

А.І. Алейнікова¹, П.Ю. Гулевський¹, І.В. Вороненко²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

²Комунальне підприємство «Харківводоканал», Україна

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТУНЕЛІВ В МІСЦЯХ МЕЖУВАННЯ З ОГЛЯДОВИМИ ШАХТАМИ

Найбільшій корозії каналізаційних тунелів зазнають ділянки в місцях з'єднання з оглядовими шахтами. В статті відзначено, що вироби на основі базальту відповідають вимогам до матеріалів, які використовуються для захисту каналізаційних мереж. В результаті наукових досліджень було розроблено організаційно-технологічні рішення ремонту та відновлення тунелів в місцях межування з оглядовими шахтами шляхом використання плитки кам'яного лиття.

Ключові слова: каналізаційний тунель, оглядова шахта, базальт, пневмоопалубка, технологічні рішення, відкритий спосіб.

Постановка проблеми

Тривалий вплив агресивного середовища на конструкції систем водовідведення, призводить до їх руйнування та в деяких випадках до виникнення аварійних ситуацій, скорочення часу безаварійної експлуатації споруд, збільшення витрат на їх ремонт та відновлення [2, 3, 5]. Хімічні реакції, що відбуваються при експлуатації каналізаційних тунелів, формують агресивне середовище для бетонних конструкцій. Слід відзначити, що найбільш вразливі до дії біогенної корозії конструкції склепіння каналізаційних тунелів [3].

Аналізуючи типові аварії водовідвідної мережі, виявлено, що одними з причин її виходу з ладу такі: за останні 20 років кількість стічних вод зменшилась у 2-3 рази; підвищення агресивності стічних вод, зниження швидкості потоку і збільшення опадів. За час експлуатації понад нормативного терміну залізобетонне склепіння тунелю майже повністю руйнується в результаті дії біогенної корозії. Перераховані причини руйнування каналізаційних тунелів, побудованих більше 50 років тому, як правило схожі за своїм характером. З вищесказаного випливає виділити специфіку експлуатації каналізаційних тунелів - діаметр перетину понад 1500 мм і глибина закладення понад 5-7 м.

Слід відзначити, що найбільшій корозії зазнають ділянки тунелів в місцях з'єднання з оглядовими шахтами, а також конструкції оглядових шахт [11]. Наявність у газовому середовищі оглядових шахт кисло-лужної складової, вуглекислого газу, аміаку, метану,

сірководню, обсяги яких іноді на кілька порядків перевищують гранично допустиму концентрацію, що ускладнює роботу на шахтах. Численні дослідження [2, 3, 5] дозволяють зробити висновок, що основним фактором, що веде до руйнування залізобетонних елементів кріплення оглядових шахт та прилеглої тунелю, є велика концентрація сірководню.

Аварійні пошкодження, що трапилися за останні роки на ділянках каналізаційних тунелів по пр. Гагаріна, вул. Греківській та ХТЗ в м. Харків є свідомою основної причини виникнення локального обвалення - пошкодження залізобетонної конструкції склепіння тунелю в результаті впливу біогенної корозії. Ділянка руйнування знаходилася в безпосередній близькості від камери гасіння потоку стічних вод [1]. Стічні води в камері гасіння падають з позначки до позначки лотка каналізаційного тунелю. Внаслідок розшарування потоку сірчана кислота активно вивільняється і в наступних реакціях стає висококонцентрованою сірчаною кислотою. Без антикорозійного захисту бетонна обробка тунелю, яка несе навантаження шару ґрунту, руйнується.

Значну роль при ремонті та відновленні конструкцій водовідведення відіграє вибір матеріалів та конструкцій, здатних протидіяти агресивному впливу сірководню та інших газів.

