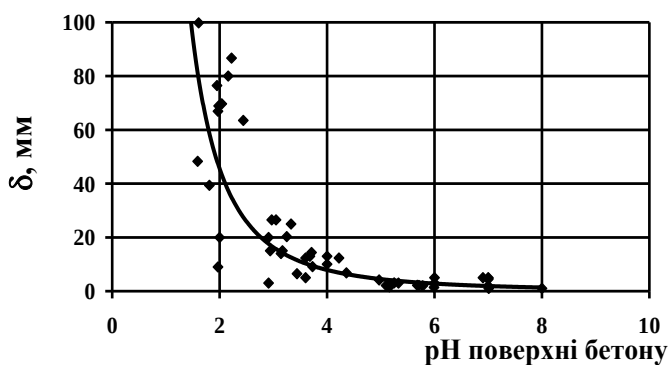


Рис. 6. Вплив агресивного середовища на поверхні бетону на глибину дифузії біогенних кислот за фронт корозії

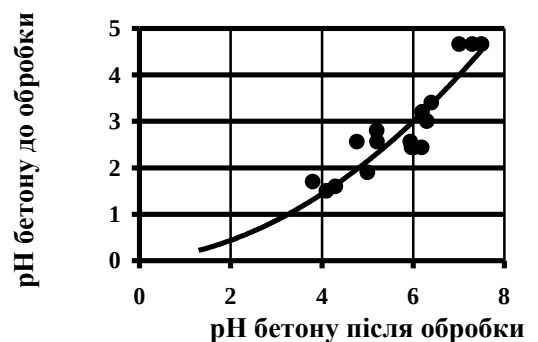


Рис. 7. Вплив підтоплення на агресивність середовища на поверхні бетону

Кількісне визначення підлужуючого впливу підтоплення на активність біогенної сірчаноокислотної агресії виконували експериментально. Бетонні балочки після експозиції в каналізаційному колекторі обробляли стічними водами, а потім знову поміщали в колектор (рис. 7).

Як свідчать дані рис. 7, в результаті підтоплення трубопроводів стічними водами рН кородуючого бетону склепінневої частини каналізаційного колектору підвищується, що кардинально змінює ступень агресивності середовища, яке діє на бетон. Така обробка зрушує рН бетону в область з найнижчими D, і, таким чином, створює певне інгібування корозійного процесу. На підставі залежності (рис. 7) можна визначити агресивність середовища на склепінні до підтоплення за формулою:

$$\text{pH}_{\text{до обробки}} = 0,09 \cdot \text{pH}_{\text{після обробки}}^2 - 0,07 \text{pH}_{\text{після обробки}} + 0,07 \quad (4)$$

У **четвертому розділі** наведено дані експериментальних досліджень стану залізобетонних каналізаційних споруд м. Харкова (19 об'єктів) та м. Сімферополя (8 об'єктів), які виконували за допомогою корозиметра бетону (окремі дані наведені в табл. 1). За розробленою методологією при обстеженні кожного об'єкту виконували виміри, а потім за спеціально розробленими програмами розраховували рН конденсатної вологи на поверхні залізобетонних споруд та глибину їх корозійного ураження. За результатами досліджень було виконано електронне картографування каналізаційної мережі м. Харкова за глибиною корозії бетону склепінневої частини колекторів.

У **п'ятому розділі** представлено дані порівняння різних розрахункових методів кількісної оцінки накопичення сірководню в атмосфері підсклепінневого простору залізобетонних каналізаційних споруд.

При проведенні вимірів концентрації сірководню в атмосфері ділянок каналізаційних мереж встановлено, що зміна концентрації H_2S протягом доби відбувається в дуже широкому діапазоні – від 7,9 до 37,8 мг/м³, протягом кварталу – від 49 до 240 мг/м³, а іноді і більше. Отже, поодинокі точкові виміри концентрації H_2S в атмосфері підсклепінневого простору не відображають реальний стан небезпеки агресивного середовища на мережах водовідведення, тому необхідні спеціальні методи визначення середньорічної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору.

Проведено порівняння різних розрахункових методів кількісної оцінки накопичення H_2S в атмосфері підсклепінневого простору залізобетонних каналізаційних споруд: за методикою, розробленою для очисних споруд Мосводоканалом; за розробленими здобувачем математичною моделлю та методикою, що базується на даних вимірювань з допомогою корозиметра бетону. Розрахунок викиду H_2S на безнапірній ділянці колектора за методикою, розробленою Мосводоканалом, виконували за формулою:

$$M_i = 5,47 \cdot 10^{-8} \cdot (1,312 + u) \frac{F \cdot \left(120 \frac{m_1 \cdot n_1}{273 + t_\delta} 10^{\frac{A - \hat{A}}{\hat{N} + t_\delta}} \right) \cdot K_2}{m_1^{0,5}} (273 + t_\delta) \quad (5)$$

де F - площа поверхні споруди, м²; m_1 - молекулярна маса сірководню, 34 г; n_1 - об'ємна доля H_2S , що транспортується у стічній воді, А, Б, С – константи Антуана, які для H_2S складають 8,5; 1175,3 і 273 відповідно K_2 - коефіцієнт перекриття поверхні; u - швидкість вітру, м/с; t_δ - температура рідини, °С.

