

УДК 620.193.8

**СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ БІОГЕННОЇ КОРОЗІЇ  
КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ**

Кандидати техн. наук С. А. Забелін (КП Харківводоканал), А. І. Алейнікова (ХНУБА)

**СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ БИОГЕННОЙ КОРРОЗИИ  
КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Кандидаты техн. наук С. А. Забелин (КП Харьковводоканал),  
А. И. Алейникова (ХНУСА)

**MODERN APPROACH TO RESEARCH OF BIOGENIC CORROSION OF SEWAGE  
COLLECTORS**

Phd. tehn. S. Zabelin, A. Aleinikova

*Роботу присвячено дослідженню біогенної корозії каналізаційних колекторів. Виконано аналіз новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, виявлено їх основні переваги та недоліки. Аналіз ґрунтується на дослідженнях вчених ближнього і далекого зарубіжжя. За результатами проведеного аналізу сформовано узагальнений підхід до вивчення процесу біогенної корозії мереж водовідведення, що знаходяться в тривалій експлуатації.*

**Ключові слова:** колектор, знос, біокорозія, водовідведення, експлуатація, довговічність.

*Работа посвящена исследованию биогенной коррозии канализационных коллекторов. Выполнен анализ новейших работ, подходов, практик, посвященных изучению коррозионных процессов канализационных коллекторов, выявлены их основные преимущества и недостатки. Анализ основывается на исследованиях ученых ближнего и дальнего зарубежья. По результатам проведенного анализа сформулирован обобщенный подход к*

изучению процесса биогенной коррозии сетей водоотведения, которые находятся в длительной эксплуатации.

**Ключевые слова:** коллектор, износ, биокоррозия, водоотведение, эксплуатация, долговечность.

*The work is devoted to the study of biogenic corrosion of sewer collectors. The analysis of newest works, approaches, practices, devoted to the study of corrosion processes of sewerage collectors has been carried out. The analysis is based on the researches of the scientists of the near and far abroad countries. According to the results of the analysis, to formulate a generalized approach to the study of the biogenic corrosion process of drainage networks. It has been established that microorganism populations and their vital activities are the main cause of biogenic corrosion, which subsequently leads to a decrease in the operational reliability of sewerage collectors. The results of most experimental studies indicate that changes in temperature and acidity of a solution of sulfuric acid contribute to the control of biogenic corrosion. Laboratory tests of multicomponent epoxy coatings of various compositions indicate that they, to varying degrees, have an effect on increasing the durability of sewage collector designs. The accuracy of forecasting the development of biogenic corrosion is considered through the prism of the received evidence regarding the pipeline. The results obtained by researchers on the presence and degree of exposure to biogenic corrosion of sewerage collectors can be useful for substantiating potential problems of the areas of distribution networks for the drainage for further work on the restoration of their design strength.*

**Key words:** collector, wear, biocorrosion, drainage, exploitation, durability.

**Вступ.** Система каналізації будь-якого населеного пункту – одна з найдорожчих й найуразливіших частин підземної інженерної інфраструктури. Від її надійної та безперебійної роботи залежить стан навколишнього середовища, комфортність проживання населення, ефективна робота підприємств міста.

Значна частина каналізаційних колекторів міст і селищ України, побудованих в минулому столітті, в даний час повністю вичерпала свій амортизаційний ресурс. Їх будівництво частіше здійснювалося з бетону та залізобетону, які схильні до руйнування внаслідок впливу багатьох факторів, і в першу чергу – мікробіологічної корозії. Крім того, термін служби таких матеріалів становить близько 50 років, а з моменту їх зведення на деяких ділянках пройшов значно більший термін. Це свідчить про необхідність вживання термінових заходів з дослідження умов експлуатації каналізаційних мереж і здійснення ефективних ремонтних заходів з

метою уникнення екологічної та соціальної катастроф.

На даний момент практично відсутній плановий підхід в підготовці комплексу організаційно-технологічних рішень, що підвищують експлуатаційний ресурс каналізаційних колекторів. Крім цього, такі мережі, приховані під землею, звертають на себе увагу лише тоді, коли виникають аварійні ситуації, і комплекс рішень з підтримки цих систем зводиться до аварійно-відновлювальних робіт на ділянці колектору з ліквідації наслідків аварії. Такий підхід до організації робіт веде до високої витрати всіх видів ресурсів комунальних служб і, відповідно, до негативних економічних, екологічних та соціальних ефектів.

Викладене вище свідчить про необхідність вирішення **актуальної наукової проблеми**, пов'язаної з теоретичним обґрунтуванням та розробкою методики дослідження мікробіологічної корозії каналізаційних колекторів, що дозволить підвищити їх експлуатаційний ресурс.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом все більше уваги приділяється питанням підвищення експлуатаційного ресурсу будівельних конструкцій та споруд системи водовідведення, в першу чергу шляхом покращення її експлуатаційних характеристик. Крім того, дані численних наукових досліджень [1-29] дозволяють прийти до такого висновку – біогенна корозія каналізаційних тунелів, колекторів і споруд на них відбувається, як правило, в надводній зоні на внутрішній поверхні конструкцій.