Тим часом розробка та впровадження технічних, організаційних та технологічних рішень ремонту та відновлення конструкцій каналізаційних тунелів та оглядових шахт із застосуванням недорогих вітчизняних матеріалів та конструкцій дозволить підвищити експлуатаційну довговічність

мереж водовідведення, скоротити тривалість та вартість ремонтно-відновлювальних робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У вітчизняних дослідженнях Шмуклера В.С. [15], Добряєва А.А. [12], Бондаренка Д.О., Старкової О.В. [9, 14], Воблиха В.О., Гончаренка Д.Ф. [3, 5], Обухова Є.С., зарубіжних Д. Штайна [22], Хастмана [18], В. Собека [21], Г. Глозека [17] велика увага приділяється ремонту та відновленню водовідвідних тунелів з використанням різноманітних будівельних та конструкційних матеріалів, стійких до агресивних середовищ стічних вод. Факторам, які впливають на експлуатаційну довговічність каналізаційних тунелів, приділена значна увага в наукових дослідженнях вчених Юрченко В.О. [15], Абрамовича І.А., Гончаренко Д.Ф. [3, 5], Алєйнікової А.І. [1, 6], Плугіна А.А. [13] і зарубіжних вчених Д. Штайна [22], М. Кілісва, Д. Матеуса [19], М. Наземі [20] та інших.

Мета та завдання

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка організаційно-технологічних рішень спрямованих на підвищення експлуатаційної довговічності каналізаційних тунелів та шахт, які межують з ними, шляхом використання для їх ремонту та відновлення матеріалів, здатних протидіяти біогенній корозії.

Виклад основного матеріалу

Проведені дослідження [7] показали, що вироби з базальту мають ряд переваг: висока міцність, досить мала вага, надійність при експлуатації в широкому діапазоні температур, відсутність корозії і висока хімічна стійкість. Зразки базальту не схильні до корозії та не втратили міцності при стисненні та на вигин після знаходження зразків в агресивному середовищі каналізаційної шахти за 3 місяці [8]. Перспективним і економічно доцільним є використання волокнистих базальтових матеріалів, композитів і виробів з них. Ці переваги дозволяють використовувати базальтові матеріали при ремонті та відновленні мереж водопостачання та водовідведення [7].

Для розробки технології прийнято, що в каналізаційному тунелі, що межує з оглядовою шахтою, склепінчаста частина обробки частково зруйнована газовою корозією і в зоні максимального тиску ґрунту стався обвал обробітку.

Відновлення каналізаційного тунелю з внутрішньою обробкою плиткою кам'яного лиття проводиться в кілька основних етапів.

Найважливішими технологічними процесами, які мають бути виконані до початку ремонтно-відновлювальних робіт необхідно виділити: огороження місця проведення аварійних робіт, організація робіт по транспортуванню стічних вод в обхід ділянки яка ремонтується, та очищення ділянки тунелю у випадку неповної її руйнації, в тому числі ділянок, які є суміжними.

Після очищення зруйнованого корозією тунелю виконується розробка траншеї.

Як показують дослідження, межі раціонального використання відкритого (траншейного) способу ремонтно-відновлювальних робіт залежно від конкретних інженерно-геологічних та виробничих умов змінюються у широких межах із глибиною закладення траншеї в середньому від 3 до 8 м. У практиці будівництва при розробці ґрунту в траншеях найчастіше застосовуються варіант кріплення вертикальних стінок

При застосуванні запропонованого способу ремонту та відновлення тунелів необхідним є використання пневматичної опалубки [10].

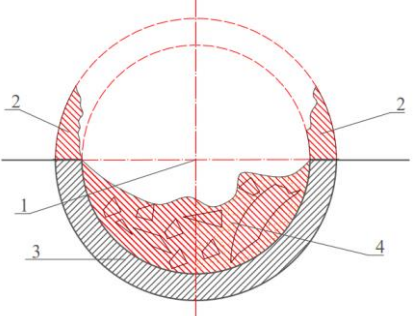
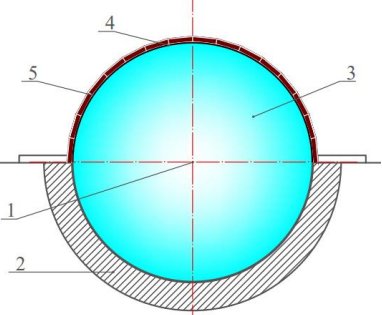
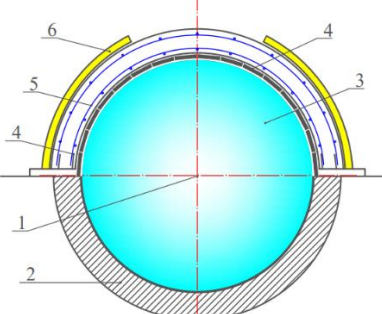
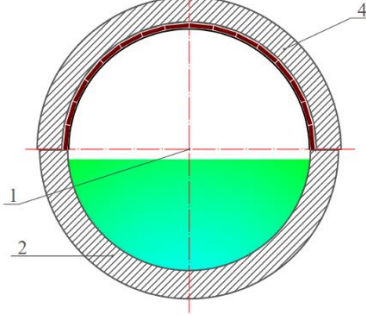
Використання пневматичної опалубки забезпечує виконання головних вимог, а саме: швидкість монтажу і демонтажу конструкції опалубки; можливість використання її для просторових поверхонь скривленої форми; можливість багаторазового використання.