Таблиця 1

Результати обстеження залізобетонних споруд водовідведення за допомогою корозиметра бетону

Ділянка колектора	Рік вводу в експлуатацію	рН поверхні бетону	D, см ² /год	Глибина корозії з урахуванням дифузії біоген. к-т за фронт корозії, мм	Швидкість корозії, мм/рік
м. Харків					
Шахта № 6 Північної групи заводів	1990	3,73	0,021	10,02	0,40
Шахта № 9 колектора Північної групи заводів	1990	2,94	0,036	16,56	0,66
Колектор ХТЗ, шахта № 4	1971	1,98	0,066	76,07	2,24
Колектор ХТЗ, шахта № 6	1971	3,50	0,025	14,54	0,43
Колектор ХТЗ, шахта № 8	1971	4,10	0,016	9,13	0,27
Ріг вул. Забайкальської та вул. Ньютона	1963	3,05	0,0337	29,19	0,69
м. Сімферополь					
Гагарінський парк	1966	3,25	0,029	22,36	0,56
Гагарінський парк, буд. 19	1978	3,17	0,031	16,53	0,59
вул. Мічурінська	1965	2,22	0,059	95,50	2,33
Медінститут, 1	1952	3,33	0,028	27,52	0,51
Медінститут, 2	1960	2,97	0,036	29,20	0,63
Автобаза, Мармурова, 46	1983	3,14	0,032	15,43	0,67
Головний колектор, Богданівка	1965	3,71	0,021	15,85	0,39
Головний колектор, навпроти РУС	1965	3,68	0,022	14,31	0,35

Розроблено математичну модель виділення сірководню в атмосферу підсклепінного простору при експлуатації самопливних каналізаційних трубопроводів. Моделювання процесу утворення сульфідів у біоплівці лоткової частини колектора і відкладеннях, переходу сульфідів у потік стічних вод, біохімічних і фізико-хімічних перетворень сульфідів у потоці стічних вод з наступною емісією H_2S в підсклепінний простір колектора містить у собі моделювання: процесу аеробного росту гетеротрофної біомаси в потоці стічних вод та в біоплівці лоткової частини; процесу споживання субстрату, що піддається біохімічним перетворенням, і продуктів цих процесів в енергетичному метаболізмі мікроорганізмів; процесу аеробної й анаеробної гідролізації; процесу біохімічних трансформацій; процесу утворення сульфідів; процесу хімічного і біологічного окиснювання сульфідів у потоці стічних вод і в біоплівці лоткової частини, процесу емісії сульфідів у підсклепінний простір колектора через поверхню розподілу фаз; процесу реаерації кисню з атмосфери колектора; гідродинамічного режиму плинну стічної рідини в самопливному колекторі. В якості основних змінних приймали: концентрацію розчиненої органічної речовини у вигляді: субстрату, що піддається біохімічним перетворенням S_F (г ХСК/м³); субстрату у вигляді продуктів цих перетворень S_A (г ХСК/м³); субстратів, які швидко X_{S1} і повільно X_{S2} гідролізуються (г ХСК/м³); сумарну концентрацію розчинених сульфідів $S_{S(-II)}$ (H_2S , HS^- , S^{2-}), г S/м³; концентрацію розчиненого кисню S_{O_2} , г O_2 /м³; поверхневу концентрацію біомаси гетеротрофних мікроорганізмів у складі біоплівки X_{BF} (г ХСК/м²) і у стічній рідині X_{BW} (г ХСК/м³), концентрацію H_2S в атмосфері колектора S_{A,H_2S} (г S/м³).

Модель руху стічної рідини з одночасним утворенням сульфідів та наступним їх окиснюванням, перетворенням органічного субстрату, кисню, завислої біомаси мікроорганізмів за довжиною самопливного колектора представляється у режимі ідеального витіснення. Для спрощення задачі розглядаються стаціонарні умови протікання фізики-хімічних та біохімічних процесів, тобто $\partial S / \partial \tau = 0$, $\partial X / \partial \tau = 0$, $\partial S_{A,H_2S} / \partial \tau_A = 0$. При цьому в рівняннях використовували незалежні безрозмірні змінні $z = x/l$, $\tau = t/T$, $\tau_A = t/T_A$; де l - довжина даної ділянки колектору, м; T - час перебування стічних вод на даній ділянці колектору, с; T_A - час перебування повітряного потоку на даній ділянці колектору, с. $T = l/V$, $T_A = l/V_A$, де V - середня швидкість течії стічної рідини, м/с; V_A - середня швидкість руху потоку повітря в підсклепінному просторі, приймається (0,15-0,3) V , м/с.

Тоді система рівнянь має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial S_F}{\partial z} = (-r_{S_F W} - r_{S_F BF} - r_M + r_{AF} + r_{AS} + r_{ANF} + r_{ANS} - r_F) T; \quad \frac{\partial S_A}{\partial z} = r_F T; \\ \frac{\partial X_{S1}}{\partial z} = (-r_{AF} - r_{ANF}) T; \quad \frac{\partial X_{S2}}{\partial z} = (-r_{AF} - r_{ANF}) T; \quad \frac{\partial X_{X_{BW}}}{\partial z} = (r_{HW} + r_{HBF}) T; \\ \frac{\partial S_{S(-II)}}{\partial z} = (r_{S(-II)} - r_{CH.OX} - r_{B.OX} - r_{B.OX.BF} - r_{EM}) T; \\ \frac{\partial S_{O_2}}{\partial z} = (-r_{OXHW} - r_{OXHBF} - r_M - r_{OX.CH} - r_{OX.B} - r_{OX.BF} + r_{RAO_2}) T; \quad \frac{\partial S_{A,H_2S}}{\partial z} = (r_{EM} - r_{AD.OX}) T_A. \end{array} \right.$$

(6)