Процес вивчення біогенної корозії відбувається шляхом теоретичних [5,6, 12, 14, 15, 18, 20, 25] та експериментальних досліджень. Як правило, експериментальні дослідження проводяться шляхом занурення зразків в агресивне середовище (натурне або лабораторне) для подальшого виявлення характеристик матеріалу трубопроводу [1, 9, 10, 15, 17] або захисних покриттів [11,13, 22, 23, 26].

Все більшу увагу дослідники приділяють питанням ймовірного прогнозування експлуатаційної відмови трубопроводу, для цього, як правило, використовується детермінований метод фактора життя, основою якого є оцінка факторів та мінімізація впливу на їх експлуатаційну надійність [1, 3, 4, 7, 14, 15, 20, 27].

**Метою** даної роботи є дослідження сучасних підходів щодо діагностики мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання дослідження:

- виконати аналіз новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, що ґрунтується на дослідженнях дослідників ближнього і далекого зарубіжжя;
- за результатами проведеного аналізу згрупувати сучасні дослідження відповідно до основного змісту наукових праць;
- запропонувати єдину методiku дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею

**Основний матеріал.** Сьогодні існують різні підходи до вивчення мікробіологічної корозії трубопроводів водовідведення. Питаннями підвищення експлуатаційного ресурсу каналізаційних колекторів займаються дослідники з усього світу. Виходячи з порівняння наукових праць дослідників ближнього і далекого зарубіжжя між собою можна згрупувати їх відповідно до напрямку робіт досліджень:

- теоретичні дослідження мікробіологічної корозії (табл. 1);
- експериментальні дослідження процесу корозії (табл. 2);
- дослідження методів боротьби з мікробіологічною корозією (табл. 3);
- експериментальні дослідження матеріалів проти корозії (табл. 4);
- методики прогнозування корозійних процесів, подовження експлуатаційного ресурсу трубопроводів (табл. 5).

Таблиця 1

Теоретичні дослідження мікробіологічної корозії

№ з/п	Вчений (колектив вчених)	Країна, рік дослідження	Основні положення дослідження	Коментар авторів
1	2	3	4	5
1	Наземі М. [20]	Австралія, 2016	Мікробіологічна корозія внутрішньої поверхні каналізаційних колекторів розглядається як корозія, що індукована активністю різних мікроорганізмів, включаючи бактерії та грибки	В роботі не в повній мірі висвітлено процес впливу анаеробного середовища на стан трубопроводу в процесі тривалої експлуатації

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
2	Метьюс Д., Кокс А. [18]	США, 2015	Розглянуто процес впливу анаеробних мікроорганізмів на технічний стан металевих трубопроводів водопровідно-каналізаційного господарства	Специфіка анаеробного середовища в мережах водопостачання і водовідведення має суттєві відмінності, проте узагальнення їх в єдине ціле не є доцільним
3	Мехмудіан М., Слейні А. [14]	Великобританія, 2016	Розглянуто сульфідну корозію залізобетонних каналізаційних колекторів, яка є найпоширенішою формою зниження їх експлуатаційного ресурсу. Параметри корозії розглядаються як випадкові величини внаслідок дефіциту даних та невизначеностей, пов'язаних з впливом корозії на технічний стан каналізаційних мереж	В роботі слід було використати результати вже існуючих досліджень стосовно впливу корозії на стан трубопроводів, тим самим кількість маловідомих параметрів корозії могла бути знижена
4	Мехмудіан М., Слейні А. [15]	Великобританія, 2017	Визначено, що глибини корозійної лінзи є важливим елементом для прогнозування працездатності чавунних труб, що постраждали від корозії	Досить змістовне дослідження, проте не показано як саме буде відбуватися прогнозування залишкового ресурсу чавунних трубопроводів
5	Донг К. з співавторами [6]	Китай, 2017	Зауважується, що цикл сірки, який виникає в результаті діяльності мікробної популяції, може, в кінцевому підсумку, спричинити серйозні проблеми розподільчих каналізаційних систем. Результати дослідження показали, що більш висока різноманітність мікробних видів наявна в місцях розташування каналізацій з високою концентрацією $H_2S$ . Актинобактерії та протеобактерії були домінуючими в каналізаційній системі, в той час як лише актинові бактерії були домінуючими на ділянках мереж з високою концентрацією $H_2S$ .	В роботі недостатньо висвітлено характер мікробних спільнот в умовах динамічних факторів навколишнього середовища у фактичній системі каналізації під час її тривалої експлуатації

