

Харківський національний університет міського господарства
імені М.О. Бекетова
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДЕГТЯР Євгеній Геннадійович

УДК 628.24+69.059

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕМОНТУ ТА
ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО
ЗАЛЯГАННЯ**

192 – Будівництво та цивільна інженерія

спеціальність

19 – архітектура та будівництво

галузь знаньф

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Є.Г. Дегтяр

Наукові керівники:

Гончаренко Дмитро Федорович

доктор технічних наук, професор

Алейнікова Алевтина Ігорівна

доктор технічних наук, доцент

Харків – 2023

АНОТАЦІЇ. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Анотація (українською мовою).

Дегтяр Є.Г. Організаційно-технологічні рішення ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання - кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 - «Будівництво та цивільна інженерія» – Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Міністерства освіти і науки України, Харків, 2023.

Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування та розробка організаційно-технологічних рішень ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим способом із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону та листових полімерних матеріалів.

У кваліфікаційній роботі науково обґрунтовані та розроблені організаційні та технологічні рішення з ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим способом.

Розподільча система інженерних мереж каналізаційного господарства міст України являє собою складний комплекс споруд для сталого відведення стічних вод.

У сучасних умовах підприємства каналізаційного господарства працюють в обмежених технічних і організаційних умовах, що підтверджується високим ступенем зношеності основних активів та аварійним станом значної частини мереж в рамках недостатнього фінансування галузі.

Прокладені понад 40 років тому каналізаційні колектори внаслідок інтенсивної дії руйнівних факторів, головним із яких є корозія бетону, перебувають нині в аварійному стані.

В результаті дослідження стану колекторів водовідведення неглибокого залягання встановлено, що більшість із них, побудованих 40...50 років тому,

вичерпала свій ресурс і знаходиться в аварійному або передаварійному стані. Про це свідчить значна кількість аварій на колекторах, що транспортують стічні води, як в містах так і за їх межами.

Встановлено, що при розташуванні колекторів поза зоною транспортних та пішохідних артерій має місце виконання ремонтних робіт на них традиційним відкритим способом.

В роботі розглянуто відкриті способи ремонту та відновлення колекторів за кордоном та в Україні. Заслужують уваги шатровий спосіб, який успішно використовувався в місті Харкові, використання для ремонту та відновлення колекторів профільованого поліетилену який у формі трубчатої конструкції виготовленої в заводських умовах монтувався на збережений лоток із послідуочим бетонуванням з допомогою металевої опалубки, заміна зруйнованих корозією залізобетонних труб на труби виготовлені із шлакового литва.

Визначено вимоги до колекторів водовідведення на стані їх будівництва та основні фактори, які призводять до руйнації конструкцій. В результаті аналізу публікацій зарубіжних та вітчизняних вчених, дослідження стану зруйнованих колекторів встановлено, що головною причиною руйнації залізобетонних та бетонних колекторів є мікробіологічна корозія внутрішньої поверхні, що, як правило, призводить до повної руйнації склепової частини.

Запропоновано теоретичні та практичні рекомендації підвищення корозійної стійкості цементного каменю шляхом зниження його капілярної пористості. Це досягнуто використанням спеціальних мінеральних добавок на стадії приготування бетонної суміші.

В роботі розроблено напівфункціональну добавку, обґрунтовано спосіб введення добавки в бетон, з урахуванням іонного балансу різних форм кальцію, кремнію, алюмінію і синтезувати додаткові кристалогідрати в процесі твердіння, зарощуючи пори і капіляри кристалічними новоутвореннями.

Високу ефективність для протидії корозії мають полімерні матеріали, які

характеризуються абсолютною водонепроникністю, високою хімічною стійкістю, невеликою вагою і різною щільністю.

З використанням методу скінчених елементів доведено можливість використання для ремонту та відновлення колекторів відкритим способом конструкцій із корозієстійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою. Під час проведення розрахунків була використана модель колектора, яка включає в себе збережену лоткову частину, виготовлену з бетону класу С12/15. Верхню частину колектора виготовляється з бетону С20/25. Моделювання фрагмента колектора, яке виконувалось в програмному комплексі Ліра-САПР виконано 6-ти вузловими об'ємними КЕ. Розміри КЕ не перевищують 0,1 м. Грунт змодельовано за допомогою КЕ-273 «Фізично нелінійний об'ємний КЕ в формі тригранної призми».

В лабораторних умовах виконано дослідження наступних відкритих способів ремонту та відновлення склепової частини колекторів: із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону, армованого склопластиковою арматурою; із використанням полімерних бетонозахисних листів фірми АGRU; із використанням ребристих поліетиленових листів.

Дослідження по відновленню склепової частини у всіх випадках виконувались із використанням пневматичної та інвентарної металевої опалубки.

Дослідження міцнісних показників відновлених колекторів показав високу ефективність розроблених відкритих способів.

Розрахунок використання збереженого лотка для створення овалоедального поперечного перерізу колектора дозволяє збільшити його пропускну можливість.

Використання розроблених способів дозволяє майже в 2,5 рази зменшити собівартість ремонтно-відновлювальних робіт у порівнянні із використанням для цієї мети поліетиленових труб відповідного діаметру.

Результати цього дослідження мають практичне застосування при прийнятті організаційних та технологічних рішень щодо відновлення

колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим (традиційним) способом. Зокрема, вони можуть використовуватись на етапах розробки проектів організації та виконання робіт. Найдуть своє застосування під час формування інвестиційних проектів, а також при прогнозуванні надійності функціонування колекторів водовідведення.

Ці наукові висновки вже застосовані для виконання господарського науково-дослідної роботи, замовником якої є Комунальне підприємство "Харківводоканал".

Дослідження зосереджено на впровадженні методу відкритого та відновлення колекторів водовідведення. Результати дисертаційної роботи відображаються в актах впровадження рекомендацій з відновлення мереж водовідведення

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше розроблено конструктивне рішення ремонту та відновлення колектору водовідведення неглибокого залягання із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою;

вперше запропоновано відновлення склепінної частини колектора водовідведення із використанням листових полімерних матеріалів: поліетиленових листів AGRU, та поліетиленових листів із лінійними ребрами;

вперше розроблено рішення, що дозволяє збільшити пропускну можливість колектора, що відновлюється;

удосконалено технологію виконання робіт по ремонту та відновленню колекторів водовідведення відкритим способом з допомогою пневматичної та інвентарної металеві опалубок.

Ключові слова: будівництво, водовідведення, колектор, стічні води, надійність, реконструкція, відновлення, ремонт, метод, знос, корозія, сірководень, залізобетон, полімер.

Abstract (in English).

Degtiar Ie. Organizational and technological rational solutions for the repair and rehabilitation of shallow sewers – Manuscript.

Thesis in support of candidature for the degree of Doctor of Philosophy in specialty "192 - Construction and Civil Engineering" - O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2023.

In the qualification work, organizational and technological solutions for the repair and restoration of open water drainage collectors are scientifically substantiated and developed.

The distribution system of the engineering networks of the sewage system of the cities of Ukraine is a complex complex of structures for the sustainable removal of wastewater. In modern conditions, sewerage enterprises work in limited technical and organizational conditions, which is confirmed by the high degree of wear and tear of the main assets and the emergency condition of a large part of the networks within the framework of insufficient financing of the industry.

Sewage collectors laid more than 40 years ago are now in a state of disrepair due to the intense action of destructive factors, the main of which is corrosion of concrete.

As a result of the study of the state of shallow drainage collectors, it was established that most of them, built 40...50 years ago, have exhausted their resource and are in an emergency or pre-emergency condition. This is evidenced by a significant number of accidents at collectors that transport wastewater, both in cities and beyond.

It was established that when collectors are located outside the zone of transport and pedestrian arteries, repair work on them should be carried out in the traditional open way.

Open methods of repair and restoration of collectors abroad and in Ukraine are considered in the work. Worthy of attention is the tent method, which was successfully used in the city of Kharkiv, the use for repair and restoration of

collectors of profiled polyethylene, which in the form of a tubular structure manufactured in factory conditions was mounted on a preserved tray with subsequent concreting with the help of metal formwork, replacement of reinforced concrete pipes destroyed by corrosion with pipes made of slag foundry.

The requirements for drainage collectors based on the state of their construction and the main factors that lead to the destruction of structures are determined. As a result of the analysis of the publications of foreign and domestic scientists, the study of the state of destroyed collectors, it was established that the main reason for the destruction of reinforced concrete and concrete collectors is microbiological corrosion of the inner surface, which, as a rule, leads to the complete destruction of the crypt part.

Theoretical and practical recommendations for increasing the corrosion resistance of cement stone by reducing its capillary porosity are offered. This was achieved by using special mineral additives at the stage of preparing the concrete mixture.

The work developed a semi-functional additive, substantiated the method of introducing the additive into concrete, taking into account the ion balance of various forms of calcium, silicon, aluminum and synthesizing additional crystal hydrates during the hardening process, overgrowing the pores and capillaries with crystalline neoplasms.

Polymer materials that are characterized by absolute waterproofness, high chemical resistance, light weight and different densities have a high efficiency in combating corrosion.

With the use of the finite element method, the possibility of using structures made of corrosion-resistant self-sealing concrete reinforced with composite reinforcement for the repair and restoration of collectors by an open method has been proven. During the calculations, a model of the collector was used, which includes the preserved tray part made of concrete class C12/15. The upper part of the collector is made of C20/25 concrete. Modeling of the collector fragment, which was performed in the Lira-CAD software complex, was performed with 6-nodal

volumetric KE. The dimensions of the KE do not exceed 0.1 m. The soil is modeled using KE-273 "Physically nonlinear volumetric KE in the form of a trihedral prism."

The following open methods of repair and restoration of the crypt part of the collectors were studied in laboratory conditions: using corrosion-resistant self-sealing concrete reinforced with fiberglass reinforcement; with the use of polymer concrete protective sheets of the AGRU company; using ribbed polyethylene sheets.

Research on the restoration of the crypt part in all cases was carried out using pneumatic and inventory metal formwork.

The study of the strength indicators of restored collectors showed the high efficiency of the developed open methods.

The calculation of the use of the saved tray to create an oval cross-section of the collector allows to increase its throughput.

The methods makes it possible to reduce the cost of restoration works by almost 2.5 times compared to the use of polyethylene pipes of the appropriate diameter for this purpose.

The results of this study have practical application in making organizational and technological decisions regarding the restoration of shallow water drainage collectors in an open (traditional) way. In particular, they can be used at the stages of development of organization projects and execution of works. They will be used during the formation of investment projects, as well as when predicting the reliability of the functioning of collectors.

These scientific conclusions have already been applied to the implementation of economic research work, the customer of which is the Kharkivvodokanal Communal Enterprise. The study is focused on the implementation of the method of open and restoration of drainage collectors.

The scientific novelty of the obtained results: for the first time, a constructive solution was developed for the repair and restoration of a shallow drainage collector using corrosion-resistant self-compacting concrete reinforced with composite reinforcement; for the first time, the restoration of the vaulted part of the drainage collector was proposed using sheet polymer materials: polyethylene sheets AGRU,

and polyethylene sheets with linear ribs; for the first time, a solution was developed that allows to increase the capacity of the recovering collector; the technology of performing works on the repair and restoration of water drainage collectors in an open way using pneumatic and inventory metal formwork has been improved.

Key words: construction, drainage, sewage collector, reliability, reconstruction, recovery, repair, method, wear, corrosion, hydrogen sulfide, concrete, polymers.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати

1. Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Гуділін Р. І., Дегтяр Є. Г. Оцінка доцільності впровадження нового методу відновлення каналізаційного колектору. *Науковий вісник будівництва*. 2019. № 3 (97). С. 37-42. – URL: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/3_97_2019/10.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-97-3-37-42>

Особистий внесок здобувача у дослідження полягає в проведенні аналізу різних технологій, які застосовуються для відновлення каналізаційних колекторів.

2. Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Старкова О. В., Дегтяр Є. Г. Теоретичне обґрунтування вибору способу відновлення каналізаційних колекторів. *Збірник наукових праць Української державного університету залізничного транспорту*. 2020. № 190. С. 29-37. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/213924> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.190.2020.213924>

Особистий внесок здобувача – розробка методики визначення доцільності вибору способів відновлення каналізаційних колекторів.

3. Гончаренко Д. Ф., Старкова О. В., Гуділін Р. І., Дегтяр Є. Г. Застосування пневмоопалубки для ремонту та відновлення каналізаційних трубопроводів з використанням клінкерної цегли та полімербетону. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. №1 (001). С. 45-51. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/232909> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.230221.45.716>

Особистий внесок здобувача – обґрунтування доцільності використання пневмоопалубки для проведення відновлювальних робіт на колекторах відкритим способом.

4. Дегтяр Є. Г. Ремонт та відновлення каналізаційного колектору із використанням полімербетону. *Науковий вісник будівництва*. 2021. №2(104). С. 147-150

URL: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/2_104_2021/22.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-147-150>

5. Гончаренко Д.Ф., Карєв А.І., Данченко Ю.М., Дегтяр Є.Г. Відновлення каналізаційних колекторів з використанням анкерних поліетиленових листів. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 5 (005). С. 34-40. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/249542> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <http://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261021.34.798>

Особистий внесок здобувача – обґрунтування доцільності та розробка технології відновлення колекторів з використанням анкерних поліетиленових листів, проведення експериментальних досліджень.

6. Дегтяр Є. Г. Розрахунок конструкції каналізаційного колектора при його ремонті та відновленні відкритим способом. Збірник наукових праць Української державного університету залізничного транспорту. 2021. № 195. С. 35-40. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/241047> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241047>

7. Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.О., Дегтяр Є.Г. Відкритий спосіб відновлення каналізаційного колектору з використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону. *Науковий вісник будівництва*. 2021. № 4 (106). С. 76-82.

URL: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/4_106_2021/11.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-106-4-76-82>

Особистий внесок здобувача – розробка способу відновлення каналізаційного колектору з використанням корозієстійкого

самоущільнюючого бетону.

8. Алейнікова А. І., Бондаренко Д.О., Гончаренко Д.Ф., Дегтяр Є.Г., Старкова О.В. Методологічні основи подовження експлуатаційного ресурсу підземних інженерних мереж : монографія. Монографія за заг.ред. Гончаренка Д.Ф. Раритети України, 2022. 120 с.

URL: <https://knameedu->

[my.sharepoint.com/:b:/g/personal/alevtyna_aleinikova_kname_edu_ua/EVFnl8uB8MpKtjtdU9wAVgYBTEmMXtn66obR6HY_uk5vUw?e=1Oc6UD](https://knameedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/alevtyna_aleinikova_kname_edu_ua/EVFnl8uB8MpKtjtdU9wAVgYBTEmMXtn66obR6HY_uk5vUw?e=1Oc6UD)

9. Goncharenko D., Starkova O., Karahiaur A., Degtyar Y., Voskobiinyk O. Search for rational solutions for the repair and rehabilitation of shallow sewers. AIP Conference Proceedings *this link is disabled*, 2023, 2684, 030012.

URL: [https://pubs.aip.org/aip/acp/article-](https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2684/1/030012/2893594/Search-for-rational-solutions-for-the-repair-and?redirectedFrom=fulltext)

[abstract/2684/1/030012/2893594/Search-for-rational-solutions-for-the-repair-and?redirectedFrom=fulltext](https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2684/1/030012/2893594/Search-for-rational-solutions-for-the-repair-and?redirectedFrom=fulltext)

DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0120074>

Особистий внесок здобувача – розробка рекомендації відновлення каналізаційного колектору.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Гончаренко Д.Ф., Гуділін Р.І., Дегтяр Є.Г. Застосування пневматичної опалубки при ремонті колекторів водовідведення відкритим способом. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей том_I, VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.* Тернопіль. 2019. С. 71 URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/30867> (дата звернення: 28.03.2023)

2. Дегтяр Є.Г. Проблеми забезпечення безаварійної експлуатації, підвищення екологічної безпеки та довготривалості споруд каналізаційних тунелів. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: тези за матеріалами IX Всеукраїнського наукового семінару.* Харків. 2020. С. 34-35

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/11/Tezu_seminary.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

3. Гончаренко Д.Ф., Дегтяр Є.Г. Застосування залізобетонних труб для будівництва каналізаційних мереж. *75 науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури* : тези доповідей 75-ої науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. Харків. 2020. С. 230-231

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/07/ntk75_tezi.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

4. Дегтяр Є.Г. Застосування самоущільнюючих бетонів для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів. *Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків. 2020. С. 36-37

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/12/Tezu_Konf_2020.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

5. Бондаренко Д.О., Дегтяр Є.Г. Відновлення каналізаційного колектору з використанням композитної арматури та самоущільнюючого корозієстійкого бетону. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд* : тези за матеріалами X Міжнародної наукової конференції . Харків. 2021. С. 85-87

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2021/11/Tezu_resyrs_2021.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

6. Д.Ф. Гончаренко, О.В. Старкова, А.С. Карагяур, Є.Г. Дегтяр, О.П. Воскобійник Пошук раціональних рішень ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті* : тези доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції. Харків. 2021. С. 107-108

URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2021_10.12.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

Наукові роботи, що додатково відображають наукові результати дисертації.

1. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Данченко Ю.М., Бондаренко Д.О., Алейнікова А.І., Дегтяр Є.Г. Ремонт і відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом. *Раритети України*. Харків : 2022. С. 144.

Особистий внесок здобувача – розробка способів відновлення каналізаційних колекторів із використанням кислотостійкого самоущільнюючого бетону, та анкерних листів із поліетилену.

2. Goncharenko D., Ratschkowskij A., Gudilin R., Degtjar E. Renovierung und Wiederherstellung von Abwasserkanälen flacher Verlegung in offenem Verfahren. *KA Korrespondenz Abwasser*. ISSN 1866-0029 Abfall-2020 (67). Nr.8. P. 593–597.

www.dwa.de/KA

Особистий внесок здобувача – розробка технології ремонту колекторів неглибокого залягання.

3. Дегтяр Є.Г., Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.О., Данченко Ю.М. Способи відкритого ремонту на каналізаційних мережах м. Харкова. *Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення»*. Київ, 2021. №3. С. 24 – 30. URL: <http://www.waterwork.kiev.ua/uk/nomery/2021> (дата звернення: 28.03.2023)

Особистий внесок здобувача – дослідження відкритих способів ремонту каналізаційних колекторів.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. РЕМОНТ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	23
1.1 Каналізаційні колектори Харкова	23
1.2. Особливості ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних колекторах відкритим способом	28
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. СТАН КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	33
2.1 Вимоги до колекторів водовідведення на стадії проектування	38
2.2 Прогнозування працездатності колекторів водовідведення	42
2.3 Дослідження факторів, що впливають на експлуатаційну довговічність каналізаційних колекторів.....	47
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ СПОСОБІВ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ.....	62
3.1 Науково-обґрунтований пошук матеріалів для захисту конструкцій колектора від корозії	62
3.2 Розрахунок конструкції колектора водовідведення при його ремонті та відновленні із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону та композитної арматури	68
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ	83
4.1 Ремонт та відновлення колектора із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону та композитної арматури.....	83
4.2 Відновлення каналізаційних колекторів із використанням листових полімерних матеріалів	94

4.3. Розробка рішень, що дозволяють збільшити пропускну можливість відновленого колектора	105
4.4 Ефективність впровадження заходів з відновлення колекторів неглибокого залягання.....	115
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	122
ДОДАТКИ.....	134

ВСТУП

Розподільча система інженерних мереж каналізаційного господарства міст України являє собою складний комплекс споруд для сталого відведення стічних вод. В існуючих умовах підприємства каналізаційного господарства працюють в умовах граничних організаційно-технічних можливостей, а саме: висока амортизація основних фондів, критичний стан значної частини мереж в умовах недостатнього фінансування галузі несе значні фінансові витрати суб'єктів господарювання.

Прокладені понад 40 років тому каналізаційні колектори внаслідок інтенсивної дії руйнівних факторів, головним із яких є корозія бетону, перебувають нині в аварійному стані.

Проведені дослідження [4, 12, 14, 46, 49, 51, 54, 69, 76, 101, 108, 111] показали, що під час експлуатації колектори прокладені із залізобетонних труб зазнають агресивної дії ззовні (від ґрунтових вод) і всередині (від каналізаційного середовища, що транспортують, яке виникає в процесі транспортування стічних вод). Результати досліджень свідчать про те, що руйнування колекторів під дією ґрунтів становить лише 10% усіх випадків корозійного пошкодження.