де $r_{S_F W}$ - швидкість вилучення субстрату гетеротрофними організмами в потоці стічних вод, г ХСК/м³·с; $r_{S_F BF}$ - швидкість вилучення субстрату гетеротрофними організмами в складі біоплівки, г ХСК/м³·с; r_M - швидкість споживання субстрату, який піддається біохімічним трансформаціям, г ХСК/м³·с; r_{AF} , r_{AS} - швидкість надходження субстрату в процесі швидкої та повільної аеробної гідролізації, г ХСК/м³·с; r_{ANF} , r_{ANS} - швидкість надходження субстрату в процесі швидкої та повільної анаеробної гідролізації, г ХСК/м³·с; r_F - швидкість вилучення субстрату в процесі біохімічних трансформацій, г ХСК/м³·с; r_{HW} , r_{HBF} - швидкість росту концентрації гетеротрофних мікроорганізмів в стічній рідині та у складі біоплівки, г ХСК/м³·с; $r_{S(-II)}$ - швидкість утворення сульфідів в біоплівці та відкладеннях лоткової частини колекторів, г S/м³·с; $r_{CH.OX}$ - швидкість хімічного окислення сульфідів в потоці стічних вод, г S/м³·с; $r_{B.OX}$ - швидкість біологічного окислення сульфідів в потоці стічних вод, г S/м³·с; $r_{B.OX.BF}$ - швидкість окислення сульфідів в біоплівці лоткової частини, г S/м³·с; r_{EM} - швидкість емісії сульфідів в підсклепінневий простір колектора, г S/м³·с; $r_{OX.HW}$ - швидкість вилучення розчиненого кисню в потоці стічних вод, г O₂/м³; $r_{OX.HBF}$ - швидкість вилучення розчиненого кисню в процесі аеробного росту біомаси в біоплівці, г O₂/м³; $r_{OX.CH}$, $r_{OX.B}$ - швидкість вилучення розчиненого кисню в процесі хімічного і біологічного окислення сульфідів в потоці стічних вод, г O₂/м³; $r_{OX.BF}$ - швидкість вилучення розчиненого кисню в процесі окислення сульфідів в межах біоплівки лоткової частини, г O₂/м³; r_{RAO_2} - швидкість надходження розчиненого кисню в процесі реаерації з атмосфери колектора, г O₂/м³; r_{EM} - швидкість надходження сірководню з потоку стічних вод за рахунок емісії, г S/м³·с; $r_{AD.OX}$ - швидкість вилучення сірководню в результаті біохімічних і фізико-хімічних процесів на поверхні склепіння колектора, г S/м³·с.

На основі натурних досліджень складу стічних вод на різних ділянках самопливних залізобетонних колекторів були визначені осереднені за часом граничні умови, яким відповідають певне наповнення колектору і середня швидкість течії стічної рідини:

$$\begin{cases} S_F = S_F^0; S_A = S_A^0; X_{S1} = X_{S1}^0; X_{S2} = X_{S2}^0; \\ X_{BW} = X_{BW}^0; S_{S(-II)} = S_{S(-II)}^0; S_{O_2} = S_{O_2}^0; S_{A.H_2S} = S_{A.H_2S}^0. \end{cases} \quad \text{при } z=0, \quad (7)$$

S_F^0 , S_A^0 , X_{S1}^0 , X_{S2}^0 , X_{BW}^0 , $S_{S(-II)}^0$, $S_{O_2}^0$, $S_{A.H_2S}^0$ - відповідні концентрації в стічній рідині на початку даної ділянки колектора.

Рішення цієї системи надало рівняння для розрахунку основних змінних та швидкостей процесів (наведених вище) за довжиною ділянки колектора, що відбуваються в самопливних каналізаційних колекторах. Концентрацію H₂S в атмосфері підсклепінневого простору можна розрахувати за рівнянням:

$$\begin{aligned} r_{S_{A.H_2S}} = r_{EM} - r_{AD.OX} = a_1 \cdot \left(0,86 \cdot \left(1 + 0,2 \frac{V^2}{gh_{mean}} \right) \cdot (iV)^{3/8} \right) \cdot (h_{mean})^{-1} \cdot b \cdot k_{pH} \times \\ \times \left(S_{S(-II)} - \frac{S_{A.H_2S} \beta}{k_{pH} C_{H.W/A.H_2S}} \right) \cdot a_T^{T-20} - k_{AD.OX} \alpha_A \cdot \left(\frac{S_{A.H_2S}}{K_{S_{A.H_2S}} + S_{A.H_2S}} \right) \cdot a_t^{T-20} \quad (8) \end{aligned}$$

де a_1 – коефіцієнт, що враховує масоперніс H_2S через коефіцієнт масопереносу кисню, 0,86; V – середня швидкість течії стічної рідини, м/с; g – прискорення сили ваги, м/с²; h_{mean} – середня гідравлічна глибина; i – ухил колектору, b – коефіцієнт, що враховує вплив фізико-хімічного складу стічної рідини на масоперенос сірководню в порівнянні з чистою водою; k_{pH} – коефіцієнт, що враховує частку сірководню із загальної кількості розчинених сульфідів у залежності від pH; $S_{S(-II)}$ – сумарна концентрація розчинених сульфідів, г S/м³; $S_{A.H_2S}$ – концентрація сірководню в атмосфері колектора, г S/м³; β – коефіцієнт, що враховує вплив фізико-хімічного складу стічних вод на концентрацію насичення сірководню; $C_{H.W/A.H_2S}$ – безрозмірне значення константи закону Генрі (м³ водної фази/м³ газової фази) для сірководню; T – температура стічної рідини, °C; $k_{AD.OX}$ – максимальна поверхнева швидкість адсорбції сірководню з атмосфери колектора в плівці конденсатної вологи й окислення в біоплівці тіоновими мікроорганізмами на склепінні колектора, г S(м²·с)⁻¹; α_A – питома площа поверхні плівки конденсатної вологи і біоплівки на склепінні колектора, м⁻¹; $K_{S_{A.H_2S}}$ – константа напівнасичення за газоподібним сірководнем, г S/м³; a_t – температурний коефіцієнт, 1,034.

Рішення системи звичайних диференціальних рівнянь шукали чисельно методом Рунге-Куты (рис. 8). Як видно з даних рис. 8, концентрація H_2S в атмосфері підсклепінного простору на ділянці 100 м змінюється за різними залежностями: при концентрації розчинених сульфідів у воді на початку ділянки від 1 до 15 г S/м³ – викид H_2S відбувається спочатку, після чого концентрація повільно збільшується, при концентрації розчинених сульфідів більше 15 г S/м³ – концентрація сірководню в атмосфері підсклепінного простору стабільно збільшується на всій ділянці колектору. При концентрації розчинених сульфідів у воді від 1 до 15 г S/м³ концентрація H_2S в атмосфері підсклепінного простору складає від 0,034 до 31,0 мг/м³, 20 г S/м³ – 63,9 мг/м³.