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
			Визначення розподілів та пропорцій критичних мікробних спільнот у каналізаційних системах дає уявлення про те, як мікроорганічний цикл сірки впливає на динамічні умови навколишнього середовища, які існують в каналізаційних мережах	
6	Лото С. [12]	Південна африканська республіка, 2017	Представлено детальний огляд мікробіологічної корозії, досліджено популяцію бактерій. В огляді також повідомляється про біоплівки, різні механізми зменшення сульфатуючих бактерій, методи біодетермізації навколишнього середовища тощо	Не подано граничне співвідношення змісту мікроорганізмів, що впливають на час протікання корозійного процесу
7	Биль Д. з співавторами [5]	Австралія, 2016	Надано поглиблення питання впливу мікробіологічних та біоплівкових процесів на корозію. Авторами запропоновано вивчення інгібіції мікробіологічної корозії з застосуванням Omics-методів, де можна глибше зрозуміти бактеріального населення в плані диверсифікації та обміну речовин. Таким чином, в даному дослідженні обговорено останні досягнення для вдосконалення фундаментального розуміння процесів біоплівки та мікробіологічної корозії	Висвітлено як традиційні методи досліджень біогенної корозії, так і інноваційні для України - Omics, що з використанням молекулярних маркерів дають результати, щодо впливу тих чи інших мікроорганізмів на стан трубопроводу на молекулярному рівні
8	Роутил Л. з співавторами [25]	Чехія, 2015	Вченими досліджено вплив мікробіологічно індукованої корозії на несучу здатність бетонних каналізаційних колекторів в процесі їх експлуатації. Авторами встановлено, що з кожним роком трубопроводи, що перебувають в експлуатації, втрачають свою несучу здатність, в першу чергу за рахунок зносу армуючих стержнів	В роботі слід було розглядати конструкції каналізаційних шахт комплексно, відокремлення армуючих стержнів не відображає загальний процес зниження їх несучої здатності, так як в першу чергу впливу біогенної корозії піддається бетон

## Експериментальні дослідження процесу корозії

№ з/п	Вчений (колектив вчених)	Країна, рік дослідження	Основні положення дослідження	Коментар авторів
1	2	3	4	5
1	Юрченко В. з співавторами [10]	Україна, 2016	В роботі висвітлено експериментальні дослідження вимірювання концентрації сірководню в каналізаційних трубопроводах міста Харкова. На основі отриманих даних були оцінені викиди сірководню через каналізаційні шахти в міському середовищі конкретних міських районів	Змістовне дослідження, що висвітлює кількісну і якісну оцінку дисперсії шкідливих речовин в атмосфері безпосередньо для м. Харкова
2	Мехмудіан М., Єлейні А. [15]	Великобританія, 2017	Висвітлено результати аналізу параметрів корозії залізобетону, які показали, що лужність бетону та відносна глибина потоку найбільше впливають на ймовірність відмови мереж водовідведення. Тому ці параметри не вважаються випадковими змінами, і їх можна розглядати як детерміністичні постійні значення для подальших досліджень процесу сульфідної корозії	В роботі не наведено хімічний склад бетонної суміші для залізобетонних конструкцій
3	Мехмудіан М., Лі С. [17]	Великобританія, 2016	Авторами досліджено вплив температури та кислотності розчину сірчаної кислоти на конкретні зразки залізобетонних каналізаційних труб. Бетонні зразки занурювались в три розчини сірчаної кислоти (рН = 0,5 рН = 1 і рН = 2) протягом 91 дня при різних температурах (10, 20 та 30 °С). Масова втрата та міцність на стиск бетонових зразків були протестовані та зареєстровані на 7, 14, 28, 42, 56 та 91 дні, надаючи цікаві дані для візуалізації змін, що відбуваються в конкретних зразках (зміна властивостей) протягом часу занурення.	Дані експериментальних досліджень продемонстрували високу кореляцію між кислотністю розчину та швидкістю корозії щодо часу, проте для детального вивчення процесу корозії недостатньо 91 дня лабораторних досліджень. Перебування зразків у розчинах понад 91 день дасть змогу отримати більш ймовірні результати

1	2	3	4	5
			Результати показали, що загальна маса зразків збільшується на ранніх етапах корозійного процесу. Також було виявлено, що загальна маса зразків значно знизилася на пізніх стадіях процесу тестування щодо кислотності використовуваних розчинів	
4	Орлова С.С. з співавторами [1]	Росія, 2016	Використовуючи статистичні та натурні дані зростання глибини корозійної каверни, проведена кількісна оцінка корозійної небезпеки металевих трубопроводів водовідведення. Аналіз отриманих залежностей показав, що деякий час після контакту трубопроводу зі стічною водою метал не буде руйнуватися, далі процес корозії розвивається з деяким прискоренням, а потім набуває явно загасаючого характеру	Слід зазначити, що ймовірно доцільно було б виконати порівняння даних натурних та лабораторних досліджень. Процес корозії труб, що перебувають в експлуатації, залежить від багатьох факторів, та може значно відрізнятися від зразків для експерименту
5	Хуан Ч. з співавторами [9]	Китай, 2017	Вивчено вплив складу рідини на швидкість корозії металевих трубопроводів. Авторами встановлено, що концентрація гідроксиду натрію 30 або 50 % сірчаної кислоти для регулювання значення рН води може забезпечити швидкість корозії металевого трубопроводу не менше 0,075 мм/р., що відповідає вимогам безпеки відповідних стандартів у межах діапазону	Тривалі лабораторні дослідження дадуть змогу отримати більш ймовірні результати щодо швидкості і характеру протікання корозії
6	Романова А. [24]	Великобританія, 2016	Досліджено процес корозії бетонних та залізобетонних каналізаційних труб, викликаний сірководнем, основну увагу приділено лабораторним експериментам з встановлення	В дослідженні доцільно було б занурювати зразки в різну концентрацію сірчаної кислоти, що дало б

