

УДК 65.05+628.23

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261021.34.798

ВІДНОВЛЕННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АНКЕРНИХ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ЛИСТІВ

ГОНЧАРЕНКО Д. Ф.^{1*}, *докт. техн. наук, проф.*,
КАРЄВ А. І.², *канд. техн. наук*,
ДАНЧЕНКО Ю. М.³, *докт. техн. наук, проф.*,
ДЕГТЯР Є. Г.⁴, *аспір.*

^{1*} Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (057) 700-02-40, e-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua, ORCID ID: 0000-0003-1278-0895

² Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (066) 997-06-05, e-mail: armkarev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7726-0359

³ Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (066) 322-47-45, e-mail: u_danchenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3865-2496

⁴ Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (095) 466-79-67, e-mail: evgeniydegtyar.kh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5212-2438

Анотація. *Постановка проблеми.* Мікробіологічна корозія, яка виникає внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів у стічних водах, спричиняє руйнування склепінної частини та суттєво скорочує строк служби залізобетонних та бетонних трубопроводів водовідведення. Частково зруйновані трубопроводи каналізаційних мереж, що експлуатуються в різних гідрогеологічних умовах, часто на великих глибинах, мають бути відновлені з використанням матеріалів, які зможуть забезпечити надійність подальшої експлуатації в умовах мікробіологічної корозії, економічність і простоту ремонту. Це, насамперед, матеріали на основі полімерів. Відкритий спосіб ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних трубопроводах має значні переваги перед безтраншейним, якщо їх глибина залягання незначна та виконанню робіт не заважають міський транспорт і пішохідні артерії. Отже, розроблення технології ремонту та відновлення зруйнованих мікробіологічною корозією залізобетонних та бетонних колекторів із використанням сучасних матеріалів на основі полімерів постає актуальним завданням. **Мета** – розроблення технології та послідовності ремонтно-відновлювальних робіт для відновлення зруйнованої склепінної частини каналізаційних залізобетонних і бетонних трубопроводів відкритим способом із використанням пневмоопалубки та захисних анкерних поліетиленових листів. **Висновок.** У результаті проведених досліджень розроблено технологію та послідовність ремонтно-відновлювальних робіт із відновлення каналізаційних залізобетонних і бетонних колекторів з п'яти етапів, включаючи етап очищення колектора від продуктів корозії і зруйнованих частин, монтаж в уцілілу лоткову частину колектора пневматичної опалубки і анкерного поліетиленового листа, монтаж металевої інвентарної опалубки, відновлення бетонуванням склепінної частини поверх анкерного поліетиленового листа та демонтаж пневмо- і металевої інвентарної опалубки.

Ключові слова: *ремонт та відновлення; каналізаційні трубопроводи; мікробіологічна корозія; полімерні матеріали; відкритий спосіб*

RECOVERY OF SEWER PIPELINES USING ANCHOR POLYETHYLENE SHEETS

HONCHARENKO D.F.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KARIEV A.I.², *Cand. Sc. (Tech.)*,
DANCHENKO Yu.M.³, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
DEHTIAR Ye.H.⁴, *Postgrad. Stud.*

^{1*} Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska Str., 61002, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (057) 700-02-40, e-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua, ORCID ID: 0000-0003-1278-0895

² Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska Str., 61002, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (066) 997-06-05, e-mail: armkarev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7726-0359

³ Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska Str., 61002, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (066) 322-47-45, e-mail: u_danchenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3865-2496

⁴ Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 40, Sumska Str., 61002, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (095) 466-79-67, e-mail: evgeniydegtyar.kh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5212-2438

Abstract. Raising of problem. Microbiological corrosion, which occurs as a result of the vital activity of microorganisms in wastewater, causes the destruction of the vaulted part and significantly reduces the service life of reinforced concrete and concrete drainage pipelines. Partially destroyed pipelines of sewerage networks, operating in various hydrogeological conditions, often at great depths, must be restored using materials that can ensure the reliability of further operation in conditions of microbiological corrosion, cost-effectiveness and ease of repair. These are primarily polymer-based materials. The open method of repair and restoration work on sewer pipelines has significant advantages over trenchless, if their depth is insignificant and urban transport and pedestrian arteries do not interfere with the work. Thus, the development of a technology for repair and restoration of reinforced concrete and concrete collectors destroyed by microbiological corrosion using modern materials based on polymers is an urgent task. **Purpose.** Development of technology and sequence of repair and restoration work for the restoration of the destroyed vaulted part of sewer reinforced concrete and concrete pipelines by an open method using pneumatic formwork and protective anchor polyethylene sheets. **Conclusion.** As a result of the research, a technology and sequence of repair and restoration work was developed to restore sewer reinforced concrete and concrete collectors from 5 stages, including the stage of cleaning the collector from corrosion products and destroyed parts, installation of a pneumatic formwork and an anchor polyethylene sheet in the surviving chute part of the collector, installation of metal inventory formwork, restoration by concreting the arch on top of the anchor polyethylene sheet and dismantling of the pneumatic and metal inventory formwork.