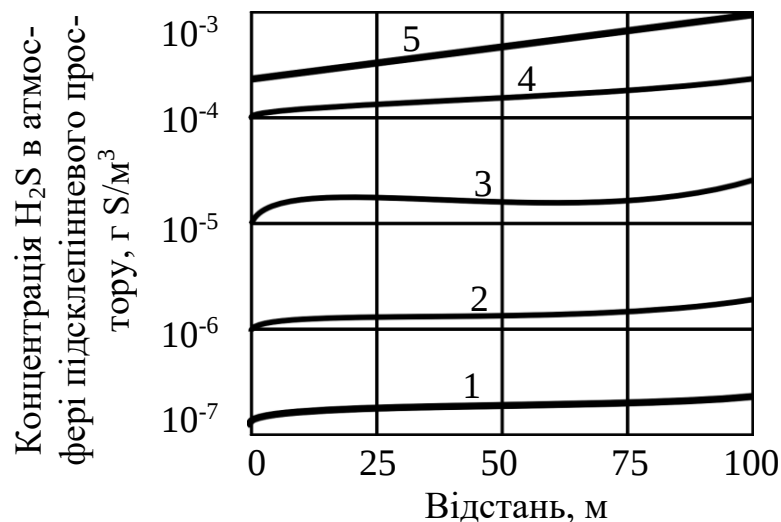


Рис. 8. Динаміка концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору в залежності від довжини ділянки колектору при концентрації розчинених сульфідів у стічній воді: 1 - 1, 2 - 5, 3 - 10, 4 - 15 і 5 - 20 г S/м³

Запропоновано метод розрахунку очікуваної концентрації H_2S в атмосфері підсклепінного простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів осередненої за великий проміжок часу. Він базується на наступних положеннях:

- виміри, проведені за допомогою корозиметра бетону на бетоні, який уражений біогенною сірчаною кислотою, дозволяють визначити швидкість корозії й об'єм прокородованого бетону;
- маса прокородованого бетону пропорційна масі сірчаної кислоти, що впливала на бетон протягом визначеного часу;
- весь сірководень, що перейшов з атмосфери підсклепінного простору в плівкову вологу на склепінні окислюється у сірчану кислоту (частина якої реагує з цементними гідратами і дифундує в товщу бетону, а інша частина стікає склепінням в лоткову частину трубопроводу).

Алгоритм розрахунку очікуваної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів, осередненої за великий проміжок часу, у вигляді схеми наведено на рис. 9.

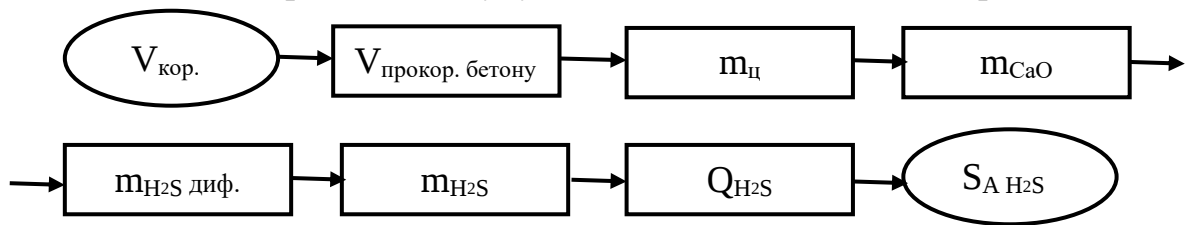


Рис. 9. Алгоритм розрахунку очікуваної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору

Очікувану середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері підсклепінного простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів визначали за наступною підсумковою формулою:

$$S_{\text{A H}_2\text{S}} = \frac{V_{\text{кор}} \cdot S_{\text{підск.пр.}} \cdot M_{\text{H}_2\text{S}} m_{\text{ц}}}{M_{\text{CaO}} W_{\text{A}} \cdot \beta} \cdot \frac{\delta \cdot a \cdot b}{c \cdot k} \quad (9)$$

де $V_{\text{кор}}$ – швидкість корозії бетону, мм/рік; $S_{\text{підск.пр.}}$ – площа підсклепінного простору колектору, м^2 ; $M_{\text{H}_2\text{S}}$ і M_{CaO} – молекулярні маси H_2S і оксиду кальцію відповідно, кг; $m_{\text{ц}}$ – маса цементу, що необхідна для приготування 1 м^3 бетону, кг; W_{A} – об'єм атмосфери підсклепінного простору, м^3 ; β – коефіцієнт масопереносу H_2S , діб^{-1} ; δ – частка CaO в цементі, що вступив в реакцію з H_2SO_4 на конкретній ділянці каналізаційного трубопроводу, долі, 0,6; a – перерахунковий коефіцієнт кг/мг , 10^6 ; b – коефіцієнт, який враховує стікання частини H_2SO_4 зі стін колектору в стічну воду, 1,2; c – перерахунковий коефіцієнт рік/діб , 365; k – перерахунковий коефіцієнт мм/м , 1000.

Результати розрахунку концентрації H_2S в атмосфері ділянок каналізаційної мережі з допомогою розглянутих методів за середньорічними даними вимірювань концентрації H_2S в стічній воді та рН бетону склепінневої частини представлено в табл. 2. Для оцінки їх відповідності реальній концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору наведено середньорічні дані інструментального вимірювання цього показника.

Як свідчать дані табл. 2, найточніше оцінити стан атмосфери каналізаційних колекторів дозволяє розроблена математична модель та метод розрахунку середньорічної концентрації сірководню з використанням даних вимірювань за допомогою корозиметра бетону. Для розрахунку середньорічної концентрації H_2S за допомогою математичної моделі необхідний великий обсяг вихідних даних (концентрація органічної речовини, концентрація сірководню у воді, рН стічної води, заповнення колектора і т.д.), що ускладнює застосування математичної моделі в повсякденних визначеннях. Використання корозиметра бетону дозволяє достатньо точно оцінити середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері підсклепінного простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів, не вимагаючи при цьому вимірювання великої кількості параметрів.

З використанням даних інструментальних вимірювань виконано електронне картографування каналізаційної мережі м. Харкова за концентрацією сірководню в атмосфері підсклепінного простору та в стічній воді.