Технологія виконання робіт по зведенню склепінчастої частини каналізаційного тунелю з внутрішньою обробкою плиткою кам'яного лиття передбачає такі етапи (табл. 1):

- демонтаж аварійних ділянок тунелю (склепіння, стінки);
- розчищення лоткової частини тунелю;
- відновлення ділянки лоткової частини тунелю (за умови руйнування лотка);
- очищення існуючої арматури для забезпечення спільної роботи лотка та захисного покриття склепіння, що зводиться;
- влаштування пневматичної опалубки для спорудження склепіння тунелю з внутрішньою обробкою плиткою кам'яного лиття;
- укладання плитки кам'яного лиття;
- встановлення необхідної арматури для захисного облицювання склепіння з монолітного залізобетону;
- створення інвентарної опалубки;
- укладання бетонної суміші монолітної частини склепіння;
- демонтаж пневматичної та інвентарної опалубки після набирання міцності бетону;
- зворотне засипання траншеї з ущільненням [6].

Таблиця 1

Технологічна послідовність зведення склепінчастої частини каналізаційного тунелю з внутрішньою обробкою плиткою кам'яного лиття

№	Загальний вигляд	Технологічний процес
1	2	3
1	 1 – існуючий тунель; 2 – аварійні ділянки стінок тунелю; 3 – лоткова частина; 4 – зруйновані частини тунелю та ґрунт.	Розроблення траншеї; демонтаж аварійних ділянок каналізаційного тунелю (склепіння та стінки); розчищення лоткової частини каналізаційного тунелю; очищення існуючої арматури для забезпечення спільної роботи лотка та захисного покриття склепіння, що зводиться;
2	 1 – існуючий тунель; 2 – лоткова частина; 3 – пневмоопалубка; 4 – плівка ПВХ; 5 - плити кам'яного лиття;	Влаштування пневматичної опалубки для спорудження склепіння каналізаційного тунелю; укладання плити кам'яного лиття;
3	 1 – існуючий тунель; 2 – лоткова частина; 3 – пневмоопалубка; 4 – очищена існуюча арматура; 5 – армування; 6 – інвентарна опалубка.	Встановлення необхідної арматури для захисного облицювання склепіння з монолітного залізобетону; створення інвентарної опалубки; укладання бетонної суміші монолітної частини склепіння; демонтаж пневматичної та інвентарної опалубки після набирання міцності бетону; зворотне засипання траншеї з ущільненням
4	 1 – існуючий тунель; 2 – лоткова частина; 3 – відновлена склепова частина тунелю.	Відновлений тунель виконаний з обробкою склепіння плиткою кам'яного лиття.

Основний період відновлення оглядової шахти за допомогою облицювання стінок плиткою кам'яного лиття з базальту (рис. 1):

демонтаж плит перекриття;
очищення стінок від продуктів корозії;
ін'єкція антикорозійним бетоном на дрібному заповнювачі простору в місцях стикування тунелю;
армування стінок шахти (в разі глибокої корозії стін);

облицювання стінок оглядової шахти плиткою кам'яного лиття з базальту (рис. 2);

обробка внутрішньої поверхні експлуатаційних дільниць та сходів антикорозійним епоксидним поліуретановим складом «АКВАХИМ».