Keywords: *repair and restoration; sewer pipelines; microbiological corrosion; polymeric materials; open method*

Значна частина каналізаційних мереж водовідведення України, прокладених у минулому столітті, наразі вичерпала свій амортизаційний ресурс [2]. Як показують дослідження, будівництво каналізаційних трубопроводів у більшості випадків виконувалось із бетону та залізобетону, які схильні до руйнування внаслідок впливу багатьох факторів і, в першу чергу, мікробіологічної корозії.

Встановлено, що саме мікробіологічна корозія, яка виникає внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів у стічних водах, спричиняє руйнування склепінної частини та суттєво скорочує строк служби трубопроводів [8]. Тому частково зруйновані залізобетонні та бетонні трубопроводи каналізаційних мереж, що експлуатуються в різних гідрогеологічних умовах, часто на великих глибинах, мають бути відновлені з використанням матеріалів, які зможуть забезпечити надійність подальшої експлуатації в умовах мікробіологічної корозії, економічність і простоту ремонту. Перш за все це матеріали на основі полімерів.

Як свідчать проведені дослідження [5], відкритий спосіб ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних трубопроводах має значні переваги перед безтраншейним, якщо їх глибина залягання

незначна та виконанню цих робіт не заважають міський транспорт і пішохідні артерії.

У праці [12] наведено дані досліджень пластичних матеріалів для використання під час ремонтно-відновлювальних робіт. У [13] – наведено результати імітованих мікробіологічних явищ корозії каналізаційних мереж у лабораторії та досліджено характеристики епоксидних покриттів із біоцидами і без них шляхом експозиції з культурою тіонових (сульфатредукувальних) бактерій в анаеробних умовах. Мікробіологічну ефективність оцінювали шляхом формування зони гальмування, візуального спостереження, SEM-аналізу (сканувальна електронна мікроскопія), антикорозійної властивості EIS (електрохімічна імпедансна спектроскопія) та аналізу адгезії покриття з внутрішньою стінкою колектора.

Дослідження [11] присвячене вивченню використання полімерних матричних композитів для ремонту і зміцнення пошкоджених структур трубопроводів. На основі експериментальних досліджень виявлено ефективність нового композитного матеріалу для відновлення внутрішньої стінки трубопроводів.

У праці [10] наведено порівняльну оцінку поліуретану та полівінілхлориду в

облицюванні бетонних каналізаційних труб для запобігання біологічній корозії. Експериментальні результати свідчили, що після трьох місяців поліуретан порівняно з ПВХ показав кращу міцність і стійкість у кислотному агресивному середовищі. Крім того, завдяки міцному зв'язку з бетонною поверхнею поліуретанова футеровка зводила до мінімуму проникнення кислого розчину (спричиненого ферментацією стічних вод у каналізаційні труби) до тіла бетону.

У публікації [1] показано, що для необхідного бактерицидного ефекту епоксидних матеріалів, які можуть використовуватись як захисні покриття внутрішньої поверхні каналізаційних трубопроводів, необхідно на стадії змішування композиції додавати бактерициди – неіоногенні поверхнево-активні речовини.

Останнім часом у країнах Західної Європи значна увага приділяється будівництву із монолітного залізобетону з використанням пневматичної опалубки. У праці [4] розглянуто методи виконання робіт із застосуванням пневматичної опалубки. При цьому автор підкреслює можливість створення конструкцій широкого спектра геометричних форм. Серед них можливість застосування пневматичної опалубки для

створення трубопроводів на прикладі застосування цієї технології в Італії в 1938 році.