В якості заходу, що підвищує експлуатаційну довговічність залізобетонних каналізаційних трубопроводів, досліджено їх захист органічними та неорганічними гідроізоляційними матеріалами (54 зразки). Ефективність захисту (експлуатаційну довговічність захисних покриттів) оцінювали в експериментальних дослідженнях за допомогою корозиметра бетону. Паралельно розраховували концентрацію сірководню в атмосфері підсклепінного простору каналізаційних колекторів, при якій вказані покриття забезпечать надійну експлуатацію споруд протягом 10 років (рис. 10).



Рис. 10. Концентрація H_2S в атмосфері підсклепінного простору залізобетонних каналізаційних трубопроводів, при якій досліджуване покриття надійне більш 10 років

Як видно з даних рис. 10, в умовах підвищеної агресивності середовища (концентрація H_2S в атмосфері $\geq 100 mg/m^3$) найефективніше підвищення залишкового ресурсу залізобетонних каналізаційних колекторів забезпечать покриття VMX-Базальт-2, Графпласт-2, органічні покриття з поліетилену, поліуретану, ФЛК-2 і STO Pox KU180.

Таблиця 2

Результати розрахунків концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору
каналізаційних трубопроводів різними методами

Ділянка відбору проби	Дані хімічного аналізу експлуатаційних середовищ			Концентрація H_2S в атмосфері (mg/m^3), розрахована за різними методиками, та її відхилення (%) від реальної концентрації					
	Середньорічна концентрація H_2S у воді, mg/dm^3	Середньорічна концентрація H_2S в атмосфері, mg/m^3	pH бетону	За методикою для очисних споруд (Мосводоканал)	Відхилення	За розробленою математичною моделлю	Відхилення	За розробленим методом на підставі даних вимірювання за допомогою корозиметра бетону	Відхилення
кол-р ХТЗ, шахта № 4	18,6	198,0	1,98	130,7	51,5	202,1	17,2	209,0	5,6
кол-р ХТЗ, шахта № 5	12,0	20,0	3,7	12,9	55,0	23,4	25,0	17,5	14,3
кол-р ХТЗ, шахта № 6	13,0	30,6	3,50	18,1	69,1	34,0	11,1	33,2	8,5
кол-р ХТЗ, шахта № 8	6,6	10,5	4,10	6,0	75,0	10,3	26,5	12,5	19,0
кол-р ХТЗ, шахта № 10	8,46	62,4	3,20	43,4	43,8	58,5	14,3	60,1	3,8
кол-р ХТЗ, шахта № 12	31,0	239,7	1,93	150,8	59,0	238,3	19,1	251,0	4,7
Ріг вул. Забайкальської та вул. Н'ютона	15,3	60,0	3,05	48,4	24,0	66,0	10,0	62,4	4,0

В шостому розділі наведено аналіз техніко-економічної ефективності контролю факторів експлуатаційної довговічності залізобетонних трубопроводів водовідведення за допомогою корозиметру бетону (проекту «Корозиметр бетону»). Проведені розрахунки показали, що інвестування проекту «Корозиметр бетону» є привабливим для інвесторів. Величина чистого приведенного доходу до кінця реалізації проекту 5 років складає 2,86 тис. грн. (1 пристрій), а термін його окупності - 1,47 року, внутрішня норма прибутковості перевищує 50%, що свідчить про стійкість проекту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили науково обґрунтувати та розробити методи оперативного інструментального визначення показників експлуатації водовідвідних споруд із залізобетону. При проведенні досліджень отримано наступні результати:

1. Виконаний аналіз проблем надійності водовідведення залізобетонними каналізаційними трубопроводами показав, що основними параметрами, які необхідно контролювати для забезпечення безаварійної експлуатації цих споруд є глибина та швидкість корозії, а також середньорічна концентрація сірководню в атмосфері підсклепінневого простору. Методи оперативного інструментального контролю швидкості корозії залізобетонних трубопроводів водовідведення практично відсутні.
2. Удосконалено та сертифіковано пристрій – корозиметр бетону – для оперативної неруйнуючої діагностики стану залізобетонних конструкцій водовідведення, що знаходяться в умовах біогенної сірчаноокислотної агресії, та визначення середньорічної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору. Обґрунтовано вимоги до вимірювального приладу, конструкції вимірювального електроду й електроду порівняння, та виготовлено їх в небитких корпусах.
3. Експериментально встановлені кінетичні показники біогенної сірчаноокислотної корозії бетону - коефіцієнт дифузії біогенних кислот та величина дифузії біогенних кислот за фронт корозії – від параметрів експлуатаційних середовищ в каналізаційних мережах.
4. Експериментально встановлено, що протягом доби, місяця та року коливання концентрації сірководню в атмосфері ділянок каналізаційних мереж м. Харкова відбувається в дуже широкому діапазоні. Виконано електронне картографування мереж водовідведення м. Харкова за осередненою концентрацією сірководню в експлуатаційних середовищах (стічній воді, атмосфері підсклепінневого простору) та глибиною корозійного ураження бетону.
5. Розроблено математичну модель накопичення сірководню в атмосфері підсклепінневого простору на ділянках каналізаційних колекторів, яка враховує кінетику його мікробіологічного утворення в стічній воді, осадження, фізико-хімічні та гідродинамічні умови, емісію в атмосферу та ін.
6. Розроблено метод оперативної інструментальної оцінки середньорічної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору залізобетонних каналізаційних мереж, осередненої за великий проміжок часу, який базується

на даних вимірювань, виконаних за допомогою корозиметра бетону. Шляхом порівняння декількох методів розрахункового прогнозу середньорічної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору показано, що серед апробованих цей метод є не тільки найбільш точним, але і найменш працевитратним.