Значна частина стічних вод в містах України транспортується каналізаційними колекторами діаметром від 900 до 1400 мм, що прокладені на глибині від 3 до 8 м.

Таке залягання колекторів при умові відсутності міського транспорту і пішохідних артерій дозволяє застосовувати для їх ремонту та відновлення відкритий спосіб.

Цьому актуальному питанню приділена значна увага в дослідженнях закордонних та вітчизняних науковців.

Дослідженням довговічності колекторів та факторам які впливають при цьому значна, увага приділена в наукових дослідженнях українських вчених Абрамовича І.А. [1, 2, 3, 4], Алейнікової А.І. [5, 6, 14],

Гончаренка Д.Ф. [5, 8, 12, 14, 16], Юрченко В.О. [67, 84], Плуґіна А.А. [56], Старкової О.В. [27, 60, 61, 62], Бондаренко Д.О. [16, 20] і зарубіжних вчених Д. Штайна [107], Кілісва М. [85], Махмудіана М. [88, 89, 90, 91], Наземі М. [94] та інших.

У вітчизняних дослідженнях Добряєва А.А. [43, 44], Шматченко В.І. [64, 65], Шмуклера В.С. [64], Гончаренка Д.Ф. [23, 25, 26], Обухова Є.С. [51], зарубіжних Штайна Д. [107], Орстмана [82], Собека [104], Г. Глозека [81], значна увага приділена ремонту та відновленню колекторів відкритим способом із використанням корозієстійких матеріалів і конструкцій.

В той же час збільшення кількості аварійних ситуацій на колекторах, які проходять через малонаселені місця та сільськогосподарські угіддя ставлять перед науковцями, будівельниками і експлуатаційниками задачі розробки нових ефективних способів ремонту та відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом.

Особливістю виконання робіт відкритим способом є використання при ремонтно-відновлювальних роботах збереженої в процесі експлуатації, як правило заповненої стічними водами, лоткової частини колектора та створення на її основі нової склепової частини.

Досвід отриманий зарубіжними та вітчизняними дослідниками [21, 22, 28, 29, 31, 41] свідчить про високу ефективність використання при виконанні подібних ремонтно-відновлювальних робіт пневматичної опалубки.

Усе це підтверджує актуальність обраної теми досліджень.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота виконувалась під час реалізації науково-дослідної роботи «Розробка технології ремонту та відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом» (державний реєстраційний номер 0121U109523), що фінансувалась державним бюджетом України, на кафедрі технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури.

Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування та розробка організаційно-технологічних рішень ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим способом із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону та листових полімерних матеріалів.

Робочою гіпотезою є припущення що розробка організаційно-технологічних рішень дозволить із використанням корозієстійких матеріалів проводити ремонт та відновлення колекторів водовідведення відкритим способом, що дозволить знизити собівартість ремонтно-відновлювальних робіт у порівнянні з існуючими способами.

Завдання, що необхідно вирішити для досягнення мети, наступні:

- дослідити сучасний стан колекторів водовідведення неглибокого залягання та особливості ремонтно-відновлювальних робіт на них відкритим способом;
- визначити вимоги до колекторів водовідведення на стані їх будівництва та основні фактори, які призводять до руйнації конструкцій;
- науково обґрунтувати та розробити конструктивні та організаційно-технологічні рішення відновлення склепінчастої частини колекторів із використанням кислотостійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою;
- розробити конструктивні та організаційно-технологічні рішення ремонту та відновлення колекторів відкритим способом із використанням стійких до агресивного середовища поліетиленових листів AGRU та поліетиленових листів із лінійними ребрами;
- розробити рішення, яке дозволяє збільшити пропускну можливість відновленого колектора;
- визначити ефективність розроблених рішень.

Об'єкт дослідження. Ремонтно-відновлювальні роботи на колекторах водовідведення неглибокого залягання відкритим способом.

Предмет дослідження. Конструктивні та організаційно-технологічні

рішення ремонту та відновлення колекторів водовідведення із використанням кислотостійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою, поліетиленових листів які мають різну конфігурацію в місцях з'єднання з бетоном.

Методи дослідження. Для наукового обґрунтування актуальності, визначення мети та завдань дисертаційного дослідження використано методи аналізу та узагальнення. Статичний аналіз застосовано для визначення технічного стану колекторів водовідведення та умов виконання ремонту та відновлення. Розрахунок конструкцій склепіння колектору з використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону реалізовано з використанням методу численних методів на платформі програмного комплексу. Технологічна схема випробування відновлених колекторів складалась із спеціально виготовлених нижньої підлоткової та верхньої надсклепінної напівциліндричних частин зварної конструкції, двох індикаторів часового типу установлених по спеціальній схемі на кінцях склепінної частини відновленого колектора, устаткування для створення зовнішнього зусилля над знов створеною склепінною частиною колектора. В процесі випробувань виконувалась фіксація зовнішнього зусилля, що прикладалось, та відповідна йому деформація склепінної частини.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати цього дослідження мають практичне застосування при прийнятті організаційних та технологічних рішень щодо відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим (традиційним) способом. Зокрема, вони можуть використовуватись на етапах розробки проектів організації та виконання робіт. Найдуть своє застосування під час формування інвестиційних проектів, а також при прогнозуванні надійності функціонування колекторів водовідведення.

Ці наукові висновки вже застосовані для виконання господарського науково-дослідної роботи, замовником якої є Комунальне підприємство "Харківводоканал". Дослідження зосереджено на впровадженні методу

відкритого та відновлення колекторів водовідведення. Результати дисертаційної роботи відображаються в актах впровадження рекомендацій з відновлення мереж водовідведення, що отримано в ПАТ «Південспецатоменергомонтаж» та АТ «Трест Житлобуд-1». (Додаток Б).

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше розроблено конструктивне рішення з відновлення колектору водовідведення неглибокого залягання із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою;

– вперше запропоновано відновлення склепінної частини колектора водовідведення із використанням листових полімерних матеріалів: поліетиленових листів АGRU, та поліетиленових листів із лінійними ребрами;

– вперше розроблено рішення, що дозволяє збільшити пропускну можливість колектора, що відновлюється;

– удосконалено технологію виконання робіт по ремонту та відновленню колекторів водовідведення відкритим способом з допомогою пневматичної та інвентарної металевої опалубок.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дисертаційного дослідження викладено у наукових працях [1-9], що наведено у додатку А, отримано здобувачем особисто. Основні з них – доцільність використання відкритого способу при ремонті та відновленні колекторів водовідведення неглибокого залягання; рекомендації з використання при ремонті та відновленні колекторів водовідведення неглибокого залягання пневматичної та інвентарної металевої опалубки; технологія відновлення колекторів водовідведення із використанням анкерних поліетиленових листів.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на таких конференціях (Додаток А) як:

– VIII Міжнародна науково-технічній конференції молодих учених

та студентів, м. Тернопіль, 2019 р.

– 75-та науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури, м. Харків, 2020 р.

– VIII Всеукраїнський науковий семінар «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур», м. Харків, 2020 р.

– VIII Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві», м. Харків, 2020 р.

– X Міжнародна наукова конференція «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд», м. Харків, 2021 р.

– IX міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», м. Харків, 2021 р.

Публікації:

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано загальною кількістю 19 наукових праць. У фахових збірках і журналах, рекомендованих Міністерством освіти і науки України для публікації результатів дисертаційних досліджень – 7 наукових статей. Матеріали конференції у журналі, що індексується у наукометричній базі даних SCOPUS – 1 наукова публікація. Опубліковано одну монографія в співавторстві та шість матеріалів апробаційного характеру. Три публікації, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів. Робота викладена на 142 сторінках, містить 63 рисунки, 16 таблиць.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. РЕМОНТ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

1.1 Каналізаційні колектори Харкова

Каналізаційні колектори та споруди комунальних підприємств України представляє собою складну інженерну систему, основна мета якої транспортування стічних вод. Діаметр каналізаційних мереж складає переважно від 100 мм до 5400 мм в залежності від гідравлічних розрахунків та їх інженерного призначення [57].

Останнім часом особливої актуальності заслуговує питання підвищення експлуатаційної надійності та ремонту існуючих підземних інженерних інфраструктур, в перше чергу з урахуванням вимог до дотримання екологічного законодавства. Це обумовлено ймовірністю потрапляння в ґрунт та ґрунтові води різних агресивних речовин з причини руйнації конструкцій каналізаційних колекторів та споруд.

Основний матеріал, що використано при будівництві каналізаційних колекторів міст України в 60-70 роках минулого століття – бетон та залізобетон [1, 3, 34, 49, 57, 77]. Переважна кількість фахівців в матеріалознавстві тих часів вважали бетон та залізобетон універсальним матеріалом в будівництві, в тому числі для каналізаційного середовища [12].

Рідина каналізаційного середовища, що транспортується колекторами, не вважається агресивною по відношенню до бетонних конструкцій, якщо не перевищено нормальні значення таких речовин як сульфати, вільні кислоти та хлориди.

Як свідчать чисельні аварійні ситуації на каналізаційних колекторах, що спричиняють обвали ґрунту, конструкцій склепінь колекторів, що виконано з бетону та залізобетону, не витримують гарантійний термін експлуатації та виходять з стійкого функціонування раніше нормативного розрахункового строку служби [5, 6, 8, 45].

Механізм руйнації склепінь обумовлено не тільки строком

експлуатації трубопроводу, а й кислотною агресією, що ускладнено процесами, пов'язаними з мікробіологічними та хімічними реакціями в каналізаційному середовищі, де кінцевим продуктом життєдіяльності бактерій є сульфатні кислоти.

У зв'язку з цим актуальною є питання раціонального вибору організаційно-технологічних рішень та матеріалів для відновлення зруйнованих корозією конструкцій каналізаційних колекторів, особливо неглибокого залягання.

Основним завданням підприємств каналізаційного господарства є забезпечення безперебійної експлуатації та стійкості функціонування мереж та споруд, що транспортують стічні води, в тому числі з економічної точки зору.

Необхідність відновлення каналізаційних мереж часто виникає в тих випадках, коли їх технічний стан майже аварійний і досягнута та межа, при якій їх функціональна надійність ставиться під сумнів [5, 6, 14].

В дисертаційному дослідженні, як і у інших роботах наукової школи проф. Гончаренка Д.Ф. [21, 22] розглядаються питання відновлення та мереж водовідведення діаметром від 500 до 1500 мм неглибокого залягання, які в подальшому розглядатимуться як каналізаційні колектори.

Відповідно до ДСТУ 2569-94 в п. 76 «Водопостачання і каналізація» встановлено, що «каналізаційний колектор» це трубопровід зовнішньої каналізаційної мережі для збирання і відведення стічних вод [42].

КП «Харківводоканал» одне з потужніших підприємств в галузі каналізаційного господарства України [1, 57]. Основний напрямок виробничої діяльності підприємства є експлуатація підземних інженерних структур водопровідно-каналізаційного господарства, що визначає життєдіяльність міста та надійне екологічне середовище, в тому числі області, а саме:

– збір, відведення, транспортування та повне біологічне очищення стічних вод, які надходять в наслідок функціонування міста;

– експлуатація, технічний нагляд та розподільчих інженерних трубопроводів різного діаметру та призначення, а також очисних споруд, насосних станцій тощо.

Централізована система міської каналізації м. Харкова є повною роздільною та децентралізованою. За рахунок насосних станцій та колекторів головного призначення стічні води транспортуються на центри біологічного очищення: Диканьовські та Безлюдівські очисні споруди [57].

Диканьовські очисні споруди обробляють рідину, що надходять з більшої частини міста (потужність КБО «Диканьовський» - 750 тис. м³/добу), на Безлюдівські очисні споруди приходить приблизно 300 тис. м³/добу стічних вод, що складає одну третину з загальної кількості [8, 57].

На Безлюдівські очисні споруди стічні води надходять за допомогою колекторів, що є самопливними. Нормативна (проектна) потужність зазначених очисних споруд складає 1,1 млн м³/добу. Без очищення та відстоювання стічних вод прямих скидань в мережу не відбувається, цей процес строго регламентується та контролюється.

КП «Харківводоканал» здійснює прийом, транспортування та відчищення стічних вод, які надходять від населення, побутових та промислових підприємств міста.

Протяжність розподільчої системи водовідведення станом на 01.07.2020 р. складає 1669,534 в т.ч. 55,57 км колекторів глибокого залягання, що побудовано методом щитової проходки (табл. 1.1, 1.2), [57].

Мережі, що є самопливними, мають діаметр до 3400 мм, напірні трубопроводи діаметром до 1000 мм. Приблизно 74 % з загальної протяжності складають трубопроводи діаметром до 300 мм.

Тунельні каналізаційні колектори вважаються трубопроводами глибокого залягання. В середньому глибина залягання каналізаційних тунелів - близько 20 м, найглибші – до 50 м.

Таблиця 1.1 – Протяжність розподільчої системи каналізації м. Харків

Робочий перетин трубопроводу , мм	Протяжність мереж, км
50-150	700,1
200-250	494,3
300-400	137,84
500-600	158,53
700-800	47,19
900-1000	44,31
1200-1400	18,88
1500-1840	41,15
2000-2500	12,04
3000-3400	13,22
2130*1410	2,21
Разом:	1669,77

Таблиця 1.2 – Протяжність розподільчої системи каналізації м. Харків за районам міста

№п/п	Район	Протяжність, км
1	Шевченківський район	227,414
2	Київський район	182,825
3	Холодногірський район	164,858
4	Салтівський район	242,048
5	Індустріальний район	153,464
6	Немишлянський район	113,949
7	Слобідський район	176,551
8	Основ'янський район	166,951
9	Новобаварський район	144,650
10	Служба з експлуатації тунельних колекторів	67,820

Ще у 1913 р. розпочалося будівництво системи водовідведення м. Харкова. Майже 20-30 % трубопроводів побудовано до 1960 р., приблизно 60 % - в 1960-1980-их роках[57]. Основні матеріали труб розподільчої системи водовідведення є кераміка, залізобетон та чавун. Також є трубопроводи з азбестоцементу, сталі, цегли та полімерних матеріалів. Стосовно матеріалу трубопроводів, що перебувають під тиском

– сталь складає 63 %, чавун – 32 %, поліетилен – 5% (табл. 1.3) [57].

Таблиця 2 – Дані про протяжність розподільчої системи каналізації міста Харкова за матеріалом трубопроводу:

№	Матеріал	Протяжність, км	Відсоток з загальної протяжності, %
1	Металеві трубопроводи		
1.1	Сталь	65,6	4
1.2	Чавун	154,8	8
2	Неметалеві трубопроводи		
2.1	Залізобетон	320,9	18
2.2	Кераміка	1006,6	62
2.3	Азбестоцемент	52,4	3
2.4	Цегла	9,1	1
2.5	ПВХ	60,1	4
Разом:		1669,77	100

Протяжність розподільчої системи каналізації м. Харків за зносом мереж представлена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Протяжність розподільчої системи каналізації м. Харків за зносом мереж

№ п/п	Найменування	Протяжність, км
1	Протяжність розподільчих мереж:	1 669,77
2	з них аварійних	1 335,627
У тому числі:		
3	Головних колекторів:	397,3
4	з них аварійних	317,84

Загальна кількість аварійних ситуацій на каналізаційних колекторах у 2019 р. складає 57 одиниць. Означене складає загрозу екологічної стабільності регіону та здоров'ю населення через можливість попадання стічних вод в ґрунт та у мережі водопостачання. Слід відмітити, означена аварійність досить висока, адже майже в два рази перевищує середній показник українських міст. Кількість незначних пошкоджень на каналізаційних трубопроводах у 2019 р. складає 10544 одиниць. Отже в середньому на 1 км мереж (1638,9 км) приходиться 6,5 пошкоджень.

1.2. Особливості ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних колекторах відкритим способом

Основна задача підприємства з експлуатації трубопроводів водовідведення є забезпечення експлуатаційної стійкості та надійності мереж та споруд протягом терміну функціонування з урахуванням техніко-економічних показників [35, 42].

У відповідності до ДБН у разі при ремонті у разі неможливості обмеження безперебійної роботи зношених мереж водовідведення, їх робота може бути зупинена на невизначений строк у випадку якщо вже досягнута та межа, після якої ставиться під питання функціональна здатність колектору [35, 42].

В працях [12, 107] під терміном «санація» або відновлення прийнято всі заходи з відновлення каналізаційних колекторів, які знаходяться в експлуатації. У дисертаційному дослідженні детально приділяється увага цілому ряду методів виробництва робіт, що представлено 1.1 [13, 18, 107].

Наразі не має універсального методу відновлення. Кожен метод може бути доцільним до застосування з технічної, технологічної та економічної точки зору. Зазначені на рисунку 1.1 методи мають свої переваги та недоліки, а також обмеження їх застосування. Головною задачею технологічного проектування є вибір раціонального методу, що буде відповідати параметрам кожного окремого аварійного випадку [59-63].

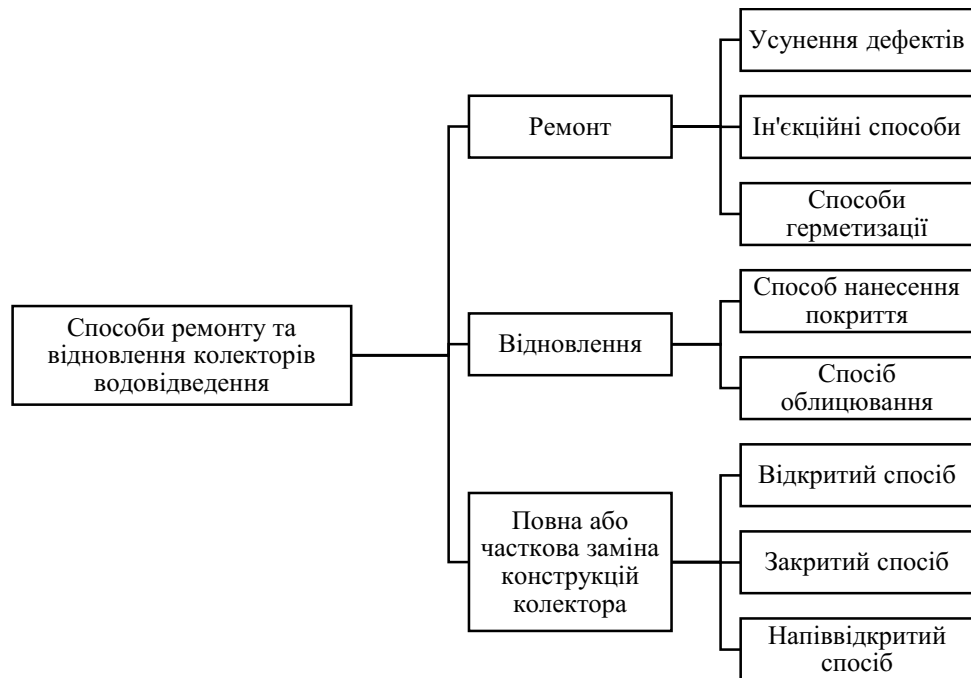


Рисунок 1.1 – Способи ремонту колекторів водовідведення

Основними способами проведення відновлювальних робіт є відкритий та закритий способи. [12, 23, 43, 44]. При відкритому способі відновлення мереж водовідведення широке застосування має шатровий або напівеліптичний метод. Він передбачає демонтаж верхньої частини каналу, далі в лоток монтується купол або шатер із вигнутим контуром. Зазначена конструкція попередньо виготовлюється з залізобетону. Шатровий метод дозволяє збільшувати поперечний переріз стоку. Частина конструкції, що пошкоджена, зноситься. Далі йде виготовлення нового склепу. Як правило, від виготовлюється з двох залізобетонних збірних елементів, що було попередньо виготовлено. Застосування шатрового метода складається з наступних робіт [12, 23, 43, 44]:

- підготовка колектору для проведення робіт, очищення від;
- монтаж inliner-труби на лоток старого каналу;
- заповнення простору між inliner-труби та лотком існуючого колектору;
- бетонування склепіння. При цьому inliner-труба служить в якості внутрішньої опалубки та створює захисне облицювання трубопроводу, що відновлюється.

Шатровий метод набув своє застосування в м. Харків. Відновлення каналізаційного колектору виконувалось АТ «Південспецатоменергомонтаж». Технологічна послідовність виконання робіт полягала у наступному: демонтаж пошкодженого склепіння колектору; бетонування стінок з використанням інвентарної приставної опалубки. Далі виконується перекриття верхнього склепіння збірною залізобетонною плитою. Пливу облицьовано плівкою, що виконана з полівінілхлориду з анкерними виступами [12, 44].