Австрійські вчені дослідили використання пневматичної опалубки для улаштування каналізаційних каналів овоїдального профілю у Відні [9]. Для влаштування каналу заздалегідь у заводських умовах виготовляли лоткові залізобетонні конструкції, які укладали на спеціальні опори. На ці лоткові конструктиви монтували пневмоопалубку та бокову опалубку. Після набирання міцності бетонною сумішшю виконували демонтаж опалубок.

Таким чином, можна розглядати ефективність відновлення склепінної частини бетонних та залізобетонних каналізаційних трубопроводів із використанням пневматичної опалубки, застосуванням анкерних полімерних листових матеріалів, за допомогою яких створюється новий бетонний шар склепінної частини. Для забезпечення більш надійного зчеплення бетону та полімерного листа найбільш доцільне використання анкерних листових матеріалів із термопластичного полімеру, а саме, поліетилену. Зовнішній вигляд анкерних листів з поліетилену показано на рисунку 1.



Рис. 1. Анкерні листи з поліетилену [3; 7]

Поліетилен – речовина, що отримується шляхом полімеризації молекул етилену за дотримання певних технологічних процесів. Область застосування поліетилену досить широка – від виробництва пакетів до будівельних мембран і трубопроводів [6].

Наразі існує велика кількість різновидів поліетилену, які відрізняються певними властивостями і технічними характеристиками. Залежно від способу отримання, розрізняються не тільки властивості, а і маркування поліетилену:

- поліетилен низького тиску (ПЕНД, HDPE). У процесі полімеризації газоподібного етилену завдяки певному рівню тиску молекулярні зв'язки мають більш щільну структуру і мінімум відгалужень, матеріал має високу міцність на розрив. Інша назва такого матеріалу – поліетилен високої щільності (ПЕВЩ);

- поліетилен високого тиску (ПЕВТ, LDPE). Відрізняється наявністю довгих молекулярних ланцюгів із великою кількістю відгалужень. Має більшу еластичність, але меншу міцність на розрив;

- спінений поліетилен (ППЕ). За структурою полімер має велику кількість закритих пор, заповнених газом. Матеріал відрізняється низькою теплопровідністю, завдяки чому отримав широке застосування як утеплювач, звуко- та гідроізолятор. З нього виготовляються різні будівельні плівки і мембрани;

- зшитий поліетилен (ХРЕ, ХРЛЕ, РЕХ). Такий матеріал отримують методом зшивання поперечних ланок молекул. У результаті виходить єдина тривимірна структура, що має підвищену міцність. Вироби із зшитого ПЕ відрізняються високим рівнем жорсткості і термостійкості, отож із полімеру виробляють різні труби;

- лінійний поліетилен (ЛПЕНЩ, ПЕСП, LLDPE). Цей різновид отримують у результаті полімеризації молекул етилену з олефінами. За внутрішньою структурою лінійний ПЕ відрізняється наявністю великої кількості коротких відгалужень і високою міцністю молекулярного ланцюжка.

Незалежно від маркування та способу отримання, поліетилени, властивості і застосування яких дещо відрізняються, мають цілу низку загальних характеристик, неоціненних для використання в будівництві. Це:

- абсолютна водонепроникність. Полімер не змочується водою і не вбирає її, якщо до нього не були застосовані різні хімічні реагенти, зокрема, кислоти і окиснювачі;

- висока хімічна стійкість. Матеріал не взаємодіє з водними розчинами будь-яких

лугів, кислот і солей, за кімнатної температури не піддається впливу будь-яких органічних розчинників. У разі підвищення температури більше +60 градусів легко розчиняється за дії сульфатної та нітратної кислот;

- має невелику вагу і різну щільність. Показники залежать від різновиду і способу отримання певного виду поліетилену;

- кристалізація полімеру настає в діапазоні температур від -60 до -296 °С.

Завдяки значному поширенню, технічним характеристикам і невисокій вартості отримання, поліетилен застосовується в багатьох галузях промисловості і народного господарства. Сьогодні існує маса спеціальних монтажних плівок і мембран, які широко використовуються в будівництві як паро- і гідроізоляція. Для прокладання різних інженерних комунікацій (зокрема, магістралі подачі холодної води) широко використовуються труби із зшитого поліетилену. Як ізоляцію проводів також застосовують спеціальні захисні короби з поліетилену.