7. В експериментальних дослідженнях обґрунтовано вибір гідроізоляційних матеріалів для підвищення експлуатаційної довговічності залізобетонних каналізаційних трубопроводів з урахуванням конкретних експлуатаційних умов на ділянках каналізаційних мереж (концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору), а також технічних і економічних можливостей підприємства.
8. Виконано економічний аналіз проекту «Корозиметр бетону». Проведені розрахунки показали, що інвестування проекту «Корозиметр бетону» є привабливим для інвесторів. Термін окупності проекту - 1,47 року, внутрішня норма прибутковості перевищує 50%, що свідчить про стійкість проекту.
9. Результати дисертаційної роботи впроваджено при обстеженні діючих каналізаційних мереж міст Харкова та Сімферополя.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Статті у наукових виданнях

1. Юрченко В.А. Исследование эффективности биоцидных воздействий на возбудителей микробиологической коррозии в трубопроводах водоотведения / В.А. Юрченко, А.А. Петков, Е.В. Бригада // Вісник Одеського національного університету. - 2001. – Т. 6. – Вип. 2. - С. 365-368.
Особистий внесок автора: експериментальні дослідження ефективності інгібуючого впливу фізичних біоцидних впливів на тіонові бактерії.
2. Юрченко В.А. Мікробіологічна корозія бетону у спорудах водовідведення / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Л.В. Ломоносова // Біологія та валеологія. Зб. наук. праць. Вип. 5. – Харків: ХДПУ. - 2002. – С. 159-163.
Особистий внесок автора: експериментальні дослідження концентрації сірководмісних сполук в зразках бетону з каналізаційних мереж м. Харкова.
3. Юрченко В.А. Микробиологический генезис токсичных газообразных выбросов из канализационных сетей / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Вісник біології і медицини. – 2002. – Вип. 6. – С. 59-61.
Особистий внесок автора: визначено основні процеси, що призводять до утворення токсичних газоподібних сполук в мережах водовідведення.
4. Коринько И.В. Борьба с возбудителями микробиологической коррозии бетона трубопроводов водоотведения с помощью химических биоцидных воздействий / И.В. Коринько, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Е.Н. Гончарова // Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Техника. – 2002. – Вып. 42. – С. 61-63.
Особистий внесок автора: експериментально визначено ефективність біоцидних впливів на мікробіологічну корозію бетонних трубопроводів.
5. Юрченко В.А. Влияние экологических условий на активность микробиологической сернокислотной коррозии бетона / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, С.В. Свергузова // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков, 2002. – Вып. 19. - С. 73-75.

Особистий внесок автора: експериментальні дослідження хімічного складу бетону, ураженого біогенною сірчаноокисlotною агресією.

6. Шеренков И.А. Влияние экологических факторов на эксплуатационную долговечность бетонных трубопроводов водоотведения / И.А. Шеренков, О.В. Архипов, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2007. – Вип. 43. – С. 292-295.

Особистий внесок автора: експериментальні дослідження хімічного складу бетону.

7. Юрченко В.А. Оперативний і неруйнуючий контроль надійності бетонних споруд водовідведення, що знаходяться під впливом біогенної кислотної корозії / В.А. Юрченко, О.В. Бригада // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету – 2008. - № 81. – С. 65-69.

Особистий внесок автора: корозиметр бетону апробовано в мережах водовідведення м. Харкова та м. Сімферополя.

8. Юрченко В.А. Химический состав газообразных выбросов из канализационных сетей / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, А.Ю. Бахарева // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип. 46. – С. 223-227.

Особистий внесок автора: визначено основні газоподібні сполуки, які спричиняють екологічні проблеми для навколишнього середовища, та процеси, що призводять до утворення цих сполук.

9. Коринько И.В. Влияние подтопления участков канализационных сетей транспортируемыми стоками на эксплуатационную долговечность бетонных трубопроводов / И.В. Коринько, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип. 49. – С. 87-91.

Особистий внесок автора: експериментальні дослідження щодо впливу підтоплення на агресивність середовища на поверхні бетону споруд водовідведення.

10. Юрченко В.А. Повышение долговечности и экологической безопасности бетонных трубопроводов водоотведения / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Е.К. Лобкова, А.В. Смирнов // Экология и промышленность. - 2008. - Вып. 4. – С. 49-53.

Особистий внесок автора: експериментальні дослідження щодо надійності захисних покриттів різного складу в захисті бетону каналізаційних мереж від біогенної сірчаноокисlotної корозії.

11. Юрченко В.А. Превращение азотсодержащих соединений при транспортировке и биологической очистке сточных вод / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Л.Н. Котенко, О.В. Степанов, А.В. Смирнов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2009. – Вип. 54. – С. 323-326.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу стічних вод.

12. Юрченко В.А. Экологическая опасность азотсодержащих соединений в транспортируемых и очищенных сточных водах / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Л.Н. Котенко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сб. науч. тр. – 2010. – Вип. 48. – С. 99-102.

Особистий внесок автора: експериментальне визначення концентрації азотвмісних сполук в стічних водах.

13. Юрченко В.А. Влияние противоморозных добавок в бетон на экологическую безопасность зданий / В.А. Юрченко, О.В. Бригада // Проблемы розвитку міського середовища: Наук.-техн. зб. - К.: НАУ, 2012. - Вип. 7. - С. 304-311.

Особистий внесок автора: експериментальне дослідження бетону.

14. Юрченко В.О. Проблема забруднення придорожного простору та схеми відведення та очищення стоків з автомобільних доріг та мостових переходів / В.О. Юрченко, В.К. Вирожемський, О.В. Бригада, М.В. Коротченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - 2012. - Вип. 83. - С. 22-29.

Особистий внесок автора: експериментальне визначення складу стічних вод та стану бетону мостових переходів.

Матеріали конференцій

15. Юрченко В.А. Происхождение и химический состав коррозионно-агрессивных эксплуатационных сред в сетях водоотведения / В.А. Юрченко, И.В. Коринько, Б.К. Зеленский, Е.В. Бригада // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. Том 4. Сб. науч. тр. XI (ежегодной) междунар. науч.-техн. конф., Бердянск, 9-13 июня 2003 г., 2003. - С. 875-880.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу стічних вод і бетону залізобетонних трубопроводів водовідведення.

16. Юрченко В.А. / Техногенная безопасность водоотведения / В.А. Юрченко, Г.П. Головкин, Е.В. Бригада // Тез. доп. науч.-метод. конф. «Безпека життєдіяльності». - Харків. - 2003. - С. 57-58.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу бетону.