Ще одним прикладом відновлення колекторів відкритим способом є Орджонікідзевський колектор. Він побудований із залізобетонних труб діаметром 800 мм. Під час експлуатації частина склепіння зазнала значного пошкодження. Руїнація відбулась внаслідок біологічної корозії. На деяких ділянках колектору частково або повністю зруйнувалась конструкція склепіння, що спричинило провал ґрунту (рис. 1.2, 1.3) [44, 64, 65].



Рисунок 1.2 – Орджонікідзевський колектор зі зруйнованою внаслідок корозії склепінною частиною

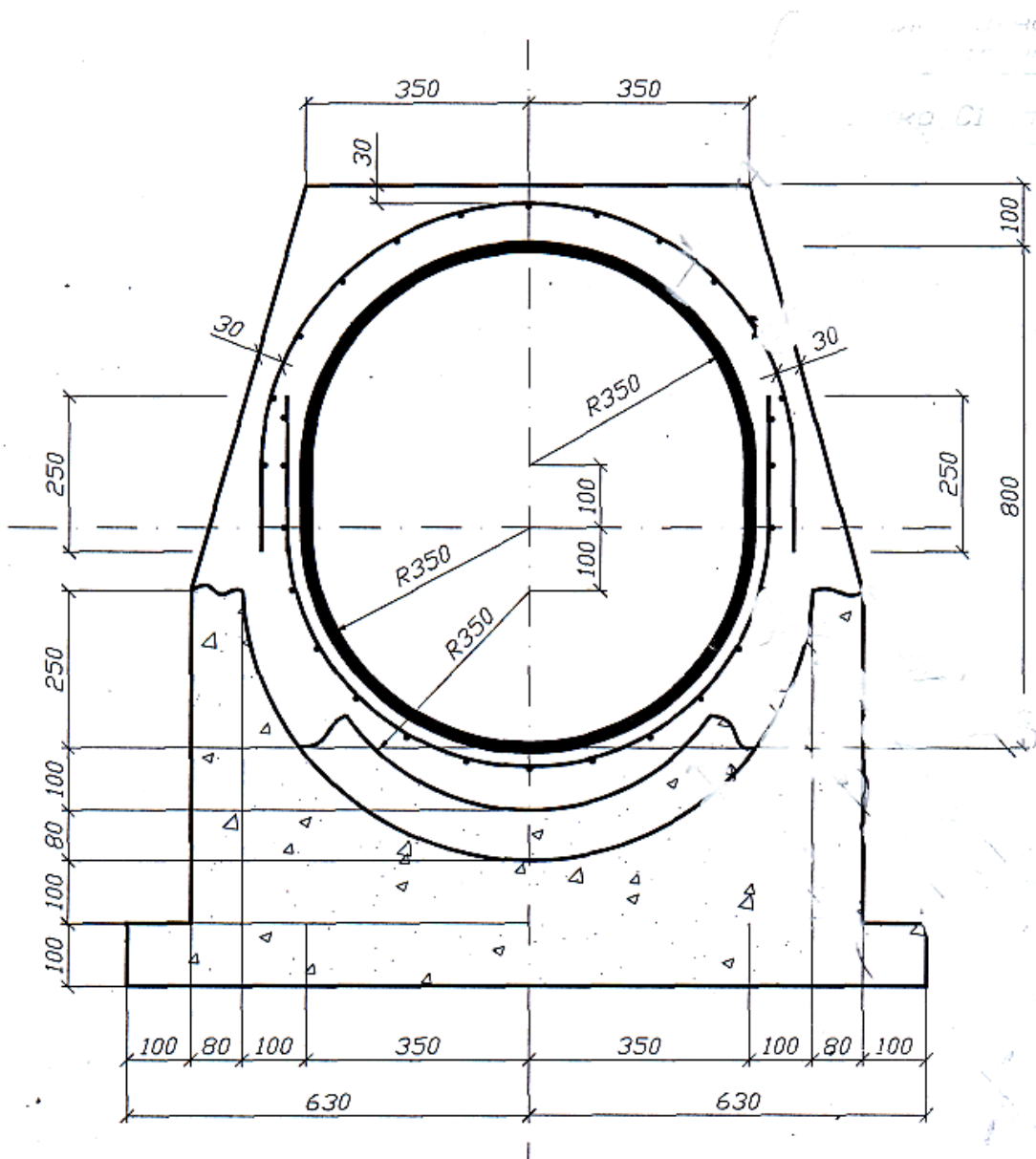


Рисунок 1.3 – Конструктивне рішення з відновлення Орджонікідзевського колектора.

Конструктивне рішення відновлення нової частини колектору передбачало виготовлення її з монолітного залізобетону. Внутрішню поверхню залізобетонного колектору передбачено захистити від впливу корозії обробленням з профільованого поліетилену.

Виготовлення труби відбувалось у цехових умовах на спеціалізованому стенді. Далі на неї технологічно одягнуто готовий арматурний каркас з фіксаторами. Під час виконання робіт лоткова частина існуючого трубопроводу очищається від бруду і продуктів корозії. Після цього на неї рівномірним шаром укладається бетон на дрібнозернистому

заповнювачі. Товщина шару складає близько 90 мм (рис. 1.4, 1.5) [43, 44, 64, 65].



Рисунок 1.4 – Підготовка постілі для монтажу трубопроводу з арматурним каркасом



Рисунок 1.5 – Армування майбутнього склепіння з установкою фіксаторів

Далі монтується інвентарна опалубка. Після чого виконується процес бетонування за схемою «кран-баддя» переважно бетоном з проектним водопоглинанням. Після набору бетоном міцності виконуються розпалубні роботи. На зовнішній поверхні труби виконується гідроізоляція гарячим бітумом по холодній ґрунтовці (рис. 1.6, 1.7) [43, 44, 64, 65].



Рисунок 1.6 –Поверхня склепіння перед гідроізоляцією



Рисунок 1.7 –Оглядових колодязів, що захищено від корозії листовим ребристим поліетиленом

Відновлення каналізаційного колектору за допомогою кладки клінкерної цегли набуває популярності (рис. 1.8). Технологія проводиться в кілька етапів: відведення стічних вод; земляні роботи; демонтаж аварійних конструкцій трубопроводу; підготовка лотку; зачищення арматури; встановлення пневматичної опалубки; цегляна кладка склепіння; армування склепіння; укладання бетонної суміші монолітної частини склепіння; демонтаж опалубки (рис. 1.9, 1.10). Після проведення робіт і набору міцності бетону виконується зворотна засипка траншеї з ущільненням [29, 31].

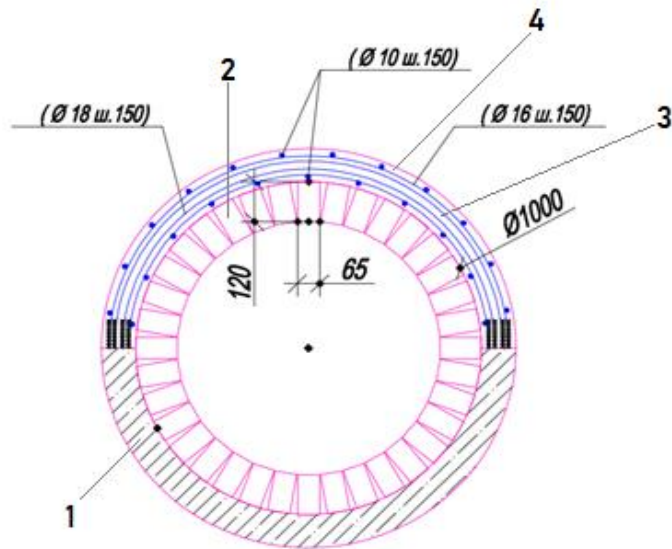


Рисунок 1.8 – Методи відновлення каналізаційного колектору з використанням цегли:

1 – лоток; 2 – цегляна кладка;

3 – армування; 4 – склеп з армованого монолітного бетону

Перевага запропонованої технології відновлення з використанням клінкерної цегли полягає в довговічності цегли до агресивного впливу каналізаційного середовища. Застосування цього методу доцільно в нещільній забудові або за межами міста через значний обсяг земляних робіт.



Рисунок 1.9 – Пневматична опалубка



Рисунок 1.10 – Конструкція склепіння Ø800 мм (лабораторні випробування)

Традиційно відновлення каналізаційних колекторів виконується з використанням склопластикових та поліетиленових труб (рис. 1.11-1.13).



Рисунок 1.11 – Реконструкція колектора Д1000 мм, ХТЗ, м. Харків



Рисунок 1.12 – Колектора Д800 ПЕ, Салтівка, м. Харків



Рисунок 1.13 – Відновлення трубопроводами Корсис 1000 мм

Відновлення мереж водовідведення традиційним відкритим способом не сильно відрізняється від нового будівництва, за виключенням демонтажних робіт. У разі зруйнованого склепінням колектора можна використовувати матеріали, які є стійкими до хімічної та біохімічної сірчаноокислотної агресії вітчизняного виробництва, що значно знизить собівартість виробництва робіт. Це можливо за рахунок економії на матеріалі трубопроводу, адже полімерні труби великого діаметру (800 мм і більше) виробляються за кордоном та схильні до коливань у вартості.

Висновки до розділу 1. Діагностика стану каналізаційних колекторів неглибокого залягання свідчить, що основний матеріал трубопроводу – бетон, залізобетон. Протяжність мереж водовідведення м. Харкова складає понад 1680 км. Колектори, що мають діаметр від 800 до 1400 мм прокладено на глибині від 3 до 8 м і прокладені на територіях де відсутні транспортні артерії.

Біогенна корозія бетону зовні та всередині – основний фактор руйнації каналізаційних колекторів. В першу чергу руйнується конструкція склепіння колектору. Лоткового частина, що заповнена стічними водами, як правило, залишається неушкодженою.

Аналіз досліджень зарубіжних та вітчизняних вчених показав наступне: при прокладанні колекторів на незначній глибині та відсутності транспортних артерій раціонально виконувати відновлення відкритим способом.

Полімерні матеріали – основний сучасний матеріали для відновлення колекторів відкритим способом, проте вартість трубопроводів великого діаметру залежить від коливань економіки. Проведений аналіз відкритих способів відновлення каналізаційних колекторів свідчить про необхідність розробки нових методів, раціональних з точки зору економічного обґрунтування (за рахунок матеріалів вітчизняного виробника).

РОЗДІЛ 2

СТАН КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Вимоги до колекторів водовідведення на стадії проектування

В процесі розробки проектів, пов'язаних із збором і переробкою стічних вод, існує необхідність приймати до уваги їх вплив на екологічну ситуацію в даному районі, на використання земель [49,50]. При проектуванні мереж доцільно враховувати такі характеристики даного району, як повітря, вода, візуальний вплив, суспільство людей даного району, археологічні та інші культурні цінності. Особливо велике значення має екологічна оцінка, тобто екологічний звіт, який повинен спеціально складатися для описання дії, куди включається:

- описання навколишнього середовища, на яку може подіяти дана споруда;
- визначення потенційних районів впливу та його оцінка;
- вказання несприятливих моментів такого впливу;
- оцінка альтернативних пропозицій та багато іншого, для того щоб скласти чітку та якісну картину перш ніж прийняти рішення про будівництво.

Як відомо [35] каналізаційні системи, які використовуються для транспортування стічних вод із одного місця в інше, повинні укладатися достатньо глибоко під землею. Матеріал для труб повинен бути стійким до корозії і мати конструктивну міцність достатню для тримання земляного насипу і інших навантажень. Розмір і ухил системи колектору повинен відповідати швидкості течії, що відводиться зі швидкістю, яка достатня для запобігання накопичення твердого матеріалу, тобто бути самоочисною [10,35]. Вибір плану каналізаційної труби залежить від характеристики стічних вод і умов прокладання. Люки, перехідні камери та інші конструкції

повинні зводити до мінімуму турбуленцію, втрату напору та запобігати накопиченню твердих відходів [10]. Також необхідно враховувати такі показники як термін експлуатації, який передбачається, затрати на технічне обслуговування, безпеку обслуговуючого персоналу та населення [107].

Ціль проектування полягає в установці каналізаційних трубопроводів за можливо низькою ціною, зіставленою з їх функціями та терміном служби. Ступінь складності системи віддзеркалюється в більш високій вартості конструкції.

В багатьох випадках каналізаційні системи збирають як стічні води, так і ливневі води, і направляють їх на очисні споруди. При збиранні дощових вод разом із стічними вартість насосного обладнання та переробка зростають і можуть виникати проблеми з очисткою. Роздільна система каналізації є єдиним ефективним способом для роз'єднання стічних і дощових вод [35].

Каналізаційна система має дві основні функції: забезпечує запроектоване максимальне скидання вод і переміщення твердих матеріалів, щоб звести до мінімуму їх відкладання. Таким чином, важливо, щоб колектор мав адекватну пропускну спроможність для максимальних скидів і щоб він функціонував без перебоїв і без створення неприємних запахів. Звично колектор проектують з деяким запасом пропускну спроможності. При визначенні швидкості виходять із припущення розрахованого максимального скидання, який приймають в два рази більшим, чим середнє добове скидання. В деяких випадках [27, 107] проєктанти каналізаційних систем використовують криві максимальних характеристик, для того щоб визначити співвідношення максимальних значень та середніх величин. Це співвідношення може змінюватись від 1,5 до 4,0 в залежності від відбірного району та кількості населення [35]. Скидання за добу розраховуються за період один рік. Прийняті стандарти задають мінімальну швидкість скидання, рівну не менше 0,6 м/сек і максимально не вище 3,5 м/сек. Як вже зазначалося, каналізаційна мережа, яка будується у різних геологічних

умовах, має бути складена з матеріалів, що гарантують довговічність, надійність, економічність та простоту будівельних робіт. У 60-70-х роках минулого століття в українських містах були здійснені значні обсяги робіт з будівництва мереж водовідведення. Основним матеріалом трубопроводу були кераміка, бетон, залізобетон або азбестоцемент [1, 3, 10, 12].

Завдяки своїм корисним характеристикам, залізобетонні труби займали провідні позиції в загальній структурі споживання труб, частково витісняючи сталеві та чавунні труби, які, як правило, використовувалися для будівництва водовідвідних мереж.

Серед переваг залізобетонних труб на той час варто відзначити значну тривалість експлуатації, зменшення витрат металу порівняно з металевими трубами, а також можливість промислового виробництва з використанням місцевих матеріалів. Використання залізобетонних труб, порівняно з металевими, допомагало знижувати витрати на електроенергію, яка витрачалась на подолання втрати опору [10].

Головними вимогами до бетону, який використовувався для виготовлення каналізаційних труб, були механічна міцність, висока щільність та водонепроникність. Досягнення цих характеристик вимагало підбору складу бетону на основі відповідної теорії його міцності і контролю за процесом його приготування.

За практикою було встановлено, що якість труб з бетону та залізобетону визначається в значній мірі способом їх виготовлення. Вибір матеріалів для безнапірних залізобетонних труб, виготовлених за допомогою центрифугування та радіального пресування, був обумовлений особливостями відповідних технологій та високими вимогами до конструкції. Трубопровід повинні були володіти стійкістю до корозії від дії ґрунтового середовища і, в першу чергу, транспортованих рідин, відповідати вимогам морозостійкості, бути водонепроникними та мати пропускну міцність, що становить 70-90% марочної міцності.

В останні роки значно зросла кількість аварій саме залізобетонних

труб. Головною причиною, що призводять до їх руйнації є газова корозія, яка руйнує склепову частину трубопроводу, про що свідчать дослідження [6, 7, 8, 14, 30, 48].

Так, проблема тривалості експлуатації залізобетонних трубопроводів вимагає серйозного уваги від науковців, експлуатаційників і будівельників, що працюють у цій галузі. Оптимізація матеріалів, розробка нових технологій будівництва і поліпшення методів моніторингу стану труб можуть допомогти вирішити цю проблему та забезпечити більш тривалу та ефективну експлуатацію трубопроводів.

Зазначені заходи можуть базуватися на ймовірності збереження лоткової частини залізобетонних труб, як несучого елемента, під час проведення ремонту та відновлення [15, 29, 31, 32].

2.2 Прогнозування працездатності колекторів водовідведення

В останні роки особливої актуальності набуває проблема збереження і відновлення діючих підземних комунікацій, що пов'язана зі зростанням вимог до екології. Особливо важливим є захист ґрунту та ґрунтових вод від різних реагентів, що потрапляють в них через руйнацію конструкцій мереж водовідведення.

Як відомо, значна частина каналізаційних трубопроводів і тунелів промислових центрів України була побудована в 60-70 роках минулого століття з бетону та залізобетону [49, 57].

На рішення про застосування цих матеріалів в будівництві каналізаційних трубопроводів, тунелів та оглядових шахт разом з їх позитивними якостями вплинула також думка більшості фахівців з бетону і залізобетону, які вважали ці матеріали універсальними. Багатьма фахівцями гарантувалася робота бетонних та залізобетонних конструкцій під землею на термін понад 100 років. Такий термін цілком реальний для даних матеріалів, але тільки в разі їх служби в нормальних неагресивних по відношенню до бетону і залізобетону умовах [12].

Завжди вважалося, що стічні води, що контактують з конструкціями каналізаційних мереж, не є агресивними для бетону, за умови, що вміст сульфатів, хлоридів і вільної кислоти не перевищує припустимі значення. В умовах міської каналізації, де відбувається змішування різних видів стоків (промислових, господарсько-побутових і зливових вод), ймовірність надходження агресивних до бетону стоків невелика.

У той самий час, багато випадків обвалів каналізаційних трубопроводів і тунелів свідчать про те, що бетонні та залізобетонні конструкції часто не витримують свій гарантований строк служби та виходять з працездатного стану раніше, ніж передбачено нормативами [4, 6, 14].

Механізм руйнування конструкцій визначається загальним кислотним

впливом, що ускладнюється мікробіологічними процесами, пов'язаними зі складними біологічними і хімічними реакціями. Це обумовлене з тим, що кінцевим продуктом життєдіяльності бактерій є різні кислоти і з'єднання, що містять сульфат [67, 84].

У зв'язку з цим актуальною є проблема вибору матеріалів, технології та організації робіт з відновлення пошкоджених корозією конструкцій трубопроводів водовідведення, тунелів і оглядових колодязів та шахт.

Завданням комунальних підприємств, що здійснюють експлуатацію систем водовідведення, є забезпечення функціональної та експлуатаційної надійності споруд, які забезпечують транспортування стічних вод, з урахуванням економічних факторів.

При цьому визначаються проміжні цілі, до яких слід віднести необхідний експлуатаційний стан мережі, робочу гідравлічну надійність трубопроводів і тунелів, щільність і водонепроникність конструкцій споруд.

Часто трапляються ситуації, коли необхідність ремонту трубопроводів і тунелів виникає в тих випадках, коли запас зносу настільки знижений, що вже досягнута та межа, при якій ставиться під сумнів їх функціональна здатність, або коли сталося непередбачене порушення функціональної здатності внаслідок зовнішніх або внутрішніх факторів, що призвели до руйнувань.

Прогнозування працездатності каналізаційних колекторів, оглядових шахт, камер гасіння, інших елементів каналізаційних систем вимагає нових підходів до вирішення зазначеної проблеми.

Очевидно, що розробка методів прогнозування термінів експлуатації каналізаційних систем – багатофакторна задача, при вирішенні якої необхідно враховувати:

- динаміку зміни обсягів стічних вод;
- агресивність газового середовища;
- інженерно-геологічні умови експлуатації мереж;
- конструктивні особливості тунелів і шахт;

- матеріали конструкцій, їх реологічні властивості, стійкість до дії агресивного середовища;
- експлуатаційні особливості (терміни проведення ремонтів, оглядів, регламентних робіт).

Слід зазначити, що каналізаційні мережі на окремих ділянках єдиної мережі міст можуть експлуатуватися в істотно відмінних умовах за вказаними параметрами.

Окремі елементи і вузли мереж не є рівнонадійними. Велика кількість аварій каналізаційних мереж, що відбулися в останні роки, вказує на необхідність вдосконалення методів прогнозування термінів експлуатації мереж до настання відмов [59, 60, 61].

Відмови в роботі мереж призводять до тяжких соціальних, економічних та екологічних наслідків. Великі аварії можуть викликати колапс в житті міст, як приклад аварія ДПС м. Харкова в 1995 р. [8].