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
			швидкості корозії бетону шляхом занурення зразків у розчин сірчаної кислоти на термін до 120 днів при температурних режимах 10-30 °С. Результати показали, що деякі зразки на дуже ранній стадії процесу корозії отримали загальну масу і щільність зі зворотним процесом з плином часу. В цілому, в лабораторних умовах спостерігалися швидкості корозії 5-25 мм/р.	змогу для порівняння та побудови відповідних залежностей
7	Ганс І. [8]	Туреччина, 2015	Автор відмічає, що багато досліджень було проведено стосовно різних видів корозії сталевих стержнів. Проте лише деякі роботи присвячені впливу корозії внаслідок дії сірчаної кислоти на знос арматури. У роботі були проведені дослідження для вивчення корозійної поведінки незахищеної вуглецевої армованої сталі під дією різних концентрацій розчинів H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Арматура розмірами Ø12, Ø14, Ø16 і зігнута під кутами 0°, 45°, 90°. Результати свідчать, що швидкість корозії та втрата поперечного перерізу сталевих брусків зростають зі збільшенням концентрації кислот. З іншого боку, зниження корозії зменшувалося зі збільшенням кута згину	Слід зазначити, що сталеві стержні та бетон працюють комплексно для забезпечення несучої здатності колекторів, тому доцільно розглядати це питання не відокремлено одне від одного



## Дослідження методів боротьби з мікробіологічною корозією

№ з/п	Вчений (колектив вчених)	Країна, рік дослідження	Основні положення дослідження	Коментар авторів
1	Наземі М. [20]	Австралія, 2016	Як основному методу боротьби з мікробіологічною корозією (МК) особлива увага приділяється полімерним покриттям, таким як епоксидні розчини, ефективність яких залежить від розуміння того, як властивості покриття впливають на їх здатність протистояти поширенню корозії. Також у дослідженні висвітлено взаємодію антикорозійного покриття із органічними та неорганічними кислотами, які виявляються в каналізаційному середовищі	Сучасні каналізаційні трубопроводи являють собою складний комплекс взаємопов'язаних структур, в яких відбуваються різні фізичні, хімічні та біологічні процеси. Дія таких процесів не контролюється і супроводжується значними витратами, пов'язаними, зокрема, з зниженням експлуатаційної надійності функціонування каналізаційних колекторів.
2	Москвічева Е. з співавторами [19]	Росія, 2016	Проаналізовано проблеми сталевих трубопроводів водовідведення, що виникають у результаті виникнення корозії та біологічного наростання. Авторами в роботі надано рекомендації щодо запобігання та захисту від біогенної корозії існуючих та трубопроводів водовідведення, які будуються	Майже всі сучасні дослідження методів підвищення експлуатаційного ресурсу мереж водовідведення, що руйнуються під впливом мікробіологічної корозії, пов'язані з застосуванням технологій з використання полімерних матеріалів.
3	Ноахай Т. [21]	Австралія, 2017	В роботі розглядається біогенний вплив на технічний стан каналізаційних колекторів. Останнім часом для запобігання та контролю ушкоджень біогенною корозією бетонних конструкцій в агресивних середовищах успішно розроблені наноматеріали з новими функціональними можливостями, такими як самозахист і антикорозійна здатність. Автором подано огляд як існуючих контрольних заходів для запобігання біокорозії, так і прогресивних нанопідходів для захисту конкретних конструкцій від біогенного зносу	Багатокомпонентні сучасні матеріали мають якісні характеристики, що протидіють корозійним пошкодженням конструкцій