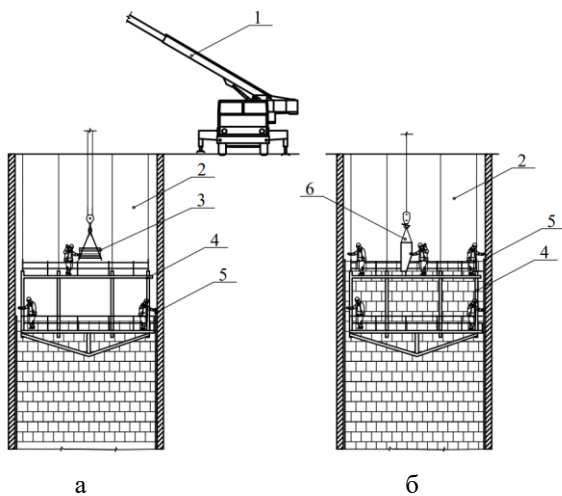


Рис. 1. Схема виконання облицювальних робіт з використанням плитки кам'яного лиття шахтного стовбура прямокутної форми:

а – подача плитки до шахти та облицювання стін плиткою; б – подача бетонної суміші, облицювання стін плиткою та покриття клеєм-герметиком стикувальних швів; 1 – кран; 2 – шахтний стовбур; 3 – піддон з плиткою; 4 – риштування (або навісна полка); 5 – плитка кам'яного лиття; 6 – ємність з бетонною сумішшю

Через високу агресивність каналізаційного середовища було запропоновано захисту антикорозійну систему облицювання стінок оглядової шахти: базальтова плитка та антикорозійний розчин. В лабораторії ХНУБА авторами було проведено дослідження на доцільність використання базальтової плитки, що свідчить про високі показники якості матеріалу для захисту від біологічної корозії. За результатами проведених авторами досліджень [6] отримано склад розчину для його експлуатації в агресивних умовах середовища каналізаційного тунелю та оглядової шахти.

Розрахунок матеріалів для 1м3 розчину для облицювання оглядової шахти наступний: цемент активністю $450 \text{ кгс/см}^2 = 0,675 \text{ т}$ на 1 м3 піску з насипною щільністю кг/м^3 ; портландцемент М500 - 675 кг; кварцовий пісок - 1450 кг; керамзитовий піл - 130 кг; хімічно-активна добавка - 60 кг. Співвідношення цементу до піску складає 1: 2,15; В/Ц = 0,4-0,42.

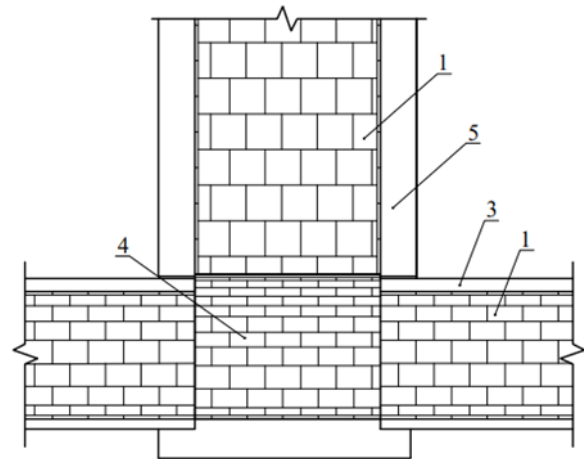


Рис. 2. Оглядова шахта відновлена базальтовою плиткою: 1 – базальтова плитка; 2 – шви 2-3 мм оброблені епоксидним клеєм; 3 – відновлений тунель; 4 – відновлена лоткова частина оглядової шахти; 5 – стіни оглядової шахти.

Робоча поверхня, що футерується, а також плитки кам'яного лиття перед монтажем повинні бути очищені від різноманітних забруднень і мати температуру не менше $+10^\circ\text{C}$.