Восени 2018 року було зафіксовано обвалення на семи ділянках Південного безнапірного каналізаційного колектора в місті Лозова Харківської області [14].

Аналіз аварії на колекторі свідчить про наступне:

- за останні 20 років спостерігається зменшення кількості стоків в 2-3 рази;
- стічні води стали більш агресивними, що підтверджується перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) азоту амонію у 1,5 рази та фосфатів у понад 4 рази.;
- зниження швидкості потоку, збільшення опадів.

Хімічна реакція, що протікає у вільному просторі зруби, формує сильноагресивне середовище по відношенню до конструкцій з бетону. Протягом 30-річного періоду експлуатації залізобетонні труби колектора повністю зруйнувалися через внутрішню корозію. Стан конструкцій колектора наведено на рис. 2.1, 2.2, 2.3. Камера гасіння знаходиться в

експлуатації 50 років. Конструкції камери зруйновані повністю (рис. 2.3) [14].

Руйнування колектора в м Лозова та інші аварії вказує на необхідність відмови застосування при будівництві та ремонті каналізаційних мереж залізобетонних конструкцій, які не мають захисту від корозії.



Рисунок 2.1 – Зруйнована склепінчаста частина колектору



Рисунок 2.2 – Руйнація колектора



Рисунок 2.3 – Зруйнований колектор в м. Лозова

2.3. Дослідження факторів, що впливають на експлуатаційну довговічність каналізаційних колекторів

На сьогодні немає однозначного набору критеріїв, що дозволяють оцінити стан каналізаційних колекторів і потенційних небезпек, пов'язаних з руйнуванням їх конструкцій, в залежності від характеру і обсягу пошкоджень. Для отримання достатнього уявлення про стан каналізаційного колектору з метою планування заходів по його експлуатації, інспекції та усуненню пошкоджень, необхідно дослідити основні причини руйнації та фактори, які впливають на цей процес.

Досвід експлуатації показує, що найбільш типовими пошкодженнями мереж водовідведення різного діаметру виступають

просадка трубопроводів та оглядових шахт;

стирання трубопроводу та руйнування торців у з'єднаннях;

агресивна корозія;

деформація трубопроводу внаслідок утворення поздовжніх тріщин;

вісьовий зсув;

порушення закладення стику (чеканки) кільцевого простору розчином та дефектні еластичні прокладки;

поява поздовжніх тріщин в місцях з'єднання трубопроводів внаслідок відхилення від нормативного положення труби та через надграничні нерівномірні радіальні навантаження;

тріщини, що виникають від точкового пошкодження труби;

руйнація каналу з цегли через руйнування розчину швів через газову корозію;

утворення поздовжніх тріщин в жорстких трубах;

проблеми із стикуванням, в тому числі порушення стикування по горизонталі та вертикалі;

вертикальний та горизонтальний зсув, кутове зміщення;

невідповідність діаметру труби та напрямку потоку;

зміни поздовжнього профілю та утворення зворотного ухилу;

Також до дефектів можна віднести наноси у вигляді осаду піску, часткові зсуви та переломи труб. Під час експлуатації відбувається розгерметизація через корені дерев тощо; закупорка перетину сусідніми трубопроводами; розгерметизація через порушення з'єднань та інфільтрацію тощо.

Дослідження [68] розглядає основні причини руйнування каналізаційних колекторів, які спричиняють виникнення аварій, та класифікує їх за групами. В таблиці 2.1 визначено виробничі, організаційно-технологічні та експлуатаційні фактори. Також виділяються фактори довговічності матеріалу лінійної частини мереж водовідведення та фактори, що виникають у зовнішньому експлуатаційному середовищі [68].

Сьогодні є різні підходи до вивчення біогенної корозії трубопроводів водовідведення.

Значний вклад в дослідження біогенної корозії внесла д.т.н. професор Юрченко В.О. та її учні [67]. У цих дослідженнях відмічається, що у спорудах каналізації мегаполісів процес біохімічного окислення неорганічних сполук сірки до сірчаної кислоти – аеробний хемосинтез хемолітоавтотрофних тіонових бактерій (тіобацил), наймасштабніший і найінтенсивніший в порівнянні з іншими технічними і природними об'єктами. Його наслідком є біогенна сірчаноокислотна агресія по відношенню до конструктиву і активне корозійне руйнування сотень кілометрів бетонних трубопроводів водовідведення. Для ідентифікації цієї корозії, оперативної оцінки глибини ураження бетону, вибору ефективних методів захисту та ремонтних заходів необхідно встановити показник, що кількісно відображає різні експлуатаційні та екологічні параметри корозійного процесу, а також має портативне метрологічне забезпечення для проведення вимірювань неруйнуючим способом безпосередньо в мережах.

Таблиця 2.1 – Фактори, що впливають на довговічність каналізаційних колекторів

№	Група факторів	Фактори впливу, що не пов'язані з корозією матеріалів	Фактори впливу, що пов'язані з корозією матеріалів
1.	Виробничі	дефекти лиття на трубах з металу, неоднорідність матеріалу; знос елементів конструкції стикових з'єднань;	значне погіршення стійкості до корозії та механічних показників труб через застосування низькоякісного матеріалу;
2.	Організаційно-технологічні	порушення технологічних протоколів з монтажу трубопроводів; ненормативне виконання стиків, особливо роз'ємних; відсутність заземлення; порушення транспортування та складування	відсутність антикорозійного захисту в умовах майданчикових робіт;
3.	Довговічності матеріалів лінійної частини мережі	послаблення та знос гумових ущільнювачів стиків;	корозійне пошкодження через каналізаційне середовище;
4.	Зовнішнього експлуатаційного середовища	рух ґрунтів та геологічні умови; зміна рівня ґрунтових вод; посилення транспортного навантаження;	відсутність антикорозійного захисту;
5.	Експлуатаційні	експлуатаційний термін трубопроводу; перепади тиску стічних вод та відсутність контролюючих заходів; коливання швидкості потоку; аварійність сусідніх підземних інженерних інфраструктур;	Корозія різного прояву та природи виникнення; Фізико-хімічні характеристики стічних вод.

Динаміку кислотної корозії бетону об'єктивно відображає накопичення біогенних кислот, яке можна контролювати за значенням pH зразків. В динаміці корозійного процесу спостерігається стабільна кореляція між pH бетону (агресивністю, впливаючого на нього експлуатаційного середовища) і чисельністю екстремально ацидофільних тіобацил – *T. thiooxidans* – збудників корозії (рис. 2.4).

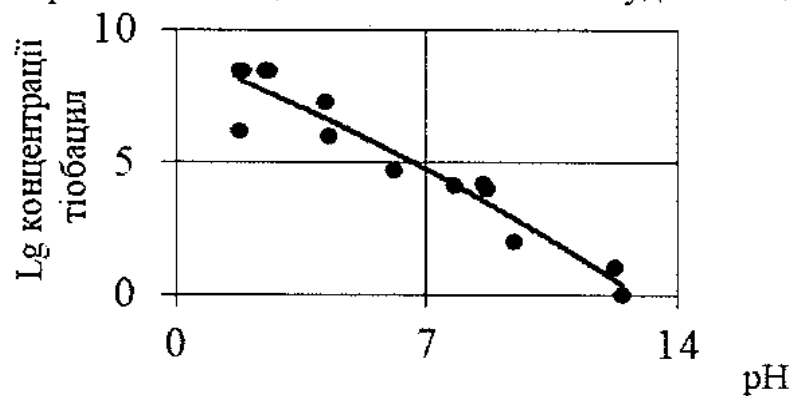


Рисунок 2.4 – Вплив pH бетону на концентрацію і ньому екстремально ацидофільних тіобацил

В експериментальних дослідженнях було встановлено кореляційні залежності між pH бетону, який знаходиться в умовах мікробної кислотної агресії, і цілим рядом значущих для експлуатаційної надійності цього конструкційного матеріалу і екологічної безпеки споруд показниками – експлуатаційними, структурними, хімічними, фізико-хімічними, мікробіологічними, матеріалознавчими та ін. До них можна віднести концентрацію сірки, сульфатів, сульфідів, органічного вуглецю, азоту, кальцію, гіпсу, еттрінгіта, гідратацію в'язучого, показники міцності, однорідність структури, коефіцієнт дифузії біогенних кислот в бетоні, глибину дифузії біогенних кислот та ін. (рис. 2.5, 2.6, 2.7). Особливої уваги заслуговує виявлення серед органічних продуктів життєдіяльності мікробіоценозу збудника корозії ліпідоподобних сполук, в тому числі фосфоліпідів. Ці сполуки є одним з факторів, що визначають

експлуатаційну довговічність органічних захисних покриттів бетону в мережах водовідведення.

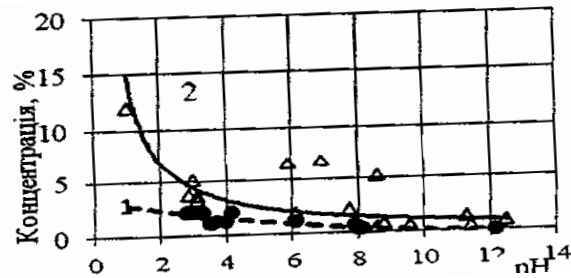


Рисунок 2.5 – Вплив pH бетону на вміст в ньому органічного вуглецю (1) та сірки (2)

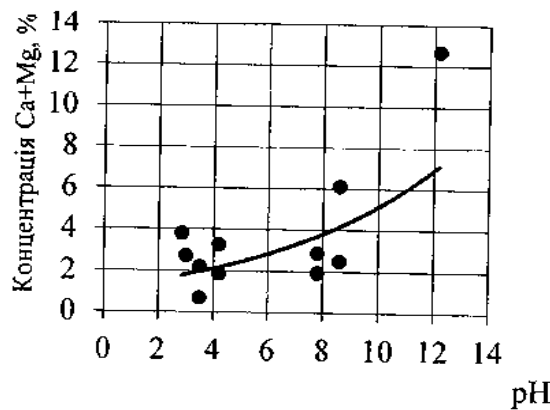


Рисунок 2.6 – Вплив pH бетону на концентрацію в ньому Са та Mg

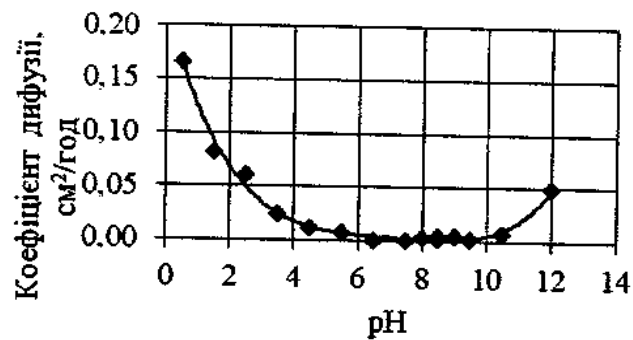


Рисунок 2.7 – Вплив pH бетону на значення коефіцієнта дифузії протонів

Серед органічних сполук у бетоні, що кородує, ідентифіковані: ациклічні карбонові кислоти, оксикислоти, етиловий, пропіловий, бутиловий, дибутиловий ефіри фталевої кислоти, а також інші органічні сполуки [67].

В динаміці зниження pH бетону відбувається кардинальне погіршення

експлуатаційних показників цього конструктиву: надзвичайно підвищується гідратація в'язучого, знижується однорідність структури бетону, збільшується кількість тріщин, порушуються зони контакту з великим та з дрібним заповнювачем.

Отримані в експериментальних дослідженнях кількісні залежності між значенням pH бетону та більш ніж 40 характеристиками бетону, а також значення стехіометричних, кінетичних і фізіологічних констант розвитку асоціації екстремально ацидофільних тіобацил дозволяють за даними вимірювання pH бетону встановлювати характеристики, які визначають експлуатаційну довговічність бетонних конструкцій: агресивність експлуатаційного середовища, яка впливає на бетон, концентрацію тіобацил в бетоні, глибину дифузії в бетон біогенних кислот, середню швидкість мікробної корозії бетону з урахуванням відстані дифузії агресивної кислоти вглиб бетону і за фронт корозії, прогнозований термін до граничного стану бетонних/залізобетонних труб, середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері колектора та по висоті каналізаційних шахт.

Австралійський вчений М. Наземі у своєму дослідженні [94] розглядає мікробіологічну корозію внутрішньої поверхні каналізаційних колекторів, яка індукована активністю різних мікроорганізмів, включаючи бактерії та грибки. У якості основного методу боротьби з мікробіологічною корозією висвітлено використання полімерних покриттів, а саме епоксидні розчини. Ефективність цих заходів залежить від розуміння того, як властивості покриття впливають на їх здатність протистояти поширенню корозії. Крім того, дослідження розглядає сумісну працю антикорозійного покриття з органічними та неорганічними кислотами, які зустрічаються у каналізаційному середовищі. Крім того, отримані експериментальні результати були використані для розробки напівемпіричних моделей для прогнозування терміну покриття в умовах агресивного середовища колекторів водовідведення.

У роботі [92] у чолі вченого з Сполучених Штатів Д. Метьюса

розглянуто вплив анаеробних мікроорганізмів на технічний стан металевих трубопроводів каналізаційних систем. Автори дослідження презентували полімерні нанопокриття для контролю корозії залізних трубопроводів.

У дослідженні [88], проведеному вченим з Великобританії, М. Мехмудіаном, було детально проаналізовано процес сульфідної корозії в залізобетонних каналізаційних колекторах, що є найбільш поширеною формою скорочення їх експлуатаційного ресурсу. Корозійні показники розглядалися у якості випадкових величини в зв'язку з недостатністю даних і невизначеностями, що пов'язано з впливом корозії на технічний стан каналізаційних мереж. В цьому дослідженні були розкриті результати аналізу параметрів корозії залізобетону, що підтверджують, що лужність бетону та відносна глибина потоку мають найбільший вплив на ймовірність відмови в системі водовідведення. Ці параметри розглядаються як змінні фактори, але їх можна вважати детермінованими постійними значеннями у майбутніх дослідженнях процесу газової корозії.

Дослідження [89] присвячено впливу температури та кислотності сірчаної кислоти на властивості бетону. Існує дефіцит даних про лабораторне моделювання та експериментальні роботи дослідження факторів, що сприяють контролю біогенної корозії. У роботі [89] авторами проведено дослідження температурного та кислотного впливу розчину сірчаної кислоти відносно визначених зразків труб з залізобетону. Зразки з бетону було занурено в декілька форм розчинів сірчаної кислоти (з різними значеннями рН - 0,5, 1 і 2) та витримувалися на протязі 91 днів при різних температурах (10, 20 і 30 °C). Втрату у масі та міцності на стиснення було випробувано та зареєстровано на декілька термінів. А саме 7, 14, 28, 42, 56 та 91 день, що надало дані для відображення змін, що трапились у відповідних зразках на протязі терміну занурення (зміна властивостей). Виявлено, що на ранніх етапах корозійного процесу маса зразків збільшувалася. Загалом маса зразків значно знижувалася на пізніх стадіях тестування кислотності використовуваних розчинів. Хоча зміна

температури не вплинула на міцність на стиснення випробуваних зразків, проте підвищення температури значно вплинуло на втрату маси зразків з бетону, що було занурено в найбільш агресивний розчин через 91 день. Наукові результати М. Мехмудіана [88] наглядно показали високу кореляцію між кислотністю розчину та швидкістю корозії бетону протягом часу.

Визначено [91], що глибини корозійної лінзи – важливий елемент прогнозування працездатності трубопроводів, що постраждали від корозії. У цьому дослідженні була представлена методологія, що базується на питаннях надійності Глибину корозійної лінзи розглянуто у якості ключового фактору, що може призвести до відмови у роботі мережі водовідведення, де перевищено товщину стінки трубопроводу. Авторами було розроблено стохастичну модель для визначення глибини корозії трубопроводів з чавуну, яка дозволило кількісно оцінити можливість виходу з ладу розподільної мережі, а також прогнозувати час її виходу з проектного стану.

Дослідження китайського вченого К. Донга та співавторів у статті [74] наголошує на тому, що процес, який народжується під час життєдіяльності мікробної популяції, призводить до значних проблем у мережах водовідведення. Це може бути важливим фактором у розумінні процесів, які відбуваються у каналізаційних мережах і можуть впливати на їх функціонування та довговічність. Проте характер мікробного співтовариства в умовах динамічних факторів навколишнього середовища в фактичній системі водовідведення досить недостатньо вивчено. Дослідження спрямовано на вивчення характеру розподілу та складу мікробних угруповань, що у циклі сірки за умов динамічного середовища у місцевій системі водовідведення. Ці результати дослідження вказують на складні мікробні взаємодії у каналізаційних системах, особливо в контексті концентрації H_2S . Домінування конкретних мікроорганізмів на певних ділянках мережі може відображати їхню адаптацію до умов, які сприяють

виробленню чи обробленню H_2S . Розуміння цих динамічних процесів може виявитися корисним для розробки стратегій контролю та підтримки стану системи водовідведення та збереження їх екологічної рівноваги. Результати дослідження можуть бути корисними для обґрунтування потенційних проблем ділянок розподільчих мереж водовідведення.

Авторами [90] було представлено модель, що залежить від часу, нелінійного стану для проведення структурного аналізу стійких до сірчаної корозії труб зі сталі. Виконуючи концепцію граничного стану, одночасний ефект зовнішнього навантаження та корозії матеріалу авторами у режимах відмови. Для врахування невизначеності, пов'язаної з параметрами проектування та навколишнього середовища, було застосовано методіку моделювання методом Монте-Карло з використанням MATLAB. Також наведено аналіз параметричної чутливості для вимірювання ефективності кожного параметра на можливість відмови труби.

Індійські дослідники, зокрема С. Тамбе та його колеги, у своєму дослідженні [109] провели імітацію мікробіологічних процесів корозії каналізаційних мереж у контрольованих умовах лабораторії. Вони спостерігали за впливом покриттів з епоксиду, які містять біоциди, та покриттів без біоцидів шляхом їх екстракції при анаеробних умовах. Мікробіологічну ефективність досліджували на основі аналізу зон "гальмування" протікання корозії, спостереження візуально, сканування електронною мікроскопією (SEM), вивчення антикорозійних властивостей за допомогою електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS) та оцінки адгезії покриття на внутрішній стінці колектора. Запропонований авторами спосіб дослідження мікробіологічної корозії допоміг зрозуміти ефективність антибіогенно-корозійного епоксидного покриття в лабораторних умовах.

Вчено. Є. Москвичевою у дослідженні [93] проаналізовано проблему трубопроводів зі сталі в системі водовідведення, що виникають внаслідок виникнення корозії та біологічного наростання. Сучасні системи каналізації

включають в себе складний комплекс взаємопов'язаних структур, де протікають різноманітні фізичні, хімічні та біологічні процеси. Вплив цих процесів часто залишається без належного контролю та призводить до значних витрат, пов'язаних зі зниженням експлуатаційної надійності каналізаційних колекторів. Авторами в роботі надаються рекомендації щодо запобігання та захисту від біогенної корозії існуючих трубопроводів водовідведення та тих, що проектуються.

Дослідженням вчених, зокрема С. Орлової та її колег [53], було розроблено підхід до визначення надійності експлуатації каналізаційних колекторів з використанням диференціальної геометрії. Використовуючи статистичні та натурні дані зростання глибини корозійної каверни, проведено кількісну оцінку корозійної небезпеки труб з металу. Отримані залежності під час аналізу показали, що після початкового контакту трубопроводу зі стічною водою відбувається повільне поширення процесу корозії, який розвивається з прискоренням, а згодом його інтенсивність зменшується. Застосування графічного диференціювання дало змогу встановити числові значення швидкості корозійного процесу. Виявлено динаміку його змін у часі. Встановлено взаємозв'язок між глибиною утвореної корозійної каверни та швидкістю її поширення. У результаті було показано, що процес корозії може бути описаний за допомогою диференціального рівняння.

У дослідженні [83] вченими Ч. Хуана показано вплив складу рідини на швидкість корозії труб з металу. Дослідники встановили, що різна концентрація гідроксиду натрію (30% або 50%) у сполученні з сірчаною кислотою може ефективно регулювати значення рівня рН води, забезпечуючи при цьому швидкість корозії металевих трубопроводів не менше 0,075 мм на рік. Це значення відповідає вимогам безпеки, встановленим відповідними стандартами, і знаходиться в припустимому діапазоні.