Завдяки доступності та поширеності сучасних будівельних полімерних матеріалів з'явилась можливість розроблення нових технологій ремонту та відновлення колекторів, які включають певний перелік операцій. Перед установленням пневмоопалубки уцілілу лоткову частину труби очищають від продуктів корозії та частково відновлюють.




Пневмоопалубка, яка сприймає нормальні зусилля об'ємних зігнутих структур, належить до тимчасових і ефективних несних конструкцій [14]. Пневматична опалубка забезпечує виконання таких вимог: швидкий монтаж і демонтаж; можливість використання для просторових поверхонь скривленої форми, навіть із великими прогонами; багаторазова оборотність.

Після встановлення на поверхні пневмоопалубки монтується анкерний поліетиленовий лист (операція 1) та металева інвентарна опалубка (операція 2).

На поверхні створюється новий шар бетону (операція 3) та після його твердіння здійснюється демонтаж пневмо- і металевої інвентарної опалубки (операція 4).

Таблиця

Технологічна послідовність відновлення зруйнованого корозією каналізаційного колектора Ø800 мм із використанням анкерного поліетиленового листа

Операція	Загальний вигляд	Технологічний процес	Матеріал конструкції та оснастка
1	2	3	4
1		Монтаж в уцілілу лоткову частину колектора пневматичної опалубки та анкерного поліетиленового листа	Уціліла лоткова частина, пневматична опалубка, анкерний поліетиленовий лист
2		Монтаж металевої інвентарної опалубки	Металева інвентарна опалубка
3		Бетонування склепінної частини поверх анкерного поліетиленового листа	Бетонна суміш для отримання бетону класу С 16/20

4		<p>Фрагмент відновленої склепінної частини колектора</p>	<p>Бетон класу С 16/20 анкерний поліетиленовий лист, уціліла лоткова частина колектора</p>
---	---	--	--

Технологічну послідовність відновлення зруйнованого корозією каналізаційного колектора з використанням пневматичної опалубки та анкерного поліетиленового листа показано в таблиці.

Отже, в результаті проведених досліджень розроблено технологію робіт із ремонту та відновлення колекторів із п'яти етапів, включаючи етап очищення колектора

від продуктів корозії та зруйнованих частин, монтаж в уцілілу лоткову частину колектора пневматичної опалубки і анкерного поліетиленового листа, монтаж металевої інвентарної опалубки, бетонування склепінної частини поверх анкерного поліетиленового листа та демонтаж пневмо- і металевої інвентарної опалубки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андронов В. А., Данченко Ю. М. Технологии повышения экологической безопасности и долговечности сетей водоотведения. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 6/8 (60). С. 18–24.
2. Гончаренко Д. Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. Харьков : Консум, 2008. 400 с.
3. Группа компаний «Медпласт». Полимерные листы. URL: <https://meaplast.ru/ankernyj-list/>
4. Гуділін Р. І. Розробка конструктивно-технологічних рішень з ремонту та відновлення каналізаційних колекторів із використанням клінкерної цегли : дис...доктор філософії: 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Харків, 2021. 137 с.
5. Добряев А. О. Розробка організаційно-технологічних рішень ремонту та відновлення трубопроводів водовідведення відкритим способом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Харків, 2006. 18 с.
6. Поліетилен – властивості і застосування речовини в різних сферах. URL: <https://irren.com.ua/polietylen-vlastyvoli-i-zastosuvannya-rechovyny-v-riznyh-sferah.html>
7. Промислові пластики. URL: <http://ua.welding.com.ua/prom-plastix.html>
8. Юрченко В. А., Коваленко А. В., Бригада Е. В., Лебедева Е. С. Образование сероводорода – проблема эксплуатационной надежности и экологической безопасности водоотведения. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 3. С. 218–223.
9. Hlozek H., Smetaczek A., Österreich W. Rationeller Kanalbau für Profilkanaele mit der Pneumoschalung. *Korrespondenz Abwasser*. 1998. Vol. 45, № 6. Pp. 1107–1109.
10. Pazoki M. Comparativ Evaluation of Poly Urethane and Poly Vinyl Chloride in Lining Concrete Sewer Pipes for Preventing Biological Corrosion. *International Journal of Environmental Research*. 2016. Vol. 10, № 2. Pp. 305–312.
11. Rohem N. R. Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair. *Composite Structures*. 2016. № 152. Pp. 737–745.
12. Süddeutsches K.-Z., Bodo M. Wie nachhaltig sind Kunststoffrohre zur Kanalsanierung. *Wasser. Abwasser*. 2010. № 1. P. 16.
13. Tambe S. P., Jagtap S. D., Chaurasiya A. K., Joshi K. K. Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria. *Progress in Organic Coatings*. 2016. № 94. Pp. 49–55.
14. Sobek W. Betonschalen und pneumatisch vorgespannte Membranen. *Deutsche Bauzeitung*. 1990. № 124. P. 7.