## Експериментальні дослідження матеріалів проти корозії

№ з/п	Вчений (колектив вчених)	Країна, рік дослідження	Основні положення дослідження	Коментар авторів
1	2	3	4	5
1	Метьюс Д., Кокс А. [18]	США, 2015	Авторами подано полімерні нанопокриття для контролю корозії залізних трубопроводів	Запропоновані авторами композиції епоксидних покриттів при дослідженні мікробіологічної корозії металевих труб в лабораторних умовах продемонстрували їх високі якісні показники. Проте було б доцільно провести детальний аналіз та випробування зразків в різних концентраціях $H_2SO_4$
2	Тамбе С. з співавторами [26]	Індія, 2016	Імітовано мікробіологічні явища корозії каналізаційних мереж в лабораторії та досліджено характеристики епоксидних покриттів з біоцидами та без них шляхом екстракції їх культури сульфатзнижуючої бактерії при анаеробному стані. Мікробіологічна ефективність оцінювалася шляхом формування зони гальмування, візуального спостереження, SEM-аналізу (скануюча електронна мікроскопія), антикорозійної властивості EIS (електрохімічна імпедансна спектроскопія) та адгезії покриття з внутрішньою стінкою колектора	
3	Роем Н. з співавторами [23]	Бразилія, 2016	Дослідження присвячено вивченню використання полімерних матричних композитів для ремонту і зміцнення пошкоджених структур трубопроводів. На основі експериментальних досліджень виявлена ефективність нового композитного матеріалу для відновлення внутрішньої стінки трубопроводів	
4	Позокі М. з співавторами [22]	Іран, 2016	Подана порівняльна оцінка поліуретану та полівінілхлориду в облицюванні бетонних каналізаційних труб для запобігання біологічній корозії. Експериментальні результати показали, що після трьох місяців, в порівнянні з ПВХ, поліуретан показав кращу міц-	Авторами експериментально досліджено композиційні матеріали для захисту бетонних та залізобетонних каналізаційних колекторів від біогенної корозії. Випробування зраз-

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5
			ність і стійкість в кислому агресивному середовищі. Крім того, завдяки міцному зв'язку з бетонною поверхнею поліуретанова футеровка зводила до мінімуму проникнення кислого розчину (викликаного ферментацією стічних вод у каналізаційні труби) до тіла бетону	ків протягом часу (більше 120 діб) не проводились, проте враховуючи складність популяцій мікроорганізмів, доцільно було б провести дослідження строком більше 120 діб
5	Луо К. з співавторами [13]	Китай, 2016	Дослідження присвячено опису трубчастих композиційних сировинних матеріалів та порівнянню методів формування та оцінки їх продуктивності, перш за все з позиції довговічності експлуатації та протидії корозії	
6	Колісві М. [11]	Південна африканська республіка, 2016	Дослідження вченого присвячено вивченню швидкості протікання біогенної бетонної корозії, яка залежить, зокрема, від хімічного складу зв'язуючих (цемент, додаткові цементні матеріали і мікроструктурні характеристики бетонних сумішей, що використовувались при виробництві каналізаційних труб)	

Таблиця 5

Методики прогнозування корозійних процесів, подовження експлуатаційного ресурсу трубопроводів

№ з/п	Вчений (колектив вчених)	Країна, рік дослідження	Основні положення дослідження	Коментар авторів
1	2	3	4	5
1	Наземі М. [20]	Австралія, 2016	На основі отриманих експериментальних результатів розроблено напівемпіричні моделі для прогнозування терміну служби покриття в умовах агресивного середовища колекторів водовідведення	В роботі не враховано вплив агресивного середовища на трубопровід, що експлуатується протягом певного часу, лише на покриття облицювання

Продовження табл. 5

1	2	3	4	5
2	Мехмудіан М., Єлейні А. [14]	Великобританія, 2016	Подано методологію, що заснована на надійності для оцінки працездатності труб під впливом біогенної корозії. Глибина корозійної лінзи розглядається як критичний параметр, який спричиняє відмову працездатності каналізаційного колектора, коли вона перевищує товщину стінки труби	Розроблена авторами модель визначення глибини корозії чавунних труб дозволяє кількісно оцінити ймовірність виходу з експлуатаційної розподільчої мережі, проте особливу увагу не приділено стиковим з'єднанням труб, що може не точно спрогнозувати її вихід з робочого стану
3	Мехмудіан М., Єлейні А. [15]	Великобританія, 2017	В дослідженні введена залежна від часу модель нелінійного стану для структурного аналізу корозійно-стійких сталевих трубопроводів, посиленних зовнішніми силами. Виконуючи концепцію граничного стану, одночасний ефект зовнішнього навантаження та корозії матеріалу авторами розглядається в режимах відмови. Для обліку невизначеності, пов'язаної з параметрами проектування та навколишнього середовища, була застосована методика моделювання методом Монте-Карло з використанням MATLAB	Авторами було застосовано модель щодо моделювання втрат товщини стінки труби протягом періоду експлуатації. Проте, з точки зору прогнозування виходу трубопроводу з працездатного стану, втрата товщини стінки труби не є основним показником, необхідно враховувати фактори, що впливають на надійність комплектно
4	Орлова С.С. з співавторами [1]	Росія, 2016	За допомогою диференціальної геометрії розроблено підхід до визначення надійності експлуатації каналізаційних колекторів. Графічне диференціювання дозволило знайти кількісні значення швидкості корозійного процесу, виявити характер її зміни в часі; визначити взаємозв'я-	Поданий підхід змістовний, та для подальшого впровадження у виробництво і використання на практиці потребує певної кваліфікації