Дослідження, проведене Н. Роєм [99], присвячене аналізу

застосування полімерних матричних композитів для відновлення та підсилення ушкоджених структур трубопроводів. Результати експерименту підтвердили ефективність нового композитного матеріалу для внутрішнього відновлення труб.

Ванг В. із співавторами [110] відзначають наявність локалізованої точкової корозії. Точкова корозія – основний механізм руйнації трубопроводів з металу. Хоча фактори інтенсивності пошкоджень труб було досить вивчено в літературі, існує мало праць, що пов'язані з факторами інтенсивності пошкоджень трубопроводів з різним ступенем точкової корозії. Авторами запропоновано тривимірну геометричну модель для корозійних пошкоджень та використаний інтегральний метод кінцевих елементів для виведення рішень для коефіцієнтів інтенсивності пошкоджень трубопроводів.

У роботі М. Позокі [96] представлена порівняльна оцінка поліуретану та полівінілхлориду в облицювання бетонних каналізаційних труб для запобігання біологічній корозії. У цьому дослідженні бетонні зразки облицювали полімерними матеріалами (поліуретаном та полівінілхлоридом). Роль цих футеровки порівнювалася з погляду підвищення довговічності та стійкості зразків бетону в агресивному середовищі. Після тривалого експерименту впродовж трьох місяців було встановлено, що поліуретанові покриття виявилися більш міцними та стійкими у кислому агресивному середовищі у порівнянні з матеріалом ПВХ. Більше того, завдяки міцному зчепленню з бетонною поверхнею, поліуретанові покриття ефективно запобігали проникненню кислого розчину, яке може бути спричинене ферментацією стічних вод.

Дослідження, проведене С. Лото [86], включає докладний аналіз мікробіологічної корозії, де досліджено популяцію бактерій. Огляд також охоплює теми, пов'язані з біоплівками на стінках трубопроводів, різними механізмами зменшення бактерій, які сульфідують, а також методами біодеструкції навколишнього середовища та іншими важливими аспектами.

У дослідженні, проведеному К. Луо та співавторами [87], розглядається характеристики композиційних матеріалів, а також порівняння методів їх формування та оцінки продуктивності. Особлива увага приділяється питанням довговічності експлуатації та заходам протидії корозії.

У роботі Д. Біль [73] надано питання впливу мікробіологічних та безпліткових процесів на корозію. На швидкість корозії впливають складні процеси різних мікроорганізмів, що виконують різні електрохімічні реакції та секретують білки та метаболіти, які можуть мати вторинні ефекти. Хоча традиційні мікробіологічні методи та електрохімічні, фізичні оцінки дають уявлення про корозійну активність, рідкість ідентичності та роль мікробних угруповань, пов'язаних з корозією в різних матеріалах та середовищах, спонукають використання нових методів. Авторами запропоновано вивчення інгібування мікробіологічної корозії із застосуванням Omics-методів, де можна глибше зрозуміти бактеріальне населення у плані диверсифікації та обміну речовин. Таким чином, у цьому дослідженні обговорено останні досягнення для вдосконалення фундаментального розуміння процесів біоплівки та мікробіологічної корозії.

Елайні з колегами присвятили свою роботу [69] дослідженню процесу погіршення структурного стану трубопроводів внаслідок дії корозії. Автори розробили три ймовірнісні методи для аналізу надійності, включаючи тимчасову модель (з використанням теорії ймовірностей). Також було побудовано модель гамма-розподіленого зношування та методологію моделювання Монте-Карло.

У роботі М. Анбар [70] була розроблено ймовірнісну модель оцінки ризику експлуатації каналізаційних мереж, яка враховує як структурні, так і гідравлічні відмови, викликані, зокрема, мікробіологічною корозією. Ця модель базується на методі обчислення ймовірності відмови та використовує середньозважений підхід для оцінки наслідків значень відмови, використовуючи байєсівські мережі. Під час врахування наслідків

та значень відмови застосовано систему FIS – нечіткі висновки.

У своєму дослідженні, автор з Великобританії, А. Романова [100], вивчала процес корозії залізобетонних каналізаційних труб, спричинений дією сірководню. Основна увага була зосереджена на лабораторних експериментах, де була визначена швидкість корозії бетону шляхом занурення зразків у розчин сірчаної кислоти на протязі 120 днів відповідно до певних за температурних умовах. У результаті дослідження було виявлено, що деякі зразки на початкових етапах корозійного процесу зазнали загального збільшення маси і щільності з плином часу. Загалом, в лабораторних умовах спостерігалися різні швидкості корозії. А саме в межах 5-25 мм/рік.

У дослідженні Т. Ноахай [95] розглядає біогенний вплив на технічний стан каналізаційних колекторів. Останнім часом для запобігання та контролю пошкоджень біогенною корозією бетонних конструкцій в агресивних середовищах успішно розроблено наноматеріали з новими функціональними можливостями. У роботі описано як наявні контрольні заходи для запобігання біокорозії, так і передові нанопідходи для захисту певних конструкцій від біогенного зносу.

Дослідження вченого з Нідерландів Н. Станіка з колегами [106] присвячені дослідженню технічного стану мереж водовідведення під впливом агресивного мікробіологічного середовища. Авторами представлені удосконалений прототип технології оцінки впливу біогенної корозії та технічного стану трубопроводу із 3D-зображенням труби.

У роботі канадського вченого М. Елмесрі [75] представлено модель зношування каналізаційних мереж на основі дефектів з використанням моделей байєсівських мереж (BBN) (насамперед внаслідок корозії). Цей метод прийнято для розробки статичної моделі з використанням ймовірності подій і умовних ймовірностей спостережень існуючої системи водовідведення.

У дослідженні турецького вченого І. Ганса [80] особливу увагу

приділено біогенної корозії арматурних сталевих стрижнів у каналізаційних системах, що впливають на працездатність та максимальну міцність бетонних елементів у посилених спорудах. Автор зазначає, що багато досліджень було проведено щодо різних видів корозії сталевих стрижнів.

Аналізу досліджень корозійних процесів мереж водовідведення, що базується на наукових працях зазначених учених, індекс цитування яких найвищий, сформульовано загальний підхід з дослідження корозії матеріалів трубопроводів:

- встановлено, що популяції мікроорганізмів та їх життєдіяльність є основною причиною виникнення біогенної корозії, яка веде до зниження експлуатаційної надійності каналізаційних колекторів;
- результати експериментальних досліджень свідчать про те, що зміни температури та кислотності розчину сірчаної кислоти сприяють контролю біогенної корозії;
- здійснені лабораторні експерименти з багатокомпонентними епоксидними покриттями різних складів свідчать про їхню здатність впливати на підвищення експлуатаційної довговічності структур каналізаційних колекторів у певній мірі;
- точність прогнозування розвитку біогенної корозії розглядається крізь призму одержаних фактичних даних щодо трубопроводу;
- отримані результати дослідження щодо наявності та ступеня схильності до біогенної корозії каналізаційних колекторів можуть бути корисними для обґрунтування потенційних проблем ділянок розподільних мереж водовідведення для подальших робіт з відновлення їх проектної міцності.

Висновки до розділу 2. В даному розділі викладенні вимоги до колекторів водовідведення на стадії проектування. При проектуванні колекторів існує необхідність приймати до уваги їх вплив на екологічну ситуацію в даному районі та на використання земель.

При проектуванні необхідно приймати до уваги такі характеристики

даного району як повітря, вода, візуальний вплив, суспільство людей даного району, археологічні та інші культурні цінності.

Каналізаційні колектори, що укладаються в різних геологічних районах повинні бути побудовані з таких матеріалів які забезпечували б їм тривалий термін служби, надійність експлуатації, економічність і простоту будівництва.

Обвали каналізаційних колекторів, згідно з численними випадками, часто відбуваються через бетонні та залізобетонні конструкції, які зазвичай не досягають свого гарантійного терміну служби, а виходять з працездатного стану значно швидше ніж передбачено нормативними документами.

В розділі проведені дослідження основних причин руйнації колекторів, що провокують виникнення аварій та класифікованих за наступними групами: виробничі, експлуатаційні та організаційно-технологічні фактори; фактори довговічності матеріалів колекторів; фактори зовнішнього експлуатаційного середовища.

Розглянуті в даному розділі наукові праці вітчизняних та зарубіжних вчених дозволяють зробити висновок, що головною причиною руйнації залізобетонних та бетонних колекторів є мікробіологічна корозія внутрішньої поверхні, що призводять до повної руйнації склепової частини.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ СПОСОБІВ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ

3.1 Науково-обґрунтований пошук матеріалів для захисту конструкцій колектора від корозії

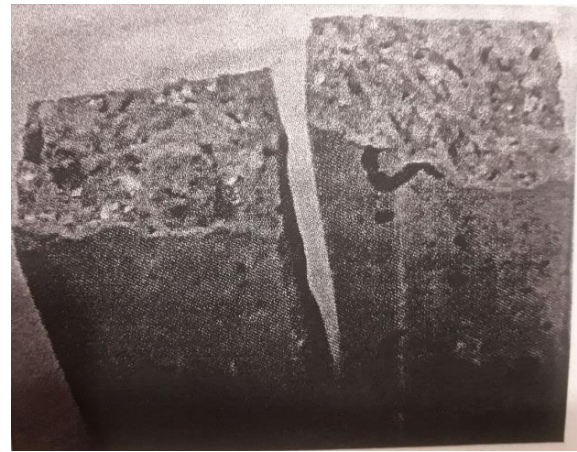
Проблема боротьби з корозією залізобетонних конструкцій під впливом агресивних середовищ останнім часом набуває особливої актуальності. Лужне середовище цементного каменю дає можливість протіканню кислотно-основних реакцій з кислими оксидами повітря: CO_2 , SO_2 , NO_2 . Крім того, присутність в цементному камінні вільного гідроксиду кальцію (портландіта) неминуче призводить до численних обмінних реакцій при контакті цементного каменю з водними розчинами, що містять хімічні речовини. Лужна природа портландцементного каменю визначає його здатність до реакцій нейтралізації і в кислому середовищі він приречений до руйнування. Однак швидкість протікання хімічних реакцій цементного каменю з навколишнім середовищем залежить від доступної реакційної поверхні, яка визначається, в тому числі, капілярною пористістю цементного каменю. При нульовій пористості реакція кислотно-основної взаємодії можлива тільки з поверхні, і камінь стає стійким навіть в середовищі високої хімічної активності, оскільки кінетика реакції швидко переходить в дифузійну область через накопичення в перехідній зоні кремнезему у вигляді гелю. На практиці у сформованому цементному каменю зберігається певний обсяг капілярних пір (10^{-7} – 10^{-4} м), які заповнені надлишковою водою, що у подальшому випаровується і саме ці капіляри стають доступними до газів і води. Величина цієї капілярної пористості в цементному каменю, в залежності від ступеня гідратації цементу і вмісту води при замішуванні, може складати за обсягом від 5-10 % до 50-70 %.

Основним прийомом підвищення корозійної стійкості цементного каменю необхідно вважати зниження його капілярної пористості. Саме ця характеристика включена в сучасні норми для бетону (ENV-206) у вигляді визначення показників, що характеризують «щільність» бетону, в якості основного показника довговічності бетону. Під «щільністю» бетону в даному випадку розуміють характеристику його пористості (відсутність або мінімальний вміст капілярних пір), що визначає його низьку проникність для води і водних розчинів. Застосування бетону (розчину) у каналізаційних мережах може бути позитивним при вирішенні питання його водонепроникності. Це досягається по-перше використанням спеціальних мінеральних і хімічних добавок на стадії приготування бетонних сумішей. Мінеральні тонкомелені добавки сприяють ущільненню бетону (розчину) на мезорівні, заповнюючи простір між частками в'язучого і дрібним заповнювачем (піском). Хімічні активні добавки сприяють синтезу додаткових «небезпечних» для цементного каменю кристалогідратних сполук з гідроксидом кальцію (вапном) і алюмінатною фазою портландцементу, що по-перше нейтралізує ці фази клінкеру для подальшої їх взаємодії з активними компонентами рідкого та газового середовища каналізаційних мереж, по-друге ущільнює структуру бетону на мікрорівні. Значний внесок у моделювання процесів структуроутворення на мікрорівні і твердіння цементних систем може внести інтенсифікація процесів синтезу в структурі позитивно заряджених частинок новоутворень колоїдного ступеня дисперсності у вигляді кальциту і еттірінгіта, а також інших видів позитивно заряджених мінеральних частинок високої дисперсності. Наявність гетерогенних контактних зон в системі цементного каменю сприятиме підвищенню його щільності і водонепроникності, а присутність при цьому іонів Ca^{2+} в кількості $0,776 \times 10^{-2}$ г/іон/л буде сприяти уповільненню процесів розчинення клінкерних мінералів і прискорювати процес утворення додаткової кількості гідросилікатів кальцію і гідрогранатних фаз.

Запропонований теоретичний підхід дозволив розробити поліфункціональну добавку, обґрунтувати спосіб введення добавки в бетон, з урахуванням іонного балансу різних форм кальцію, кремнію і алюмінію і синтезувати додаткові кристалогідрати в процесі твердіння, зарощуючи пори і капіляри кристалічними новоутвореннями, аналогічними за складом кристалогідратним з'єднанням цементного каменю. На рис. 1 показані зразки, що мають ущільнену структуру на мезо- і мікрорівнях при використанні поліфункціональної добавки. Це дозволило отримати показник водопоглинення до 2% , а водонепроникність більше 0,8 МПа.



Зразки бетону з водопоглиненням 8% за масою



Зразки бетону з водопоглиненням 2% за масою,
що містять поліфункціональну добавку

Рисунок 3.1 – Випробування бетонних зразків на водопоглинення

Згідно з результатами наукових робіт вчених [12, 47, 52, 71, 107], частково пошкоджені труби з залізобетону та бетону системи водовідведення, які функціонують у різних геологічних умовах, можуть відновлюватись за допомогою різних матеріалів. Ці матеріали, повинні гарантувати надійність умов подальшої експлуатації при мікробіологічній корозії, а також повинні відзначаються економічністю та простотою у проведенні ремонтних робіт. В першу чергу, це стосується матеріалів на основі полімерів. Відповідно до проведених досліджень, відкритий метод відновлення каналізаційних трубопроводів має вагомі переваги перед

безтраншейним випробуванням, особливо якщо глибина залягання трубопроводів невелика та виконання робіт не заважає міському транспорту та пішохідним артеріям.

У подальшому ми досліджуємо ефективність ремонту бетонне та залізобетонне склепіння мережі водовідведення, використовуючи пневматичну опалубку та анкерні полімерні листові матеріали. Цей метод передбачає створення нового бетонного шару у склепінній частині трубопроводу. Надійне зчеплення між бетоном та полімерним листом найбільш ефективно виконується з використання анкерних листових матеріалів з полімеру (термопластичного), зокрема поліетилену, зовнішній вигляд яких представлено на рис. 3.2. Анкерні листи можуть містити різні конструкції елементів зчеплення – у вигляді «пташок», або «балок».



Рисунок 3.2 – Анкерні листи з поліетилену [97, 98]

Поліетилен — речовина, що отримується шляхом полімеризації молекул етилену з дотриманням технологічного процесу. Діапазон використання поліетилену є досить широким – починаючи з виробництва пакетів закінчуючи будівельними мембранами та трубопроводами [79, 97].

В наш час існує велика різноманітність типів поліетилену, які

відрізняються певними властивостями та технічними характеристиками. Залежно від методу виробництва, вони мають відмінні характеристики і кодування.

Сьогодні існує широкий асортимент різновидів поліетилену, що мають певні фізико-хімічні характеристики та відрізняються один від одного своїми властивостями (табл. 3.1.)

Таблиця 3.1 – Різновиди та властивості поліетилену

№	Вид поліетилену	Властивості
1	Поліетилен низької щільності (ПЕНД, HDPE)	В процесі полімеризації газоподібного етилену через високий тиск молекулярні зв'язки мають значно щільнішу структуру та мінімальну кількість відгалужень. Це забезпечує високу міцність при розтягуванні. Альтернативний варіант зазначеного матеріалу - поліетилен високої щільності (ПЕВЩ);
2	Поліетилен високого тиску (ПЕВТ, LDPE)	Цей вид відрізняється наявністю довгих молекулярних ланцюгів з багатьма відгалуженнями. Він має більшу еластичність, але меншу міцність при розриві;
3	Зпінений поліетилен (ППЕ)	Полімер має велику кількість закритих пор. Зазначені пори заповнені газом. Цей матеріал характеризується низькою теплопровідністю і застосовується як утеплювач, звукоізоляція та гідроізоляція. Він використовується для виготовлення різноманітних будівельних плівок і мембран;

4	Зшитий поліетилен (ХРЕ, ХРРЕ, РЕХ)	Цей матеріал отримують шляхом зшивання поперечних ланок молекул. Він має єдину тривимірну структуру, що забезпечує підвищену міцність. Вироби з зшитого поліетилену відрізняються високою жорсткістю та термостійкістю;
5	Лінійний поліетилен (ЛПЕНЦ, ПЕСП, LLDPE)	Різновид поліетилену, що отримуються шляхом полімеризації молекул етилену з олефінами. Цей поліетилен характеризується великою кількістю коротких відгалужень. Він володіє високою міцністю молекулярних ланцюгів.

Зважаючи на різноманітність поліетиленів, незалежно від їх маркування та способу виробництва, вони мають спільні характеристики, які мають важливе значення для будівельної галузі. Серед них:

- полімер не набуває вологи та не вбирає її, якщо до нього не застосовані хімічні реагенти, такі як кислоти та окиснювачі, отже володіє абсолютною водонепроникністю.;

- матеріал не реагує з водними розчинами будь-яких лугів, кислот та солей. Він не піддається впливу органічних розчинників за кімнатної температури. Однак, за підвищених температур, більших за +60 градусів, він може легко розчинятися під дією сульфатної та нітратної кислот. Отже висока хімічна стійкість – основна характеристика ПЕ ;

- має невелику вагу та різну щільність, які залежать від конкретного виду поліетилену та його методу виробництва;

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

3.2 Розрахунок конструкції колектору водовідведення при його ремонті та відновленні із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону та композитної арматури

Корозійні процеси, які протікають в надводній частині колекторів призводять до руйнації склепової частини. Лоткова частина колекторів яка постійно заповнена стічними водами, як відмічено вище, залишається при цьому незруйнованою [9, 14]. Результати проведених досліджень підтвердили, що існуюча лоткова частина успішно може використовуватися як незнімна опалубка та опорний елемент при відновленні конструкції склепіння колектору. У контексті створення нової конструкції склепіння колектора на місці пошкодженої, рекомендовано використовувати монолітну конструкцію з корозієстійкою арматурою, укріплену композитними матеріалами. Означені заходи виконуються за допомогою пневматичних та інвентарних опалубок. Для успішної реалізації запропонованого конструктиву рекомендується передбачити попередній розрахунок її несучої здатності з урахуванням навантаження на збережену лоткову частину. Очікувана економія при використанні цього методу порівняно з застосуванням поліетиленових та склопластикових труб необхідного діаметру була вказана в попередніх дослідженнях [36, 38].

Використання пневматичної опалубки, яка може витримувати нормальні зусилля об'ємних зігнутих структур, є важливим та ефективним рішенням для вирішення завдань, пов'язаних з відкритим ремонтом та відновленням каналізаційних колекторів. Цей підхід детально розглянуто в дослідженнях [78, 81, 104, 105].

В публікації австрійських фахівців [81], яка стосується використання пневматичної опалубки для формування овального перерізу каналізаційного каналу у місті Відень, надана вагома інформація. Більше того, у публікації зазначено, що для підтримки пневматичної опалубки були виготовлені лоткові елементи майбутньої конструкції з полімербетону на

заводі. Ці елементи використовувались в якості «загубленої опалубки».

Запропонований автором метод використовує добре збережену лоткову частину колектора. Збережена лоткова частина виступає несучим елементом замість так званої "загубленої опалубки", як показано на рис. 3.3.