Виробником продукції кам'яного лиття ООО «Термолит-Інвест» (м. Кривий Ріг, Україна) рекомендовано хімістійкий клей UltraMix E10 для футерування внутрішньої поверхні каналізаційного тунелю та стінок оглядової шахти базальтовою плиткою. Наноситься шар клею – 2-3 мм. Для кращого схоплювання кам'яного лиття з замазкою поверхні плит, що футеруються, повинні мати ребристу або шорсткувату поверхню. Температура приміщень при монтажі повинна бути не нижче $+5^\circ\text{C}$. Після цього клей наноситься на плитку завтовшки 2-3 мм, потім укладається на поверхню і після невеликого простукування гумовим молотком плитка виявляється встановленою. Залишкові зазори між плитками заповнюються замазкою. Товщина шва між плитами має бути 2-3 мм. Обробка швів ведеться вручну. Шви оброблюються епоксидним клеєм. Після футерування ведеться сушіння при $30-40^\circ\text{C}$ протягом 1-1,5 діб із одночасною вентиляцією.

Внутрішню поверхню оглядової шахти та лоткову частину рекомендовано облицювати

базальтовими плитками на запропонованому авторами [6] розчині. Поверхні експлуатаційних ділянок та сходів покривати антикорозійним епоксидним поліуретановим складом «АКВАХИМ» [2].

Для обґрунтування доцільності використання запропонованої технології було розглянуто два варіанти відновлення зруйнованого тунелю: метод з

використанням плитки кам'яного лиття; метод заміни зруйнованих труб на поліетиленові (відкритий спосіб відновлення з демонтажем зруйнованого тунелю). Для прикладу було обрано ділянку тунелю з внутрішнім діаметром 1840 мм, зовнішній діаметр 2520 мм довжиною 30 п.м.

Результати порівняння техніко-економічних показників наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Вартість технологічних рішень відновлення каналізаційного тунелю Ø1840 мм, ділянка 30 п.м.

№	Спосіб проведення робіт	Трудовітність (30 п.м.) люд.-год.	Тривалість виконання робіт, дн.	Вартість матеріалу на 1 м.п., грн
1	Відновлення тунелю запропонованою технологією з використанням базальтової плитки	1882,5	40	16100
2	Відновлення тунелю відкритим способом з використанням труби з ребристого поліетилену SPIRO SN 8	1873	36	49400

Висновки

Отже, в результаті проведених досліджень, в статті запропоновано варіант відновлення ділянки каналізаційного тунелю та межуючої з ним оглядової шахти за з використанням плитки кам'яного лиття (базальт). Варіант відновлення каналізаційного тунелю з використанням плитки кам'яного лиття за вартістю матеріалів практично в 3 рази економніший і доцільніший чим використання ПЕ труби SPIRO. Перевага відновлення каналізаційних тунелів запропонованим способом полягає в довговічності і стійкості матеріалу до агресивного впливу каналізаційного середовища, достатній кількості природного матеріалу в країні та не високій вартості.

Література

1. Алейнікова А. І. Організаційно-технологічні рішення відновлення каналізаційного колектору біля заводу ХТЗ. / А.І. Алейнікова // Науковий вісник будівництва. - Харків : ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2020. - №4. - С. 69–75.
2. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. / В.И. Бабушкин. - Х.: Вища школа, 1989. - 167с.
3. Бондаренко Д.О. Каналізаційні тунелі Харкова: QUO VADIS?: монографія / Д.О. Бондаренко, В.В. Булгаков, О.О. Гармаш, Д.Ф. Гончаренко, С.С. Піліграм; під заг. ред. Гончаренко Д.Ф. - Харків: Раритети України, 2018. - 232
4. Гармаш О. О. Організаційно-технологічні рішення, що забезпечують експлуатаційну надійність комплексу споруд каналізаційних тунелів: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 – технологія та організація промислового та цивільного будівництва. / О.О. Гармаш. - Харків : ХНУБА, 2017. 206 с.