1	2	3	4	5
			зок між глибиною корозійної каверни і швидкістю утворення цієї каверни; встановити, що процес корозії може бути описаний диференціальним рівнянням	
5	Анбари М. з співавторами [4]	Іран, 2017	Подана ймовірнісна модель оцінки ризику мережі водовідведення, в яку були включені як структурні, так і гідравлічні відмови, насамперед з причини пошкодженості їх мікробіологічною корозією. Дана модель базується на підході для обчислення ймовірності відмови і середньозваженого методу для розрахунку наслідків значень відмови з використанням байєсівських мереж. Для розгляду невизначеностей і наслідків значень відмови застосовано підхід з використанням системи нечітких висновків (FIS)	Система нечітких висновків потребує високої бази знань для їх формування. Для оцінки ризику відмови робочого стану мережі необхідно особливу увагу приділити факторам, що впливають на працездатність певної ділянки трубопроводу
6	Єлейні А. з співавторами [3]	Великобританія, 2016	Розроблено три ймовірнісних методи аналізу надійності: часову модель, включаючи теорію ймовірності, модель гамма-розподіленого зносу та методологію моделювання Монте-Карло	Часова модель оцінки надійності повинна базуватися на експериментальних дослідженнях, проте це в роботі не висвітлено
7	Станик Н. з співавторами [27]	Нідерланди, 2017	Авторами подано вдосконалений прототип технології оцінки впливу біогенної корозії і технічного стану трубопроводу з 3D-зображенням труби	3D-зображення труби, що знаходиться в експлуатації, дає візуальне уявлення щодо її експлуатації в середовищі під впливом факторів
8	Елмесри М. з співавторами [7]	Канада, 2017	Подано модель зносу колекторів водовідведення на основі дефектів (в першу чергу внаслідок корозії) для	Впровадження та апробація на практиці запропонованої моделі та точ-

Продовження табл. 5

1	2	3	4	5
			каналізаційних трубопроводів з використанням моделей байєсівських мереж (BBN), що використовується для розробки статичної моделі з використанням вірогідності подій та умовних вірогідностей від спостережень існуючої каналізаційної мережі. Часові виміри вносять до розробленої моделі, використовуючи логістичну регресію як тимчасові зв'язки, необхідні для побудови динамічної байєсівської мережі вірувань	ність її роботи залежить від фактичних даних, стосовно трубопроводу, що знаходиться в експлуатації. Тому повнота даних дасть змогу прогнозування відмови
9	Иан Н. з співавторами [29]	Франція, 2015	Робота присвячена моделюванню зносу та деструкції бетону під впливом нападу біогенної кислоти. Запропоновано реактивну транспортну модель для імітації всіх процесів біопоглинання бетону при контакті з $H_2S$ та сірчистими бактеріями	Авторами описано цей процес у три наступних етапи: нейтралізація бетонної поверхні, що забезпечує відповідне середовище для вирощування сірчистими бактеріями, утворення сірчаної кислоти ( $H_2SO_4$ ) та хімічна реакція між продуктами $H_2SO_4$ та гідратація цементу

На основі виконаного аналізу новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, та за результатами їх згрупування відповідно до напрямку робіт досліджень авторами було запропоновано методику дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею (рисунки).

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** На основі виконаного аналізу новітніх робіт, підходів, практик, присвячених вивченню корозійних процесів каналізаційних колекторів, та за результатами їх згрупування відповідно до напрямку робіт досліджень авторами було запропоновано методику дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основні методи боротьби з нею.