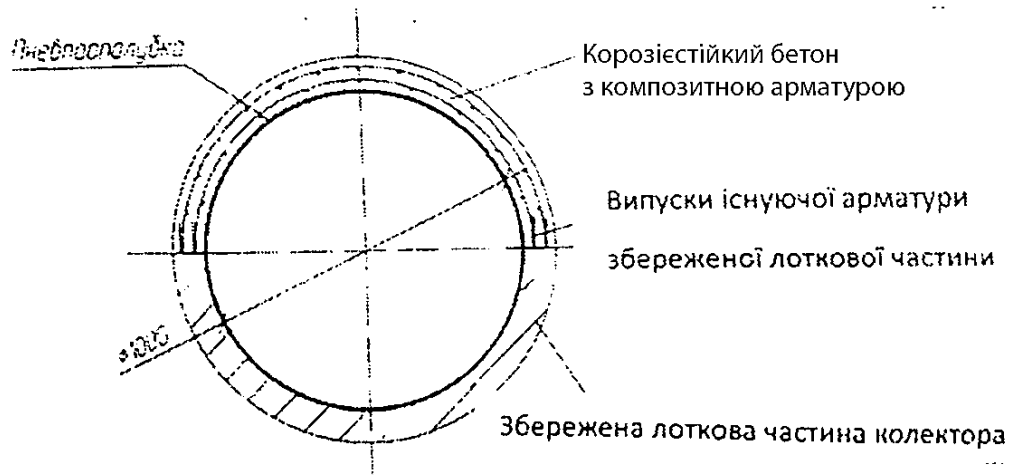


Рисунок 3.3 – Схема відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном

При виконанні ремонтно-відновлювальних робіт передбачена наступна послідовність технологічних процесів представлена на рис. 3.4.

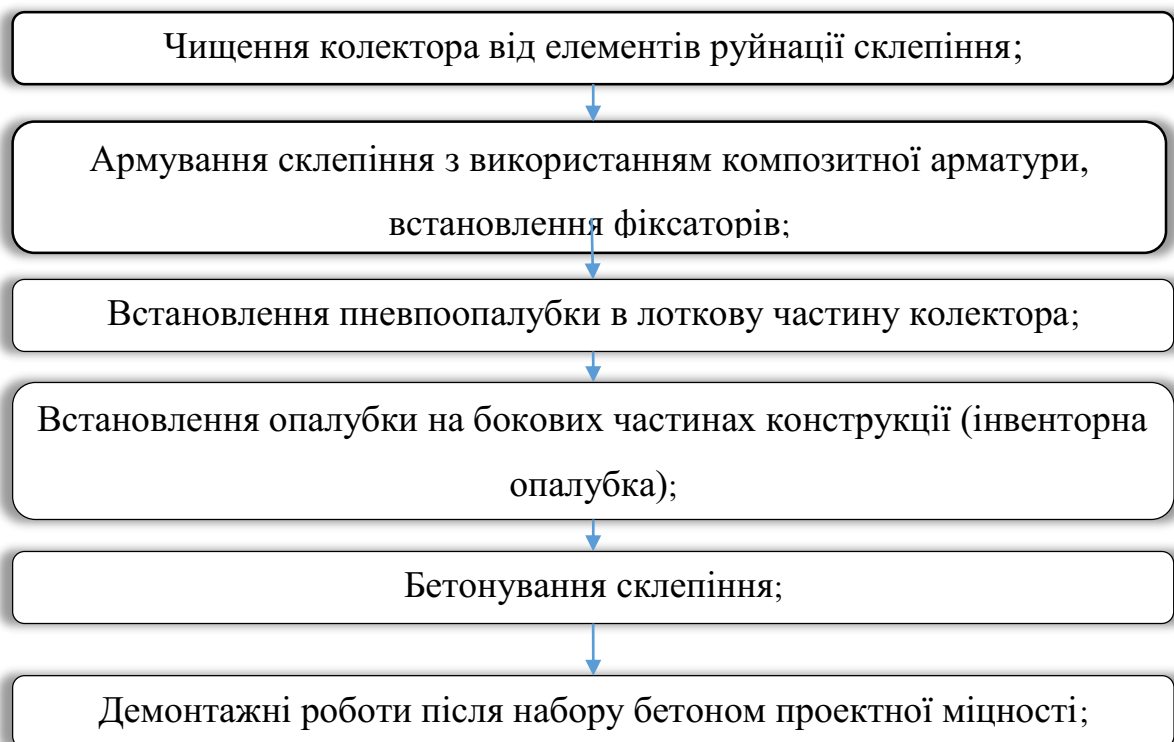


Рисунок 3.4 – Послідовність технологічних процесів відновлення каналізаційного колектора

Основні зовнішні навантаження на колектор включають власну вагу колектора, вагу стічної води, що заповнює колектор, вагу земляної засипки, а також тимчасові навантаження, які діють на поверхню засипки та зусилля від ґрунту, який оточує колектор.

Фрагмент колектора (рис. 3.3) на зазначеному приладі побудовано на глибині 6,7 м, ширина складає 5,2 м. Довжина фрагменту складає 1 м (плоска деформація).

В ході розрахунку було розглянуто модель колектора водовідведення, яка що складається з існуючого лотку колектору, який виконано з бетону класу С12/15. В той час як верхня частина колектора водовідведення виконана з бетону класом С20/25.

Моделювання зазначеного фрагменту колектора, що виконувалося в програмному розрахунковому комплексі Ліра-САПР, виконано 6-ти вузловими об'ємними КЕ [33, 35, 58, 66, 72, 102, 103]. Розмір КЕ не перевищують 0,1 м. Ґрунт змодельовано за допомогою КЕ-273 «Фізично нелінійний об'ємний КЕ ґрунту в формі тригранної призми».

Прийняті такі характеристики ґрунту представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики ґрунту

№	Найменування	Значення
1	модуль деформації ґрунту першого роду по гілці первинного навантаження (E), т/м ² ;	1000
2	коефіцієнт Пуассона (ν);	0,4
3	коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по гілці вторинного навантаження (k_e);	1
4	зчеплення (C), т/м ² ;	0.2
5	кут внутрішнього тертя, φ° ;	25
6	максимальне напруження стиснення (σ), т/м ² ;	20
7	питома вага ґрунту (R_0), т/м ³ .	2

В якості завантаження прийнята власна вага ґрунту, а також рівномірно-розподілене навантаження по поверхні ґрунту 2 т/м^2 .

По периметру стикання з ґрунтом, в вузлах заборонені переміщення уздовж осей X, Y, Z. Оцінку напружено-деформованого стану конструкцій колектора, що відновлюється представлено на рис. 3.5-3.25.

Завантаження 1

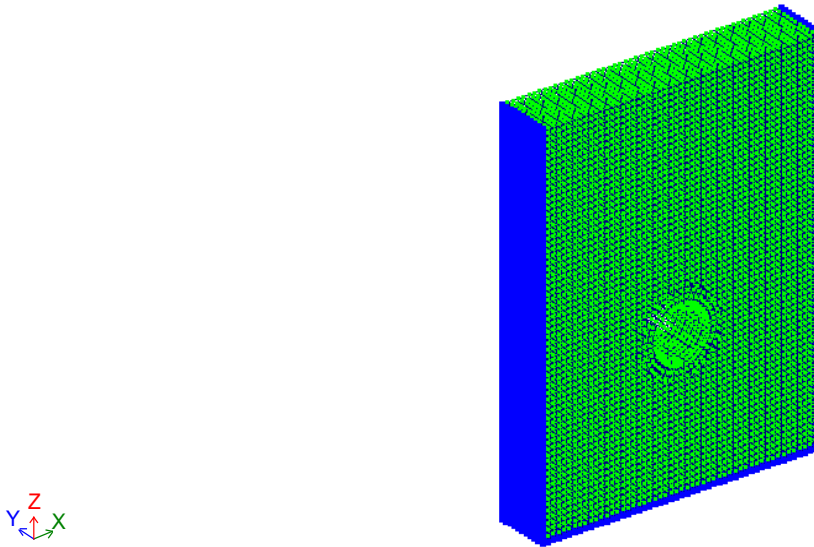


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд моделі (аксонометрія)

Завантаження 1

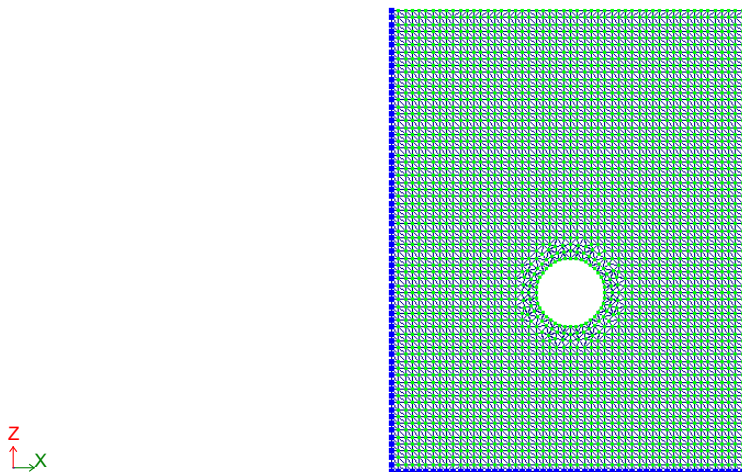


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд моделі (вид спереду)

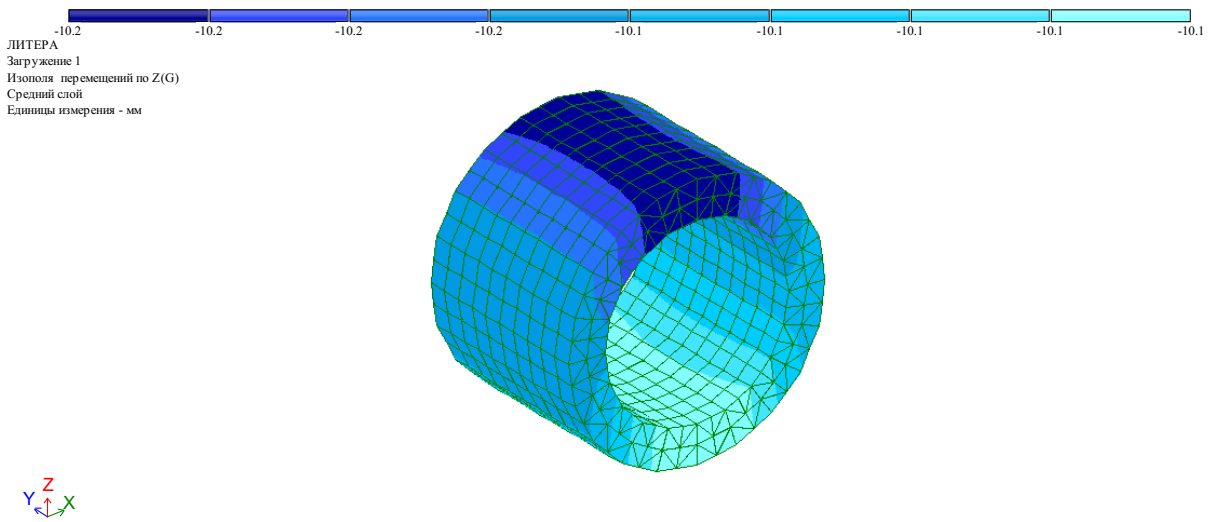


Рисунок 3.7 – Вертикальні переміщення

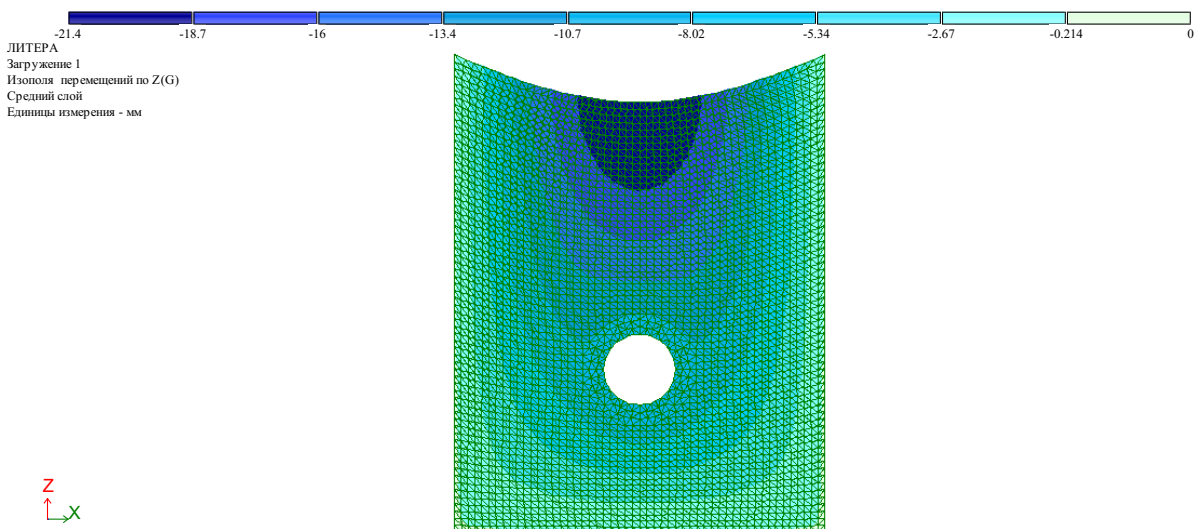


Рисунок 3.8 – Вертикальні переміщення (вид спереду)

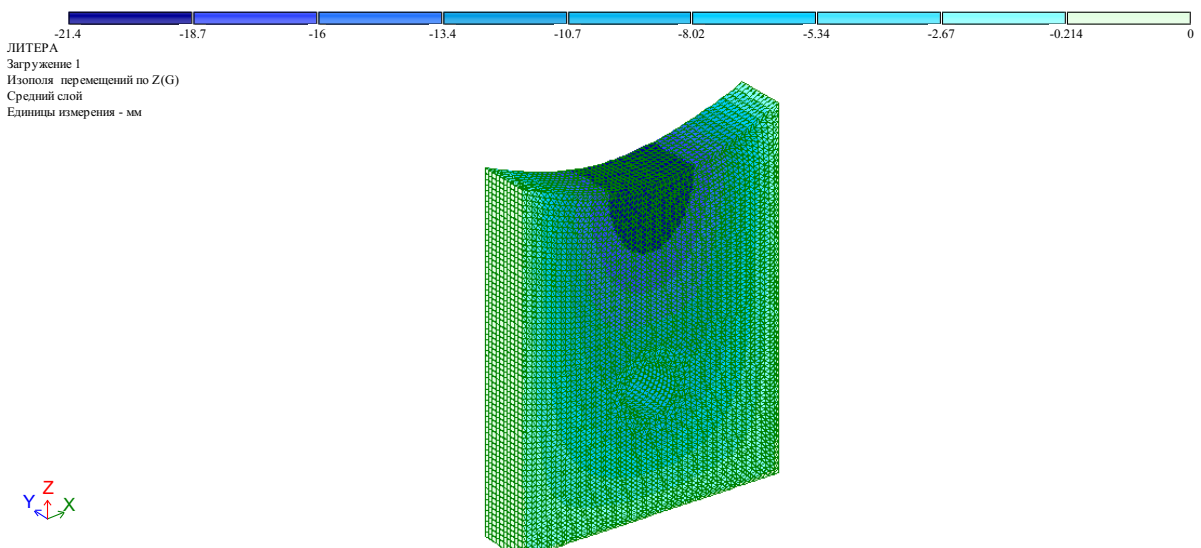


Рисунок 3.9 – Вертикальні переміщення (аксонометрія)

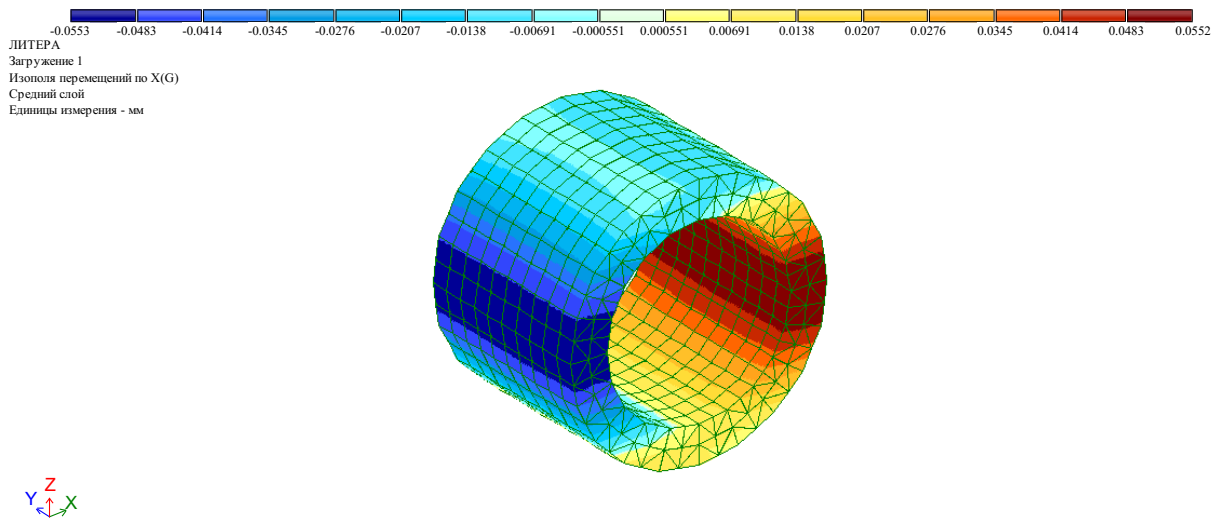


Рисунок 3.10 – Горизонтальні переміщення уздовж осі X

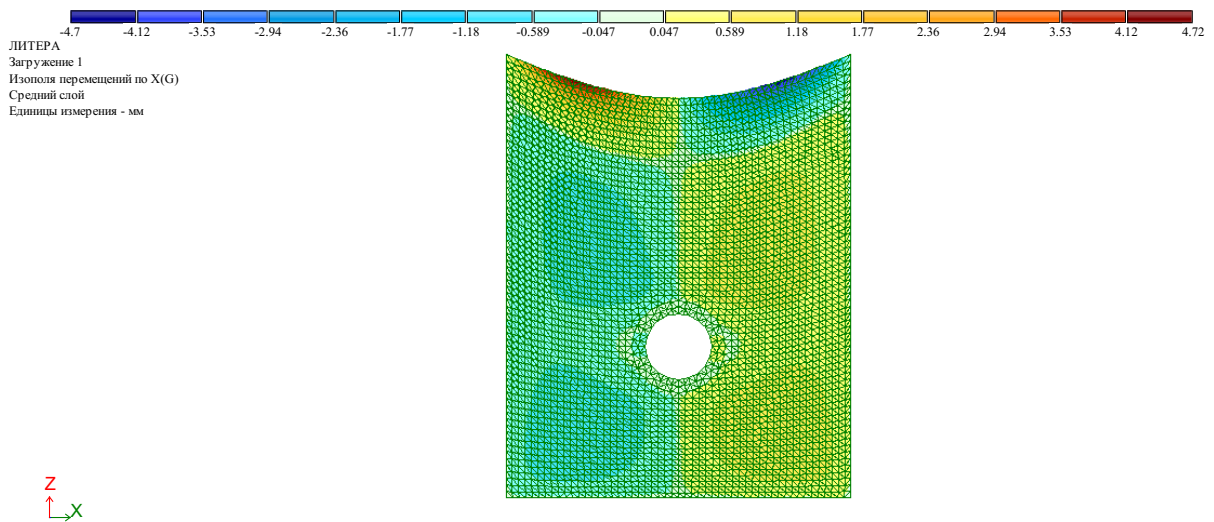


Рисунок 3.11 – Горизонтальні переміщення уздовж осі X (вид спереду)

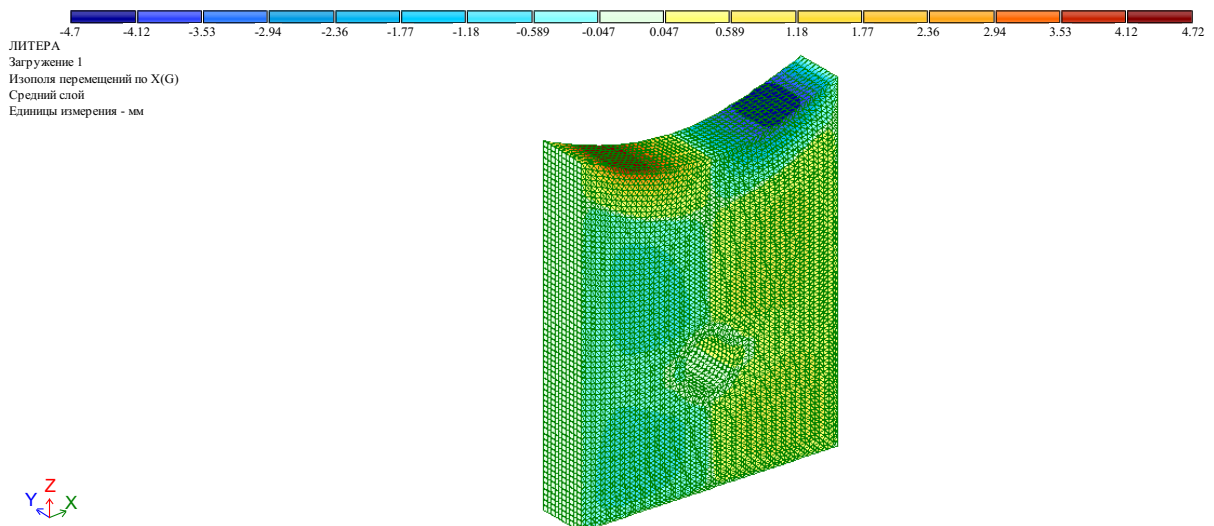


Рисунок 3.12 – Горизонтальні переміщення уздовж осі X (аксонометрія)