REFERENCES

1. Andronov V.A. and Danchenko Yu.M. *Tekhnologii povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti i dolgovechnosti setej vodootvedeniya* [Technologies for improving environmental safety and durability of sewerage networks]. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij* [Eastern European Journal of Advanced Technologies]. 2012, no. 6/8 (60), pp. 18–24. (in Russian)
2. Honcharenko D.F. *Ekspluatatsiya, remont i vosstanovlenie setej vodootvedeniya: monografiya* [Operation, repair and restoration of sewerage networks: monograph]. Kharkiv : Konsum Publ., 2008, 400 p. (in Russian)
3. *Gruppa kompanij «Medplast». Polimernye listy* [Group of companies "Medplast". Polymer sheets]. URL: <https://meaplast.ru/ankernyj-list/> (in Russian)
4. Hudilin R.I. *Rozrobka konstruktivno-tekhnolohichnykh rishen z remontu ta vidnovlennia kanalizatsiinykh kolektoriv iz vykorystanniam klinkeranoi tshly : dys...doktor filosofii : 192 – Budivnytstvo ta tsyvilna inzheneriia* [Development of constructive-technological solutions for repair and restoration of sewer collectors with the use of clinker bricks : Doctor of Philosophy : 192 – Construction and Civil Engineering]. Kharkiv, 2021, 137 p. (in Ukrainian)
5. Dobriaiev A.O. *Rozrobka orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen remontu ta vidnovlennia truboprovodiv vodovidvedennia vidkrytyim sposobom : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08* [Development of organizational and technological solutions for repair and restoration of drainage pipelines in an open way : author's ref. dis. ... Cand. Tech. Sc. : 05.23.08]. Kharkiv, 2006, 18 p. (in Ukrainian)
6. *Polietylen – vlastyvosti i zastosuvannia rechovyny v riznykh sferakh* [Polyethylene – properties and applications of the substance in various fields]. URL: <https://irren.com.ua/polietylen-vlastyvosti-i-zastosuvannya-rechovyny-v-riznykh-sferah.html> (in Ukrainian)
7. *Promyslovi plastyky* [Industrial plastics]. URL : <http://ua.welding.com.ua/prom-plastix.html> (in Ukrainian)
8. Yurchenko V.A., Kovalenko A.V., Brigada Ye.V. and Lebedeva Ye.S. *Obrazovanie serovodoroda-problema ekspluatatsionnoj nadezhnosti i ekologicheskoy bezopasnosti vodootvedeniya* [The formation of hydrogen sulfide is a problem of operational reliability and environmental safety of wastewater disposal]. *Naukovij visnik budivnictva* [Scientific Bulletin of Construction]. 2014, no. 3, pp. 218–223. (in Russian)
9. Hlozek H., Smetaczek A. and Österreich W. Rationeller Kanalbau für Profilkanaale mit der Pneumoschalung. *Korrespondenz Abwasser*. 1998, vol. 45, no. 6, pp. 1107–1109.
1. Pazoki M. Comparativ Evaluation of Poly Urethane and Poly Vinyl Chloride in Lining Concrete Sewer Pipes for Preventing Biological Corrosion. *International Journal of Environmental Research*. 2016, vol. 10, no. 2, pp. 305–312.
2. Rohem N.R. Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair. *Composite Structures*. 2016, no. 152, pp. 737–745.
3. Süddeutsches K.-Z. and Bodo M. Wie nachhaltig sind Kunststoffrohre zur Kanalsanierung. *Wasser. Abwasser*. 2010, no. 1, p. 16.
4. Tambe S.P., Jagtap S.D., Chaurasiya A.K. and Joshi K.K. Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria. *Progress in Organic Coatings*. 2016, no. 94, pp. 49–55.
5. Sobek W. Betonschalen und pneumatisch vorgespannte Membranen. *Deutsche Bauzeitung*. 1990, no. 124, p. 7.

Надійшла до редакції: 01.10.2021.