17. Пилиграмм С.С. Методология комплексной диагностики и прогноза надежности бетонных сетей водоотведения / С.С. Пилиграмм, Б.К. Зеленский, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Общие тематические сообщения, выступления и рекомендации междунар. практ. семинара «Интеграция в Европейский Союз через экологические форму общественных инициатив» (EFSI-2005), Харьков 25 октября 2005 г., Харьков. - 2005. - С. 51-53.

Особистий внесок автора: корозиметр бетону апробовано в мережах водовідведення м. Харкова.

18. Юрченко В.А. Защита бетона от биогенной сернокислотной агрессии в сетях водоотведения покрытием барьерного типа VMX-Базальт / В.А. Юрченко, В.В. Ефанова, Е.В. Бригада // Екологічні проблеми водного та повітряного басейнів. Утилізація відходів / Зб. наук. праць XIV міжнар. наук.-практ. конф. // Під ред. С.В. Разметаева. - Х.: УкрВОДГЕО, 2006. - С. 208-215.

Особистий внесок автора: експериментальні дослідження щодо надійності захисних покриттів в захисті бетону мереж водовідведення від біогенної сірчанокислотної корозії.

19. Юрченко В.А. Экологически опасные газообразные соединения в сетях водоотведения / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Е.К. Лобкова, Е.А. Василенко // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии (XVIII научные чтения). Сб. докл. Ч. 5. Инженерная защита окружающей среды, Белгород, 18-19 сентября 2007 г. - Белгород. - С. 240-244.

Особистий внесок автора: визначено основні газоподібні сполуки, які спричиняють проблеми для мереж водовідведення.

20. Бригада Е.В. Определение кинетических характеристик биогенной коррозии бетона / Е.В. Бригада, А.В. Смирнов // Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и аспирантов. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – С. 315-320.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу бетону.

21. Юрченко В.А. Ресурсозбереження як умова сталого функціонування систем водовідведення мегаполісів України / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, А.В. Смирнов // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. науч. тр. XVI междунар. науч.-техн. конф. // Под ред. В.Ф. Костенко, Д.Н. Почепецкого, С.В. Разметаева, Бердянск, 9-13 июня 2008 г., Харьков, УкрВОДГЕО. – 2008. – С. 46-51.

Особистий внесок автора: запропоновано заходи щодо підвищення експлуатаційної довговічності залізобетонних трубопроводів водовідведення в залежності від швидкості корозії.

22. Контроль превращений азотсодержащих соединений при транспортировке и биологической очистке сточных вод / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Л.Н. Котенко, А.В. Смирнов, Ж.В. Светличная, А.В. Астапова, Л.П. Трусова // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. науч. тр. XVII (ежегодной) междунар. науч.-техн. конф. // Под ред. В.Ф. Костенко, А.И. Абрамовича, Д.Н. Почепецкого, Алуста, 8-12 июня 2009 г., Харьков, УкрВОДГЕО. – 2009. – С. 152-158.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу стічних вод.

23. Юрченко В.А. Экспериментальное определение кинетических констант биогенной сернокислотной коррозии бетона / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Л.Н. Котенко // Эколого-правовые и экономические аспекты техногенной безопасности регионов. Материалы IV междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – С. 151-154.

Особистий внесок автора: експериментальне визначення коефіцієнту дифузії в бетон при біогенній сірчаноокислотній агресії.

24. Юрченко В.А. Экспериментальное определение коэффициента диффузии протонов в бетоне при биогенной сернокислотной агрессии / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений: Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 3-4 декабря 2009 г. / БГТУ. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2009. – С. 53-58.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу бетону.

25. Юрченко В.О. Забезпечення сталого функціонування систем водовідведення в мегаполісах України / В.О. Юрченко, О.В. Бригада // Зб. ст. учасників V Всеукраїнської наук.-практ. конф. „Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України. Запоріжжя 10-11 грудня, 2009. – С. 59-62.

Особистий внесок автора: проведено діагностику стану залізобетонних споруд водовідведення за допомогою корозиметра бетону.

26. Юрченко В.А. Моделирование процесса эмиссии сероводорода в самотечных канализационных коллекторах / В.А. Юрченко, О.В. Архипов, Е.В. Бригада // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. науч. тр. XVII (ежегодной) междунар. науч.-техн. конф. // Под ред. В.Ф. Костенко, А.И. Абрамовича, Бердянск, 7-11 июня 2010 г., Харьков, УкрВОДГЕО. - 2010. – С. 279-286.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу стічних вод.

27. Юрченко В.А. Инструментальные методы количественной оценки накопления сероводорода в атмосфере подсводового пространства канализационных коллекторов / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. науч. тр. XIX (ежегодной) междунар. науч.-техн. конф. // Под ред. В.Ф. Костенко, Д.Н. Почепецкого, Бердянск, 7-11 июня 2011 г., Харьков, УкрВОДГЕО. – 2011. – С. 470-475.

Особистий внесок автора: розроблено метод розрахунку середньорічної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінневого простору залізобетонних колекторів з використанням корозиметра бетону.

28. Юрченко В.А. Методы количественной оценки среднегодовой концентрации сероводорода в атмосфере подсводового пространства канализационных коллекторов / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада // Сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. «Экология – образование, наука, промышленность и здоровье», 15-18 ноября 2011. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. - Ч. 1. - С. 285-287.

Особистий внесок автора: визначення хімічного складу стічних вод.

29. Юрченко В.А. Использование разрушающих и неразрушающих методов диагностики для контроля состояния бетонных сооружений - технических объектов гидросферы / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Ю.А. Егорова // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. науч. тр. XX (ежегодной) междунар. науч.-техн. конф. // Под ред. В.Ф. Костенко, Д.Н. Почепецкого, Бердянск, 11-15 июня 2012 г., Харьков, УкрВОДГЕО. – 2012. - С. 128-133.

Особистий внесок автора: проведено контроль стану бетону за допомогою корозиметра бетону.