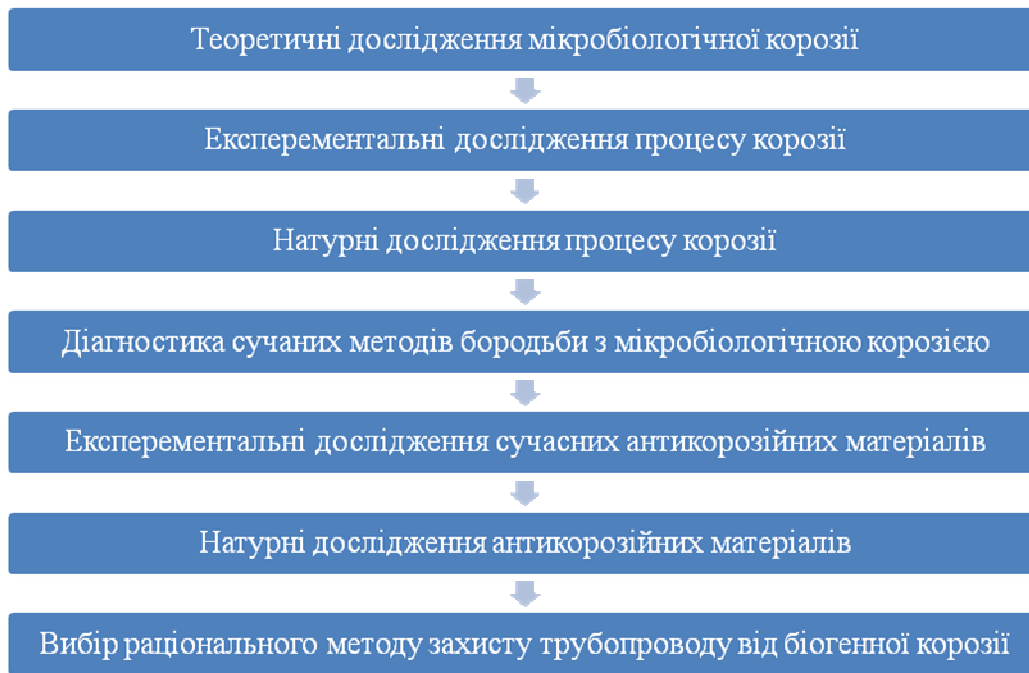


Рис. Блок-схема методики дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення та основних методів боротьби з нею

Доцільність вибору саме цієї методики обґрунтовано тим, що логічна структура проведення досліджень повинна базуватися на теоретичних, експериментальних (натурні та лабораторні) дослідженнях процесу біогенної корозії. На основі отриманого уявлення стосовно складного процесу біогенної корозії необхідно виконати діагностику сучасних методів боротьби з нею (натурні та лабораторні випробування антикорозійних матеріалів, композицій тощо). На основі

отриманих даних здійснити вибір раціонального методу захисту трубопроводу, що знаходиться в експлуатації, від біогенної корозії.

Викликають особливу увагу подальші дослідження мікробіологічної корозії колекторів водовідведення, а саме експериментальні і натурні дослідження сучасних антикорозійних матеріалів на прикладі занурення їх в агресивне середовище централізованої каналізаційної системи м. Харкова.

### Список використаних джерел

1. Орлова, С. С. Дифференциальное исследование кинетики коррозионных процессов в трубопроводах, транспортирующих сточные воды [Текст] / С. С. Орлова, Т. А. Панкова, А. В. Кочетков // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 4. – С. 30-36.
2. Плугин, А. А. Агрессивность эксплуатационной среды сетей и сооружений водоотведения [Текст] / А. А. Плугин, В. И. Бабушкин // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – №4 (38). – С. 21-27.
3. Alani, A. Advanced numerical and analytical methods for assessing concrete sewers and their remaining service life [Text] / A. Alani, M. Mahmoodian, A. Mojtaba, A. Romanova // International Science Index. – 2016. – № 8(6XI). – P. 1091-1097.

4. Anbari, M. Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks [Text] / M. Anbari, T. Massoud, R. Abbas // Journal of environmental management. – 2017. – №190. – P. 91-101.
5. Beale, D. J. Omics-based approaches and their use in the assessment of microbial-influenced corrosion of metals [Text] / D. J. Beale, A.V. Karpe, S.Jadhav, T. H. Muster, E. A. Palombo // Corrosion Reviews. – 2016. – № 34.1-2. – P. 1-15.
6. Dong, Q. Microbial character related sulfur cycle under dynamic environmental factors based on the microbial population analysis in sewerage system [Text] / Q.Dong, H.Shi, Y.Liu // Frontiers in microbiology. – 2017. – №.8.
7. Elmasry, M. Defect based deterioration model for sewer pipelines using Bayesian belief networks [Text] / M.Elmasry, A.Hawari, T. Zayed // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2017. – № 44(999). – P. 675-690.
8. Gunes, I. Biogenic corrosion on ribbed reinforcing steel bars with different bending angles in sewage systems [Text] / I. Gunes, T.Uygunoglu // Construction and Building Materials. – 2015. – № 96. – P. 530-540.
9. Huang, C. Study on Relation Between Industrial Circulating Water Conductivity And Iron Corrosion Velocity [Text] / C.Huang et al. // Journal of Residuals Science & Technology. – 2017. – Vol.14. – № 3. – P. 526-532.
10. Iurchenko, V. Environmental Safety of the Sewage Disposal by the Sewerage Pipelines [Text] / V.Iurchenko, E.Lebedeva, E.Brigada // Procedia Engineering. – 2016. – № 134. – P. 181-186.
11. Kiliswa, M. W. Composition and microstructure of concrete mixtures subjected to biogenic acid corrosion and their role in corrosion prediction of concrete outfall sewers [Text] / M. W. Kiliswa // PhD Thesis. University of Cape Town – 2016. – 320 p.
12. Loto, C. A. Microbiological corrosion: mechanism, control and impact – a review [Text] / C. A. Loto // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology– 2017. – №2. – P. 1-12.
13. Luo, K. The Research Development of Tubular Textile Composites Application on the Trenchless Pipeline Inversion Lining Rehabilitation Technology [Text] / K. Luo, S.J. Zhang, R.Wang, X.P. Si, X. Han // In Key Engineering Materials Trans Tech Publications. – 2016. – Vol. 671. – P. 306-314.
14. Mahmoodian, M. Sensitivity analysis for failure assessment of concrete pipes subjected to sulphide corrosion [Text] / M. Mahmoodian, A.Alani // Urban Water Journal. – 2016. – Vol. 13. – № 6. – P.637-643.
15. Mahmoodian, M. Effect of Temperature and Acidity of Sulfuric Acid on Concrete Properties [Text] / M. Mahmoodian, A. Alani // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2017. – Vol. 29. – №10. – P.1001-1018.
16. Mahmoodian, M. Structural failure assessment of buried steel water pipes subject to corrosive environment [Text] / M. Mahmoodian, V. Aryai // Urban Water Journal. – 2017. – Vol.14. – №10. – P.1023-1300.
17. Mahmoodian, M. Serviceability assessment and sensitivity analysis of cast iron water pipes under time-dependent deterioration using stochastic approaches [Text] / Mahmoodian M., Li C. // Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. – 2016. – Vol. 65. – № 7. – P. 530-540.
18. Mathews, D. Polyethylene Encasement for External Corrosion Control for Iron Pipelines [Text] / D. Mathews, A.Cox // Florida Water Resources Journal. – 2015. – Vol. 12. – P. 44-49.