5. Гончаренко Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. / Д.Ф. Гончаренко. - Харьков : Консум, 2008. 400 с.
6. Гончаренко Д. Ф. Исследования и выбор состава раствора для устройства сводовой части восстанавливаемого канализационного коллектора. / Д.Ф. Гончаренко, И.Э. Казимасомедов, А.И. Алейникова, Р.И. Гудилин // Науковий вісник будівництва. 2019. № 1 (95). С. 107–112.
7. Гончаренко Д. Ф. Використання базальту при ремонті і відновленні мереж водопостачання та водовідведення. / Д.Ф. Гончаренко, П.Ю. Гулевський // Український журнал будівництва та архітектури. Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2021. № 2. - с. 36-42. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270421.43.750>
8. Гончаренко Д.Ф. Експериментальні дослідження адгезії базальтових елементів та цементно- пісчаного розчину для доцільності використання в каналізаційному середовищі. / Д.Ф. Гончаренко, П.Ю. Гулевський, А.І. Алейнікова // Збірник наукових праць «Вісник ОДАБА». Одеса: ОДАБА, 2022. № 87. с.40-46. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2022-87-40-46>
9. Goncharenko, D.; Bondarenko, D.; Starkova, O. (2018) Repair and refurbishment technologies for inspection shafts in deep-level sewer tunnels. World Journal of Engineering, 15(1), 48-53. <http://dx.doi.org/10.1108/WJE-12-2016-0161>
10. Гуділін Р. І. Розробка конструктивно-технологічних рішень з ремонту та відновлення каналізаційних колекторів із використанням клинкерної цегли : дис...доктор філософії: 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / Р.І. Гуділін. - Харків, 2021. 137 с.
11. Гулевський П.Ю. Дослідження факторів, що впливають на надійність експлуатації каналізаційних тунелів в місцях приєднання до оглядових шахт. / П.Ю. Гулевський // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2020. №3. – с. 94-98
12. Добряев А. А. Опыт ликвидации аварий на сетях водоотведения открытым способом. / А.А. Добряев // Науковий вісник будівництва. 2004. № 26. С. 89–94.
13. Плугин А. А. Агрессивность эксплуатационной среды сетей и сооружений водоотведения. / А.А. Плугин,

В.И. Бабушкин // Бетон и железобетон в Украине. 2007. № 4(38). С. 21–27

14. Старкова О. В. Модели обоснованного выбора метода ремонта и восстановления участка канализационной сети. / О.В. Старкова // Научный вестник строительства. 2016. № 3 (85). С. 80–85.

15. Шматченко В. І. Технологія відновлення трубопроводу водовідведення відкритим способом в м. Харкові. / В.І. Шматченко, В.С. Шмуклер, Д.Ф. Гончаренко, А.А. Добряев // Будівництво України. 2006. № 5. С. 15–19.

16. Юрченко В. А. Образование сероводорода – проблема эксплуатационной надежности и экологической безопасности водоотведения. / В.А. Юрченко, А.В. Коваленко, Е.В. Бригада, Е.С. Лебедева // Научный вестник строительства. 2014. № 3. С. 218–223.

17. Hlozek H., Smetaczek A., Austria W. (1998) Efficient sewer construction for profile sewers with pneumoformwork. *Correspondenz waste water*, 45, No. 6, 1107–1109.

18. Horstmann J., Pfannenschmidt P. (2002) Geosynthetics in pipeline construction. *Earthwork and foundation engineering*, 29–33.

19. Mathews D., Soh A. (2015) Polyethylene Encasement for External Corrosion Control for Iron Pipelines. *Florida Water Resources Journal*, 12, 44–49.

20. Nazemi M. K. (2016) Corrosion Study of Protective Coatings Used in Sewer Concrete. *Sydney Digital Theses*, 8.

21. Sobek W. (1991) Hanover and Stuttgart. Production of concrete shells on pneumatically supported formwork. *Civil engineer*, 66, 545–550.

22. Stein D., Niederehe W. (1992) Maintenance of sewers. 2nd revised and expanded edition. Verlag Ernst & Sohn.

References

1. Aleynikova A. I. (2020) Organizational and technological solutions for the restoration of the sewage collector near the KhTZ plant. *Scientific bulletin of construction. Kharkiv: KhDTUBA*, Vol. 4, 69–75.

2. Babushkin V.I. (1989) Zashchita stroitelnikh konstruktov ot korrozii, stareniya i iznosa. *Vishcha shkola, Kharkiv*, 167.