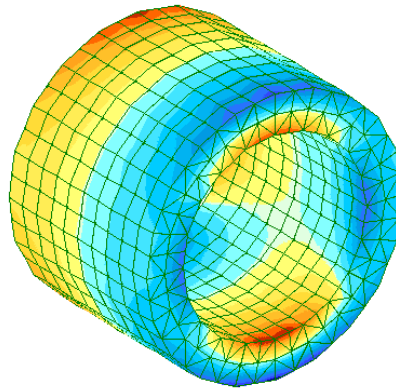
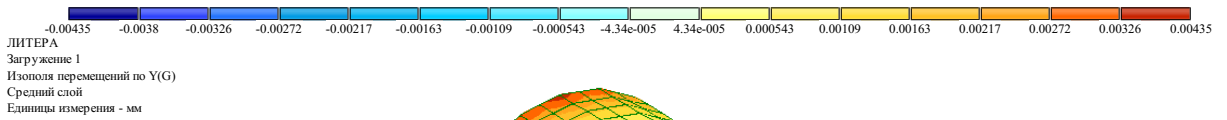


Рисунок 3.13 – Горизонтальні переміщення уздовж осі Y

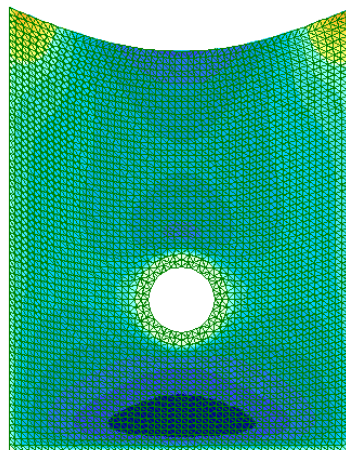
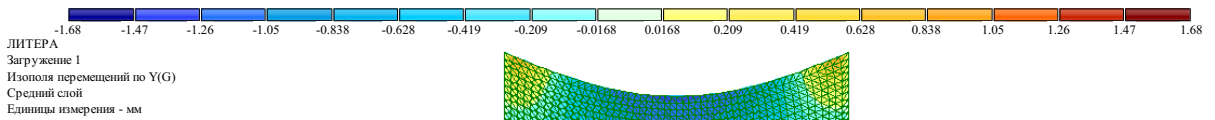


Рисунок 3.14 – Горизонтальні переміщення уздовж осі Y (вид спереду)

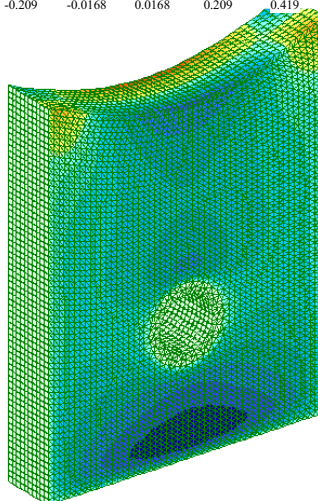
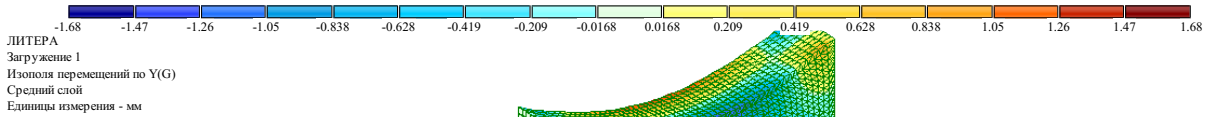


Рисунок 3.15 – Горизонтальні переміщення уздовж осі Y (аксонометрія)

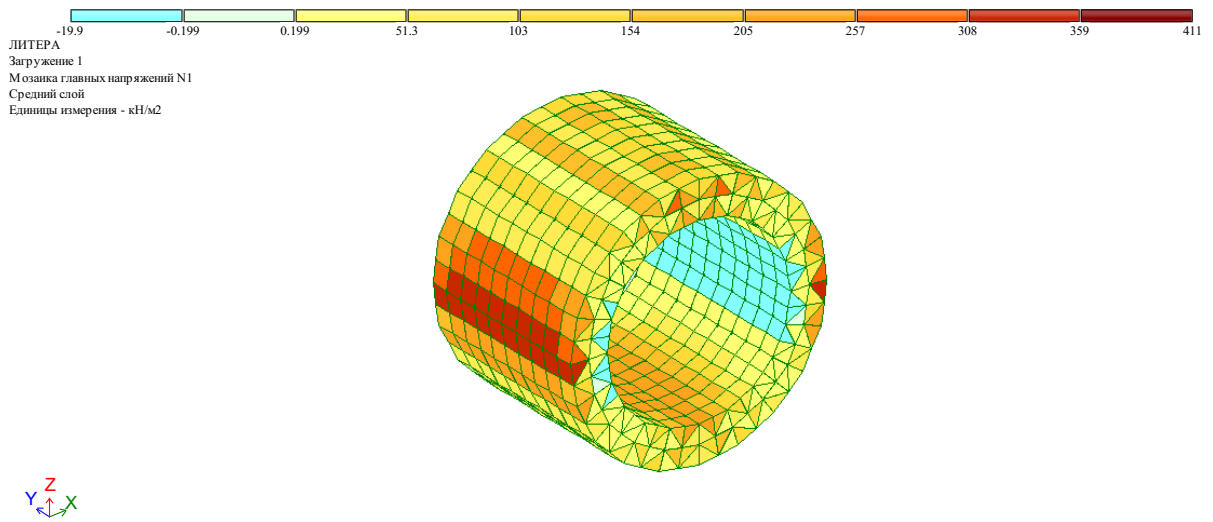


Рисунок 3.16 – Головні напруги N1

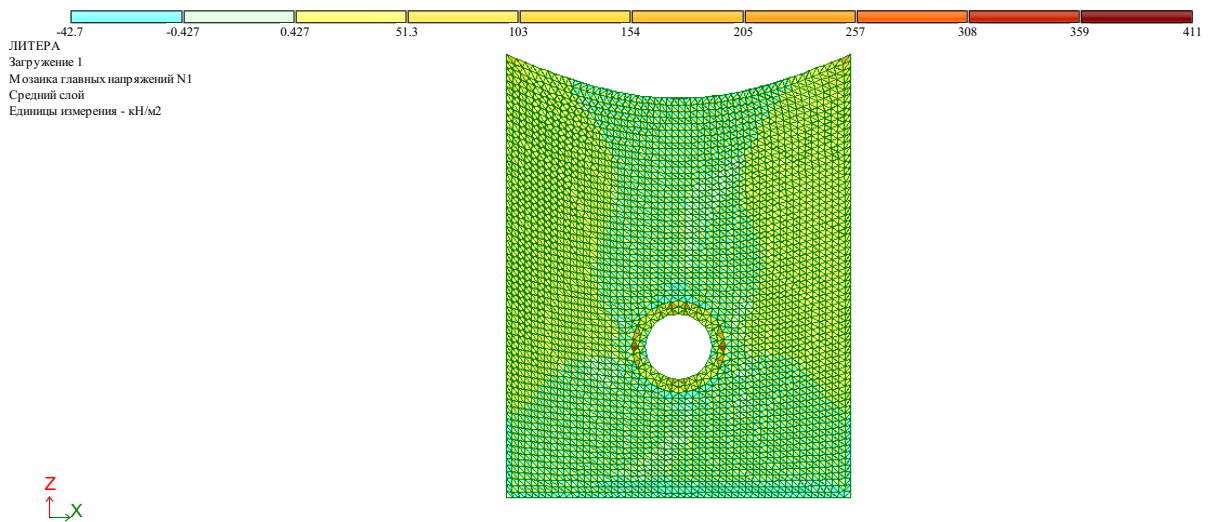


Рисунок 3.17 – Головні напруги N1 (вигляд спереду)

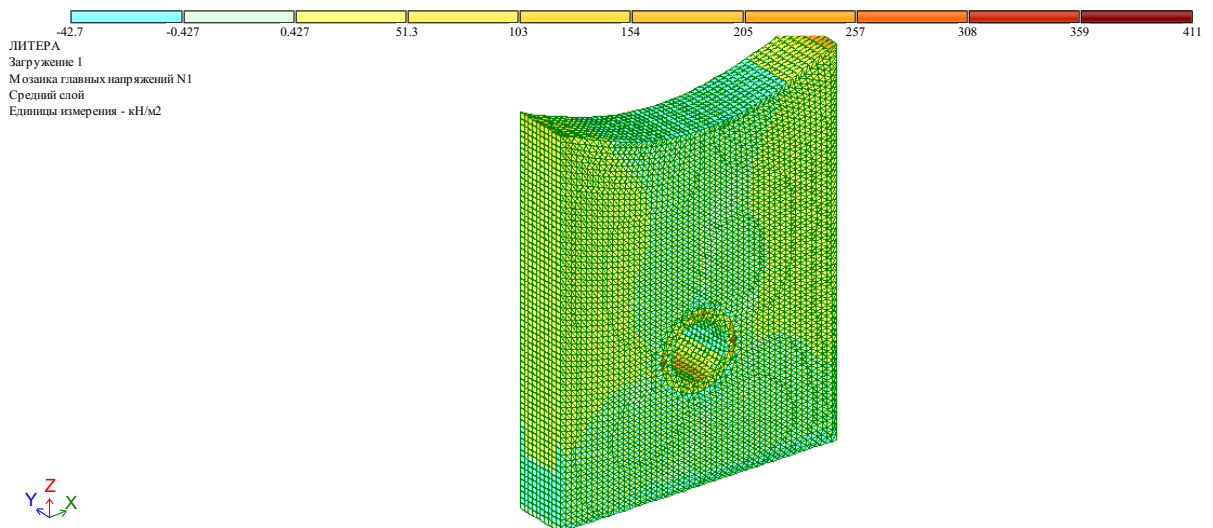


Рисунок 3.18 – Головні напруги N1 (аксонометрія)

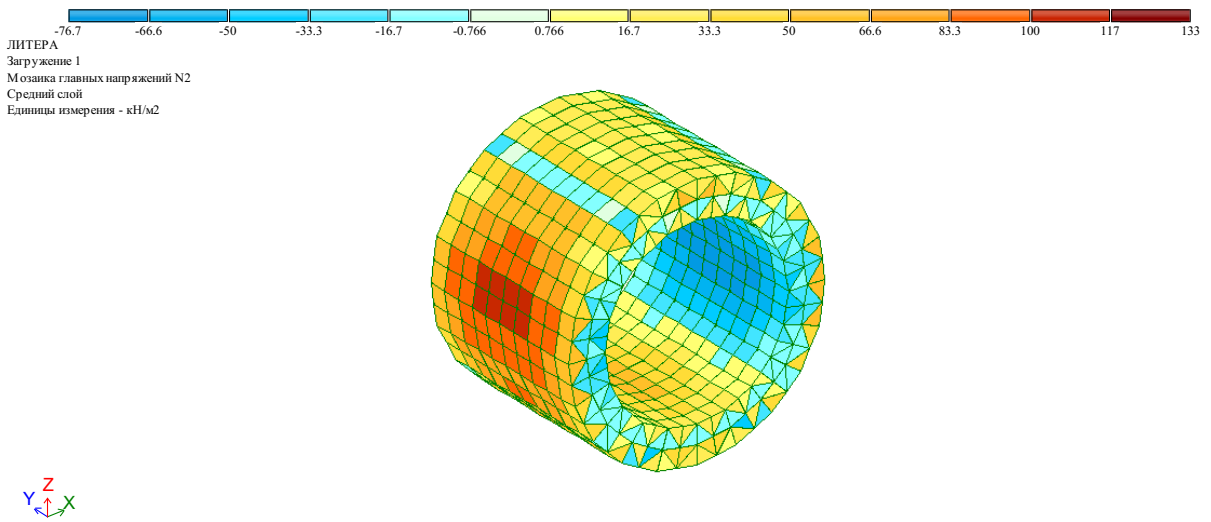


Рисунок 3.19 – Головні напруги N2

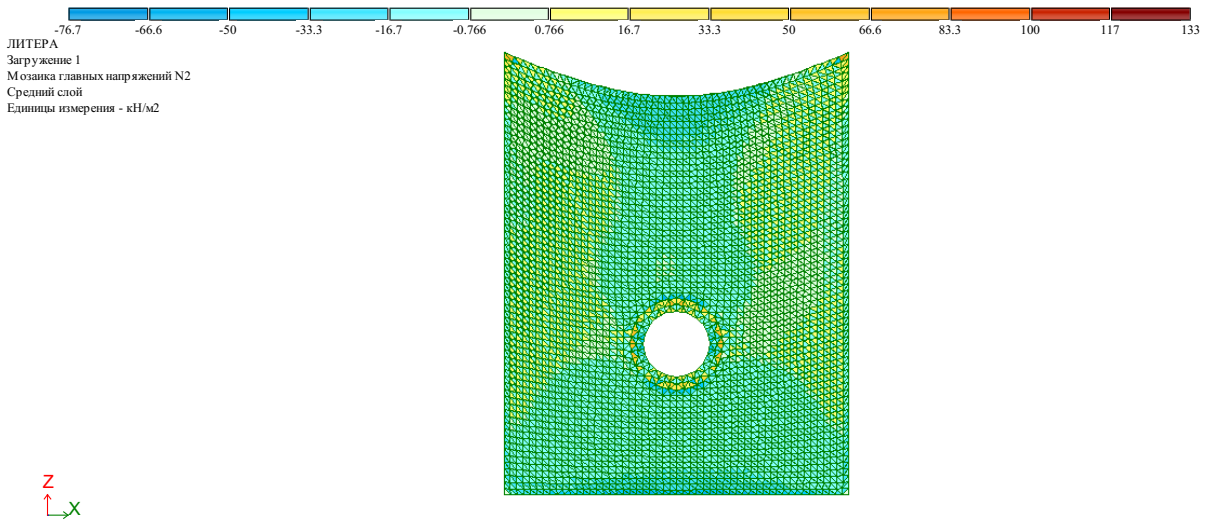


Рисунок 3.20 – Головні напруги N2 (вигляд спереду)

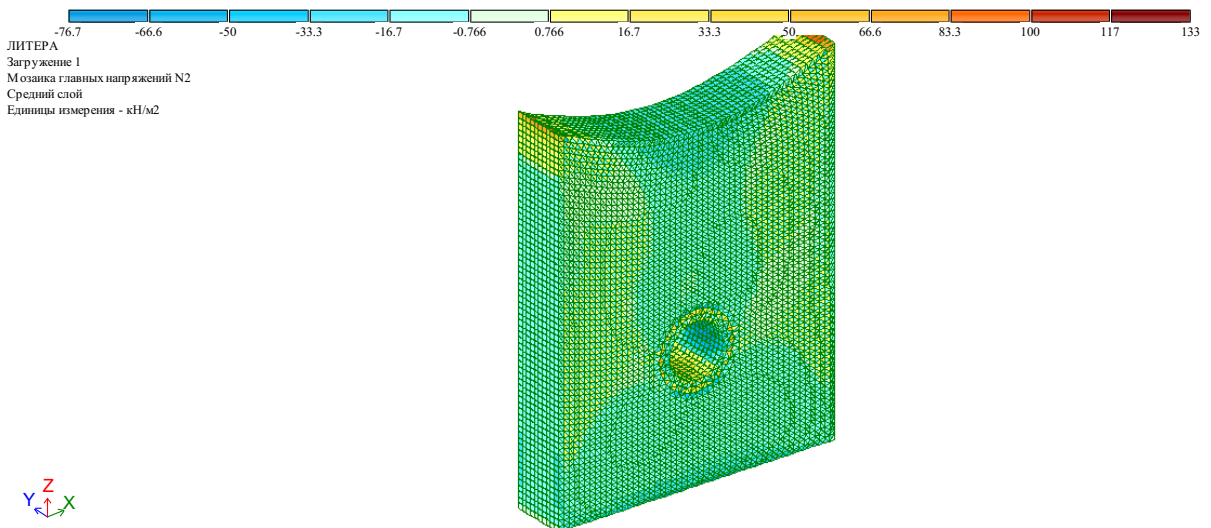


Рисунок 3.21 – Головні напруги N2 (аксонометрія)

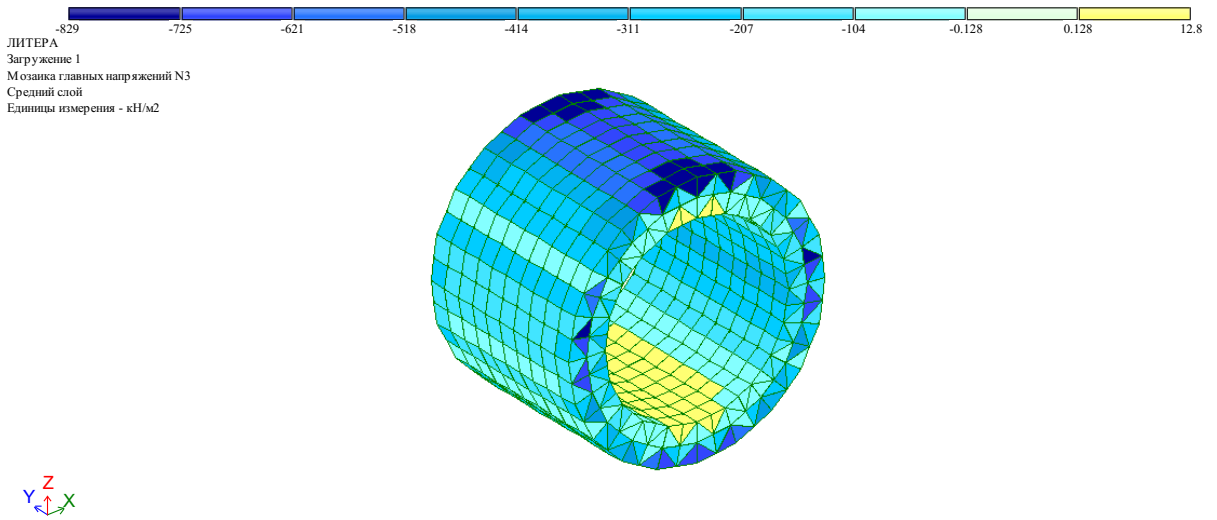


Рисунок 3.22 – Головні напруги N3

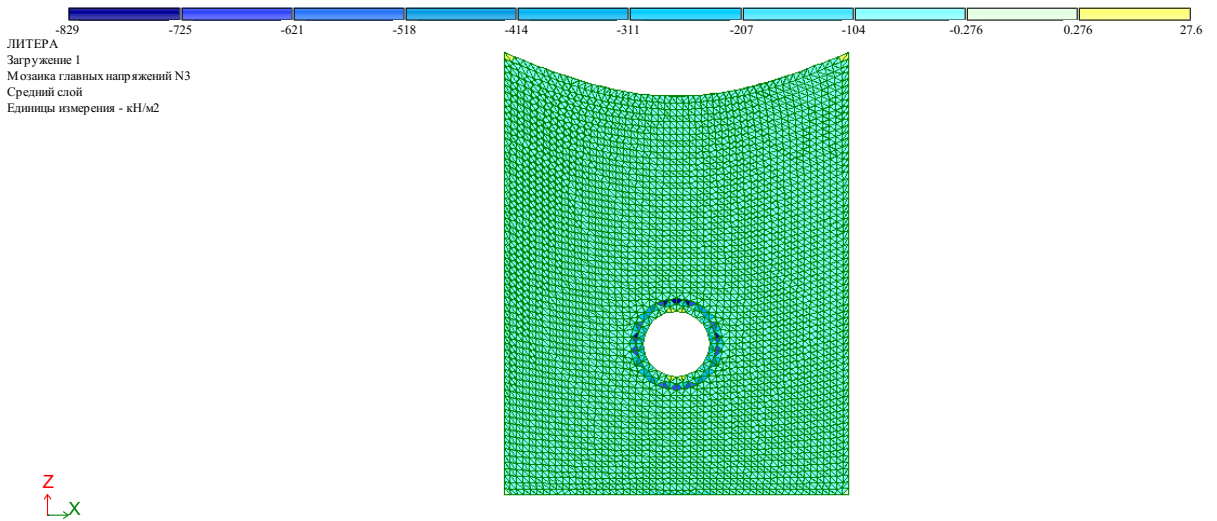


Рисунок 3.24 – Головні напруги N3 (вигляд спереду)

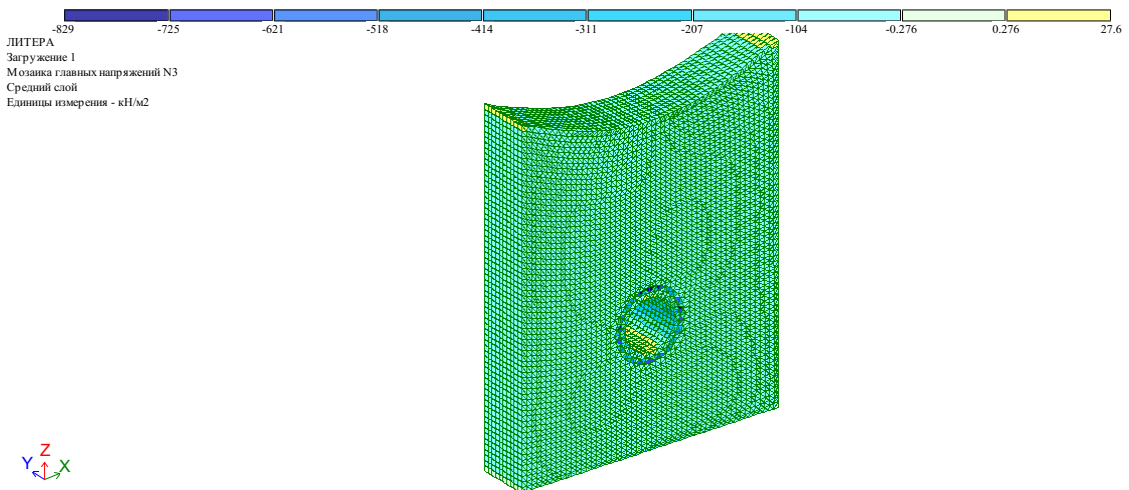


Рисунок 3.25 – Головні напруги N3 (аксонометрія)

Під час розрахунку отримана деформована схема фрагмента. Максимальні значення горизонтальних переміщень X склали 4,7 мм. Максимальні значення горизонтальних переміщень e склали 4,7 мм.