19. Moskvicheva, E. V. Method of Corrosion Prevention in Steel Pressure Pipelines in Sewerage Systems [Text] / E.V. Moskvicheva, P.A.Sidyakin, D. V. Shitov // Procedia Engineering. – 2016. – № 150. – P. 2381-2386.
20. Nazemi, M. K. Corrosion Study of Protective Coatings Used in Sewer Concrete [Text] / M. K. Nazemi // Sydney Digital Theses. – 2016. – № 8.
21. Noeiaghaei, T. et al. Biogenic deterioration of concrete and its mitigation technologies [Text] / T. Noeiaghaei et al. // Construction and Building Materials. – 2017. – № 149. – P. 575-586.
22. Pazoki, M. Comparative Evaluation of Poly Urethane and Poly Vinyl Chloride in Lining Concrete Sewer Pipes for Preventing Biological Corrosion [Text] / M. Pazoki et al. // International Journal of Environmental Research. – 2016. – Vol. 10. – №2. – P. 305-312.
23. Rohem, N. R. F. Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair [Text] / N. R. F. Rohem et al. // Composite Structures. – 2016. – № 152. – P.737-745.
24. Romanova, A. Concrete corrosion induced by sulfuric acid [Text] / A. Romanova // Sheffield research seminar. – 2016. – P. 1-14.
25. Routil, L. Prediction of the time-variant behaviour of concrete sewer collection pipes undergoing deterioration due to biogenic sulfuric acid [Text] / L. Routil, M.Chroma, B.Teply, D.Novak // In CONCREEP. – 2015. – № 10. – P. 219-228.
26. Tambe ,S. P. Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria [Text] / S.P.Tambe, S.D. Jagtap , A. K.Chaurasiya , K.K. Joshi // Progress in Organic Coatings. – 2016. – №.94. – P. 49-55.
27. Stanic, N. A technology for sewer pipe inspection (part 1): Design, calibration, corrections and potential application of a laser profiler [Text] / N. Stanic, M. Lepot, M.Catieu, J.Langeveld, F. H. Clemens // Automation in Construction . – 2017. – № 75. – P. 91-107.
28. Wang, W. Evaluation of stress intensity factor for cast iron pipes with sharp corrosion pits [Text] / W. Wang et al. // Engineering Failure Analysis. – 2017. – № 81. – P. 254-269.
29. Yuan, H. Degradation modeling of concrete submitted to biogenic acid attack [Text] / H. Yuan, P. Dangla, P. Chatellier, T. Chaussadent //Cement and Concrete Research. – 2015. – № 70. – P. 29-38.

---

Забелін Сергій Анатолійович, начальник РЕД Індустріального району КП «Харківводоканал».  
Тел.: (067) 900-20-09. E-mail: to.khvs.2017@gmail.com.

Алейнікова Алевтина Ігорівна, канд. техн. наук, асистент кафедри технології будівельного виробництва  
Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (066)291-31-87.  
E-mail: alevtynaal222@gmail.com.

Zabelin Sergey, head of the district operating area of the Industrial District CE «Kharkivvodokanal»  
Tel.: (067) 900-20-09. E-mail: to.khvs.2017@gmail.com.

Aleynikova Alevtyna, PhD. tehn, assistant department of building technology, Kharkiv National University of  
Construction and Architecture. Tel.: (066) 291-31-87. E-mail: alevtynaal222@gmail.com.

Стаття прийнята 13.10.2017 р.