3. Bondarenko D.O., Bulgakov V.V., Garmash O.O., Goncharenko D.F., Piligrim S.S. (2018) Sewer tunnels of Kharkiv: QUO VADIS? *Rarities of Ukraine*, Kharkiv, 232.

4. Garmash O.O. (2017) Organizational and technological solutions that ensure the operational reliability of a complex of sewage tunnel structures: dissertation candidate technical Sciences: 05.23.08 - technology and organization of industrial and civil construction. *Kharkiv, KHNUBA*, 206

5. Goncharenko D. F. (2008) Eksploatatsiya, remont i vosstanovlenie setei vodoотвоєdeniya. *Kharkiv, Konsum*, 400

6. Goncharenko D.F., Kazimagomedov I.E., Aleynikova A.I., Gudylin R.I. (2019) Research and selection of the composition of the solution for the construction of the vault part of the restored sewage collector. *Scientific bulletin of construction*, 1(95), 107–112.

7. Goncharenko D.F., Hulevskiy P.Yu. (2021) Use of basalt in repair and restoration of water supply and sewerage. *Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2, 36–42. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270421.43.750>

8. Goncharenko D.F., Hulevskiy P.Yu., Aleynikova A.I. (2022) Experimental studies of the adhesion of basalt elements and cement-sand mortar for the feasibility of use in a sewage environment. *Collection of Scientific Works of the Odessa Academy of Construction*, 87, 40–46. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2022-87-40-46>

9. Goncharenko, D.; Bondarenko, D.; Starkova, O. (2018) Repair and refurbishment technologies for inspection shafts in deep-level sewer tunnels. *World Journal of Engineering*, 15(1), 48–53. <http://dx.doi.org/10.1108/WJE-12-2016-0161>

10. Gudilin R. I. (2021) Development of structural and technological solutions for the repair and restoration of sewer collectors using clinker bricks: diss. Doctor of Philosophy: 192 – Construction and Civil Engineering. *Kharkiv, KHNUBA*, 137

11. Hulevskiy P. (2020) Study of factors affecting the reliability of operation of sewage tunnels at the points of connection to inspection mines. *Scientific Bulletin of Construction*, 3, 94–98

12. Dobryaev A. A. (2004) Experience in liquidation of accidents in sewerage networks in an open way. *Scientific Bulletin of Construction*, 26, 89–94.

13. Plugin A. A., Babushkin V. I. (2007) Aggressiveness of the operational environment of sewerage networks and facilities. *Concrete and reinforced concrete in Ukraine*, 4(38), 21–27.

14. Starkova O. V. (2016) Models for the reasonable choice of the method of repair and restoration of a section of the sewer network. *Scientific Bulletin of Construction*, 3(85), 80–85.

15. Shmatchenko V. I., Shmukler V. S.; Goncharenko D. F., Dobryaev A. A. (2006) Technology of open drainage pipeline restoration in the city of Kharkiv. *Construction of Ukraine*, 5, 15–19.

16. Yurchenko V. A., Kovalenko A. V., Brigada E. V., Lebedeva E. S. (2014) The formation of hydrogen sulfide is a problem of operational reliability and environmental safety of water disposal. *Scientific Bulletin of Construction*, 3, 218–223.

17. Hlozek H., Smetaczek A., Austria W. (1998) Efficient sewer construction for profile sewers with pneumoformwork. *Correspondenz waste water*, 45, No. 6, 1107–1109.

18. Horstmann J., Pfannenschmidt P. (2002) Geosynthetics in pipeline construction. *Earthwork and foundation engineering*, 29–33.

19. Mathews D., Soh A. (2015) Polyethylene Encasement for External Corrosion Control for Iron Pipelines. *Florida Water Resources Journal*, 12, 44–49.

20. Nazemi M. K. (2016) Corrosion Study of Protective Coatings Used in Sewer Concrete. *Sydney Digital Theses*, 8.

21. Sobek W. (1991) Hanover and Stuttgart. Production of concrete shells on pneumatically supported formwork. *Civil engineer*, 66, 545–550.

22. Stein D., Niederehe W. (1992) Maintenance of sewers. 2nd revised and expanded edition. Verlag Ernst & Sohn.

Рецензент: д.т.н., професор, завідувач кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій О.В. Старкова, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна.