Патент

30. Патент № 84931 МПК 2006 G01F 23/28 України. Пристрій для визначення параметрів стану споруд із бетону, які зазнають впливу сірчаноокислої агресії "Корозиметр бетону" / В.А. Юрченко, І.В. Корінько, В.Г. Михайленко, О.М. Коваленко, С.С. Піліграм, Б.К. Зеленський, О.В. Бригада, П.І. Онацький, Д.Є. Борісевич (Україна). - а 200613363. Заявл. 18.12.2006. Опубл. 25.06.2008. Бюл. № 12. - 8 с.

Особистий внесок автора: експериментальне встановлення залежності між вимірними величинами.

АНОТАЦІЯ

Бригада О.В. Моніторинг показників експлуатації водовідвідних споруд із залізобетону. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.04 - водопостачання, каналізація. – Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2013.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального питання – розробці методів оперативної діагностики експлуатаційних показників відведення стічних вод для попередження відмов на діючих залізобетонних каналізаційних колекторах.

Експериментально встановлені залежності кінетичних показників біогенної корозії бетону – коефіцієнта дифузії біогенних кислот в бетон та величину їх дифузії за фронт корозії – від параметрів експлуатаційних середовищ в каналізаційних мережах. Удосконалено, сертифіковано та апробовано на діючих мережах водовідведення корозиметр бетону – пристрій для оперативної неруйнуючої діагностики стану бетону трубопроводів водовідведення. Розроблено математичну модель накопичення сірководню в атмосфері підсклепінного простору при експлуатації самопливних каналізаційних трубопроводів. Розроблено метод оперативної інструментальної оцінки середньорічної концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору. Виконано картографування каналізаційних мереж м. Харкова за накопиченням сірководню в експлуатаційних середовищах: стічній воді, атмосфері підсклепінного простору, а також глибини корозійного ураження.

Ключові слова: залізобетонні колектори, експлуатаційна довговічність, сірководень, біогенна сірчаноокислотна агресія, корозиметр бетону, глибина корозії, математичне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Бригада Е.В. Мониторинг показателей эксплуатации водоотводящих сооружений из железобетона. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 - водоснабжение, канализация. - Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена решению актуального вопроса – разработке методов оперативной диагностики эксплуатационных показателей отведения сточных вод для предупреждения отказов на действующих железобетонных канализационных коллекторах. Выполнен анализ современного состояния проблем эксплуатации железобетонных канализационных трубопроводов в условиях образования агрессивных эксплуатационных сред. Определено, что наибольшие эксплуатационные и экологические проблемы для надежности водоотведения возникают вследствие накопления сероводорода, его производных и продуктов окисления в эксплуатационных средах канализационных сетей: сточной воде, в атмосфере подсводового пространства трубопроводов и конденсатной влаге на бетонном своде. Детально исследованы отечественные и зарубежные методы диагностики и неразрушающего контроля состояния железобетонных сооружений водоотведения. Отмечено, что методы оперативного не-

разрушающего инструментального контроля скорости коррозии бетонных и железобетонных трубопроводов водоотведения практически отсутствуют.

Усовершенствовано и сертифицировано устройство - коррозиметр бетона - для оперативного неразрушающего контроля состояния бетонных трубопроводов водоотведения. На основании экспериментальных исследований обоснован выбор материала для измерительных электродов коррозиметра бетона и охарактеризованы особенности конструкции электродов, а также измерительного блока для коррозиметра бетона. Экспериментально установлены зависимости кинетических показателей биогенной коррозии бетона - коэффициента диффузии биогенных кислот в бетон и величины диффузии биогенных кислот за фронт коррозии – от параметров эксплуатационных сред в канализационных сетях.

При помощи коррозиметра бетона проведены натурные обследования состояния канализационных сетей г. Харькова (19 объектов) и г. Симферополя (8 объектов). На основании результатов обследования рассчитаны: глубина диффузии биогенных кислот, глубина диффузии биогенных кислот за фронт коррозии, а также скорость коррозии.

Разработана математическая модель накопления сероводорода в атмосфере подсводового пространства железобетонных канализационных коллекторов и метод инструментальной оценки концентрации сероводорода в атмосфере подсводового пространства, осредненной за большой период времени. Выполнено картографирование канализационных сетей г. Харькова по накоплению сероводорода и его производных в эксплуатационных средах: растворенного сероводорода в сточных водах, газообразного сероводорода в атмосфере подсводового пространства, а также глубины (диффузии серной кислоты) коррозионного поражения железобетонных канализационных коллекторов.

Ключевые слова: железобетонные коллектора, эксплуатационная долговечность, сероводород, биогенная сернокислотная агрессия, коррозиметр бетона, глубина коррозии, математическое моделирование.

SUMMARY

Brygada O.V. - Monitoring of parameters of operation of water removal constructions from reinforced-concrete. – Manuscript.

The thesis is submitted to obtain the Candidate of technical science degree on the specialty 05.23.04 – water supply, sewerage. Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov, 2013.

Dissertation is devoted to the actual task - to development of operative diagnostic methods of operational parameters of sewage removal for the prevention of refusals on operating reinforced-concrete sewer collectors. Dependences of kinetic parameters of concrete biogenic corrosion - diffusion coefficient of biogenic acids in concrete and diffusion its rate of biogenic acids for front of corrosion - from parameters of operational environments in sewer networks are established experimentally. The concrete corrosion-meter - the device for operative nondestroying diagnostic of reinforced-concrete wastewater pipelines – was improved, certified and tested at the working sewage system.

The mathematical model of the accumulation of hydrogen sulfide in the under crown atmosphere space during the maintenance of gravity sewer pipelines is developed. The method of operative instrumental estimation of mid-annual concentration of hydrogen sulfide in the under crown atmosphere space is developed. The mapping of sewer networks in Kharkov for the accumulation of hydrogen sulphide in operational environments: waste water, under crown atmosphere space and corrosion damage depth of concrete sewers is performed.

Keywords: reinforced-concrete sewers, operating durability, hydrogen sulphide, biogenic sulfuric acid aggression, concrete corrosion-meter, depth of corrosion, mathematical modeling.