Автор: АЛЕЙНИКОВА Алевтина Ігорівна
доктор технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – alevtynaal222@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9034-8830>

Автор: ГУЛЄВСЬКИЙ Павло Юрійович
аспірант
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – gulevskiyp@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4164-2101>

Автор: ВОРОНЕНКО Ігор Вікторович
Заступник директора з виробництва Комплексу
«Харківводовідведення»
Комунальне підприємство «Харківводоканал»
E-mail – ptokhvo@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0109-5779>

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE REPAIR AND RESTORATION OF SEWAGE TUNNELS IN THE PLACES ADJACENT TO EXPLORATION MINES

A. Aleynikova¹, P. Hulievskiy¹, I. Voronenko²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²Communal enterprise “Kharkivvodokanal”, Ukraine

The analysis of the occurrence of typical accidents of water drainage networks indicates a number of reasons for their failure, namely: a 2-3 times decrease in the amount of sewage over the last 20 years; increase in aggressiveness of wastewater, decrease in flow rate and increase in rainfall. During operation beyond the regulatory term, the reinforced concrete vault of the tunnel is almost completely destroyed as a result of biogenic corrosion. The listed reasons for the destruction of sewage tunnels built more than 50 years ago are generally similar in nature. From the above, it follows that the specifics of the operation of sewer tunnels can be highlighted - the cross-section diameter is more than 1500 mm and the laying depth is more than 5-7 m. It should be noted that the sections of the tunnels at the points of connection with inspection shafts, as well as the structure of inspection shafts, experience the greatest corrosion. A significant role in the repair and restoration of water drainage structures is played by the selection of materials and structures capable of counteracting the aggressive effects of hydrogen sulfide and other gases. In Ukraine and abroad, considerable experience has been accumulated in the repair and restoration of drainage network structures using materials and structures with high acid and alkali resistance. Conducted research has shown that products based on basalt have a number of advantages: high strength, fairly low weight, reliability during operation in a wide temperature range, they are not prone to corrosion and have high chemical resistance. The experience of working with pneumatic formwork gives them special importance, because they ensure the following requirements: quick installation and dismantling of the formwork; the possibility of using it for curved spatial surfaces forms, even with large spans; multiple reversibility of the formwork. The technology for the construction of the vaulted part of the sewer tunnel with internal finishing with stone casting tiles involves the following stages: dismantling of emergency sections of the tunnel (vaults, walls); clearing the tray part of the tunnel; restoration of the section of the tunnel part of the tunnel (if the tunnel is destroyed); cleaning of the existing fittings to ensure the joint operation of the tray and the protective coating of the vault being erected; installation of pneumatic formwork for the construction of the tunnel vault with internal finishing with stone casting tiles; laying stone casting tiles; installation of the necessary fittings for the protective lining of the vault made of monolithic reinforced concrete; creation of inventory formwork; laying the concrete mixture of the monolithic part of the vault; dismantling of pneumatic and inventory formwork after gaining strength of concrete; backfilling of the trench with compaction. The main period of restoration of the observation shaft with the help of lining the walls with stone-cast basalt tiles: dismantling of floor slabs; cleaning of walls from corrosion products; injection of anti-corrosion concrete on a small filler of space at the junctions of the tunnel; reinforcement of the mine walls (in case of deep corrosion of the walls); facing the walls of the observation shaft with stone-cast basalt tiles; treatment of the inner surface of operational areas and stairs with anti-corrosion epoxy polyurethane compound "AQUAKHIM". To justify the feasibility of using the proposed technology, two options for restoring the destroyed tunnel were considered: the method using stone casting tiles; the method of replacing destroyed pipes with polyethylene ones (an open method of restoration with dismantling of the destroyed tunnel). The option of restoring the sewer tunnel using stone casting tiles is almost 3 times more economical and expedient in terms of the cost of materials compared to the use of SPIRO PE pipe. The advantage of restoring sewage tunnels in this way is the durability and resistance of this material to aggressive effects, a sufficient amount of natural material in the country, and low cost.

Keywords: sewage tunnel, inspection shaft, basalt, pneumatic formwork, technological solutions, open method.