Максимальний показник значень головних напружень $N1$ становлять (-42,7; 965) кН/м² (табл. 3.3., п. 4). Максимальні значення головних напружень $N2$ склали (-145,7; 223) кН/м² (табл. 3.3., п. 5). Максимальні значення головних напружень $N3$ склали (-1320; 27,6) кН/м² (табл. 3.3., п. 6).

Для перевірки несучої здатності елементів каналізаційного колектору оболонки системи застосовується енергетичний критерій, запропонований Г.В. Васильковим та В.С. Шмуклером. Цей критерій враховує різні види деформацій, такі як стиску, розтягу та зсув, для матеріалів з різними характеристиками опору [72]:

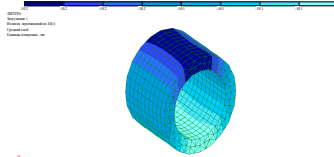
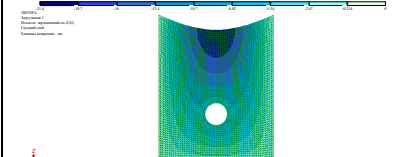
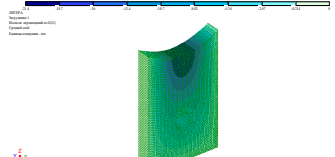
$$e_u = 0,5c_s^2[(1 + c_s)e_{uc} + (1 - c_s)e_{ut}] + (1 - c_s^2)e_{ush} \quad (1)$$

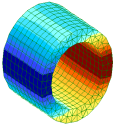
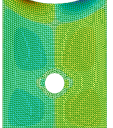
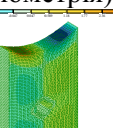
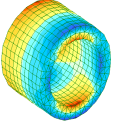
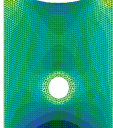
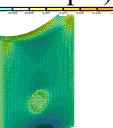
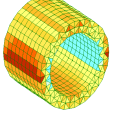
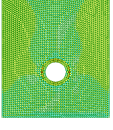
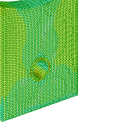
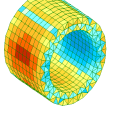
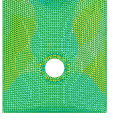
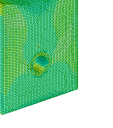
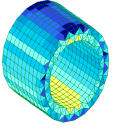
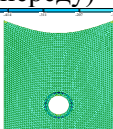
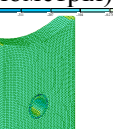
де $c_s = \frac{2s_2 - s_1 - s_3}{s_1 - s_3}$ – параметр Лоде-Надаї напруженого стану;

s_1 і s_2 і s_3 – головні напруження;

e_u – граничне значення щільності потенціальної енергії деформацій потенціальної енергії деформації (ПЕД).

Таблиця 3.3 – Аналіз оцінки напружено-деформованого стану конструкції склепіння колектору водовідведення, який відновлюється

№ п/п	Схема розрахунку		
	Деформована схема фрагмента		
	Вертикальні переміщення	Вертикальні переміщення (вид спереду)	Вертикальні переміщення (аксонометрія)
1			

Максимальне значення горизонтальних переміщень X			
2	Горизонтальні переміщення уздовж осі X	Горизонтальні переміщення уздовж осі X (вид спереду)	Горизонтальні переміщення уздовж осі X (аксонометрія)
			
Максимальне значення горизонтальних переміщень Y			
3	Горизонтальні переміщення уздовж осі Y	Горизонтальні переміщення уздовж осі Y (вид спереду)	Горизонтальні переміщення уздовж осі Y (аксонометрія)
			
Максимальні значення головних напружень N1			
4	Головні напруги N1	Головні напруги N1 (вид спереду)	Головні напруги N1 (аксонометрія)
			
Максимальні значення головних напружень N2			
5	Головні напруги N2	Головні напруги N2 (вид спереду)	Головні напруги N2 (аксонометрія)
			
Максимальні значення головних напружень N3			
6	Головні напруги N3	Головні напруги N3 (вид спереду)	Головні напруги N3 (аксонометрія)
			

e_{uc}, e_{ut}, e_{ush} – приватні граничні показники щільності ПЕД при деформації на стиск, розтяг та зсуву;

$$e_{uc} = \int_0^{\varepsilon_{uc}} \sigma_c(\varepsilon_c) d\varepsilon_c;$$

$$e_{ut} = \int_0^{\varepsilon_{ut}} \sigma_t(\varepsilon_t) d\varepsilon_t;$$

$$e_{ush} = \int_0^{\varepsilon_{ush}} \tau_c(\gamma) d\gamma$$

$\sigma_c(\varepsilon_c); \sigma_t(\varepsilon_t); \tau_c(\gamma)$ – залежності «напруження - деформація», отримані безпосередньо із експериментів. У разі лінійного пружного деформування

$$e_{uc} = \frac{f_{ck}^2}{2E_0};$$

$$e_{ut} = \frac{f_{ctk}^2}{2E_0}$$

$$e_{ush} = \frac{f_{sk}^2}{2G};$$

$$f_{sh} \approx 0,7\sqrt{f_{ck} \cdot f_{ctk}}$$

E_0 – модуль Юнга (деформація 1-го роду);

k – емпіричний коефіцієнт;

$G=k \cdot E$ – модуль зсуву (деформація 2-го роду);

f_{ck}, f_{ctk}, f_{sh} – характеристичні значення міцності матеріалів на стиск, розтяг, зсув;

$\varepsilon_{uc}, \varepsilon_{ut}, \varepsilon_{ush}$ – значення граничної деформативності.

В кожному скінченному елементі виконуються перевірка міцності за формулою:

$$e_i \leq e_{ni} \tag{2}$$

де $e_{ni} = \gamma \cdot e_{ui}$ – нормоване значення щільності потенційної енергії деформацій,

γ – коефіцієнт надійності, що статистично обґрунтовано. У разі присвоєння диференційовано різних значень цьому коефіцієнту для бетону оболонки, то виникає можливість управляти послідовністю виходу із строю цього конструкції склепіння колектору;

$$e_i = \frac{1}{2E_0} [\sigma_{1i}^2 + \sigma_{2i}^2 + \sigma_{3i}^2 - 2\mu(\sigma_{1i}\sigma_{2i} + \sigma_{2i}\sigma_{3i} + \sigma_{1i}\sigma_{3i})]$$

μ – коефіцієнт Пуассона;

i — номер скінченного елемента;

e_i — щільність потенційної енергії деформацій — в i -том скінченних елементів [102].

Перевірка умови (2) для схеми, що розглядається показала його виконання для всіх скінченних елементів.

Висновки до розділу 3.

В розділі виконано науково обґрунтований пошук матеріалів для захисту відновлених конструкцій від корозії. Приймаючи до уваги можливість використання для ремонту та відновлення колектору бетонних та залізобетонних конструкцій розглянуто питання їх корозієстійкості.

Основним прийомом підвищення корозієстійкості цементного каменю слід вважати зниження його капілярної пористості. Це досягається по-перше, використанням спеціальних мінеральних хімічних добавок на стадії приготування бетонних сумішей. Мінеральні тонкомелені добавки заповнюють простір між частками в'язучого і дрібним заповнювачем. Означене сприяє ущільненню бетону на мезорівні.

Запропонований теоретичний підхід дозволив розробити напівфункціональну добавку, обґрунтувати спосіб введення добавок в бетон, з урахуванням іонного балансу різних форм кальцію, кремнію і алюмінію і синтезувати додаткові кристалогідрати в процесі твердіння, зарощуючи пори і капіляри кристалічними новоутвореннями, аналогічними за складом кристалогідратним з'єднанням цементного каменю.

Заслуговує уваги застосування для протидії корозії полімерних матеріалів, які мають абсолютну водонепроникність, високу хімічну стійкість, невелику вагу і різну щільність.

З використанням методу скінчених елементів в даному розділі доведено можливість використання конструкцій із корозієстійкого армованого композитною арматурою бетону для ремонту та відновлення колекторів відкритим способом, при умові опирання нового склепу на збережену лоткову частину. При проведенні розрахунку була розглянута модель колектора, що складається зі збереженої лоткової частини, виготовленої з бетону класу С12/15. Верхня частина колектора водовідведення виконана з бетону класом С20/25.

Власна вага та вага стічної води, якою заповнено колектор – основні зовнішні навантаженнями, які виникають в процесі експлуатації. До них також можна віднести вагу земляної засипки та тимчасові навантаження, які на неї діють (в тому числі навантаження від ґрунту, у якому пролягає колектор водовідведення).

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРА ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

4.1 Ремонт та відновлення колектора із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону та композитної арматури

Вперше у будівельній практиці було розроблено організаційні та технологічні рішення щодо виконання ремонтно-відновлювальних робіт на колекторах шляхом зведення конструкції склепіння за допомогою армованого самоущільнюючого корозієстійкого бетону [9, 20, 37, 38, 39, 40, 41] (рис. 2).

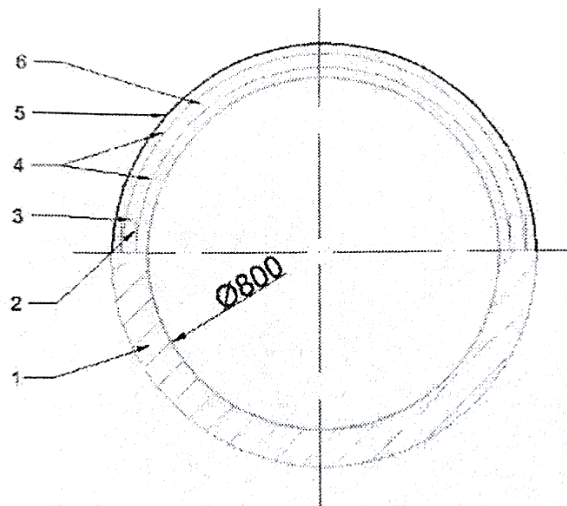


Рисунок 4.1 – Принципова схема відновлення колектора водовідведення із використанням самоущільнюючого корозієстійкого бетону:

- 1 – збережений лоток; 2 – існуюча арматура;
- 3 – пневматична опалубка; 4 – нова композитна арматура;
- 5 – інвентарна опалубка; 6 – самоущільнюючий корозієстійкий бетон.

В лабораторних умовах було проведено експериментальне

дослідження. Воно спрямоване на відновлення конструкції склепіння колектору водовідведення з внутрішнім діаметром 800 мм і довжиною 1000 мм. Для проведення лабораторних випробувань методом експерименту було доставлено заздалегідь підготовлені конструктивні елементи збереженого лотка колектору.

Попередні обчислення несучої здатності нового склепу дали змогу визначити схему армування за допомогою склопластикової арматури. Так, для склепу з внутрішнім діаметром 800 мм та довжиною експериментальної ділянки 1000 мм поперечна арматура має бути діаметром 4,7 мм з кроком 60 мм, а повздожня арматура - діаметром 4,7 мм у кількості 7 штук.

Важливим елементом дослідження є вибір складу самоущільнюючої корозієстійкої бетонної суміші [24]. Підбір складу бетонів із само ущільнювальних сумішей (з розтіканням стандартного конуса від 55 до 85 см) виконується по тим же принципам, які лежать в основі методу підбору бетонів з врахуванням особливостей, пов'язаних із обов'язковим використанням добавок і допоміжними вимогами до якості компонентів сумішей [24]. При цьому необхідно приймати до уваги наступні додаткові вимоги.

В якості компонентів само ущільнювальних бетонних сумішей можуть бути використані наступні матеріали:

- портландцемент, шлакопортландцемент, сульфатостійкий цемент із нормальною густиною не більше 28% і вмістом С3А не більше 8%, відповідно до ДСТУ;
- піски, миті з модулем крупності (Мк) від 1,1 до 3,0 відповідно до ДСТУ;
- крупний заповнювач фракції не більше 20 мм, відповідно до ДСТУ.

В якості добавок слід використовувати:

- суперводоредуціючі, відповідно до вимог ДСТУ;
- стабілізуючі (водо утримуючі), відповідно до вимог ДСТУ;

– мінеральні добавки, які відповідають ДСТУ, в тому числі активні (мікрокремнезем, зола, метакаолін, тонкомелений доменний гранульований шлак та природні пуцолани) та інертні мікронаповнювачі (порошок вапняку і доломітів, кварцова мука та інше);

– витрати цементу в складі бетону знаходяться в значеннях від 300 до 500 кг/м куб. Для важкого бетону.

Загальна кількість тонко дисперсних компонентів, які включають цемент, мінеральні (активні і інертні мікронаповнювачі) або органо-мінеральні добавки повинні знаходитися в діапазоні від 550 до 600 кг на м куб. Кількість води затворення визначається з урахуванням заданої рухливості суміші по розпливу конуса.

Всі компоненти бетону: цемент, дрібний і крупний заповнювачі - відповідають нормативним значенням, які установлені стандартами. Питна вода для замішування бетону використовується без попередніх випробувань.

а) В'язуче сульфатостійкий цемент СС-400: ДСТУ Б В. 2.7. -46-2010.

– R_d -активність цементу – 400 кгс/ см².

– насипна густина 1,2 г/см³;

– дійсна густина 3,1 г/см³.

б) Дрібний заповнювач – пісок кварцовий, митий з модулем крупності $M_k = 1,25$ – дуже дрібний (згідно ДСТУ Б В. 2.7 -32-9)

– насипна густина , 1,5 г/см³.

– дійсна густина, 2,63 г/см³.

– V_n – порожнистість 45%.

– W_n – вологість 1,3 %.

в) Крупний заповнювач щебінь – гранітний фракції 3-10 мм: ДСТУ Б В. 2.7-75-98

– насипна густина 1,45 г/см³.

– дійсна густина 2,65 г/см³.

– V_n – порожнистість щебню, 42%

– W_n – вологість 0,4 %.

г) Вода водопровідна питна = 1 г /см³.

Теоретичний розрахунок складу бетонної суміші.

1. По формулі (1) назначають цементно-водне відношення (Ц/В), яке орієнтовно забезпечує потрібну середню міцність класу бетону в проектному віці (28 діб).

При проведенні підбору складу бетонної суміші середню міцність класу визначають рівній міцності бетону при коефіцієнті $V = 13,5 \%$

$$C / B = (30 - 0,06 \times 40) / (0,24 \times 40 + 13) = 1,8 \quad (1)$$

Де (Ц/В) - цементно-водне відношення, яке забезпечує необхідну міцність бетону;

– міцність (активність) цементу яка приймається рівною показнику класу, МПа;

– потрібна середня міцність класу бетону нормального твердіння у віці 28 діб, МПа.

2. Орієнтовні витрати води для розрахунку і підбору номінального початкового складу приймають по табл. А.2 ДСТУ Б В. 2.7-215:2009

$B = 200$ кг.

3. Витрати цементу Ц, кг, на 1 м³ в початковому складі бетонної суміші розраховують за формулою

$$C = (C / B) \times B \quad (2)$$

де Ц/В - цементно-водне відношення, визначене 1; В - витрата води, л, прийнятий по табл. А.2 ДСТУ Б В. 2.7-215:2009

$$C = 1,8 \times 200 = 360 \text{ кг}$$

4. Абсолютний обсяг наповнювачів в складі бетонної суміші розраховується з урахуванням обсягу залученого повітря, активних мінеральних або органо-мінеральних добавок за формулою:

$$V_3 = 985 - B / -Ц / -M / , \quad (3)$$

$$V_3 = 985 - 20 - 360 / 3,1 - 36 / 2,2 - 97 / 2,63 = 578 \text{ кг/м}^3$$

де V_3 – абсолютний обсяг наповнювачів в складі бетонної суміші, л;

$Ц$, $В$, $М$ – витрата цементу, води, активних мінеральних або органічних додавок у складі бетонної суміші, кг/м³;

– щільність води, 1 кг/л;

– середня щільність зерен цементу, активних мінеральних або органічних додавок, кг/л.

Визначення оптимального дозування активної мінеральної додавки. Оптимальне дозування мікрокремнезема конденсованого приймається на підставі технічних умов на додавку і становить 10% маси цементу. Таким чином, кількість МК в розрахункових складах бетону складає 36 кг/м³.

Визначення кількості мікронаповнювача. Кількість мікронаповнювача на початковому етапі визначається виходячи з середнього значення кількості тонкодисперсних компонентів ($Ц + МК + МН$) в складі бетону - 578 кг/м³, і складе 182 кг/м³, $(360 + 36 + 182) = 578 \text{ кг/м}^3$.

5. Кількість дрібного заповнювача (піску) розраховують за формулою:

$$П = V_3 \times r \times x , \quad (4)$$

$$П = 578 \times 0,5 \times 2,63 = 760 \text{ кг/м}^3$$

де $П$ – витрата піску, кг/м³;

r – частка піску в суміші заповнювачів;

x – дійсна щільність зерна піску, кг/л.

Частку піску в початковому складі приймають в залежності від розходу цементу і найбільшої крупності заповнювача згідно табл. 4.1.

Кількість крупного заповнювача розраховують за формулою

$$Щ = V_3 \times (1 - r) \times x \quad (5)$$

$$Щ = 578 \times (1 - 0,5) \times 2,63 = 760 \text{ кг/м}^3$$

де $Щ$ – витрата крупного заповнювача, кг/м³;

– середня щільність зерна щебню, кг/л.

Таблиця 4.1 – Частка піску в суміші заповнювачів

Витрата цементу, кг/м ³	Найбільша крупність щебню, мм		
	10	20	40
200	0,54	0,51	0,48
300	0,51	0,48	0,45
400	0,48	0,45	0,42
500	0,45	0,42	0,39

Оптимальна кількість добавок, що вводяться в бетонну суміш (Д, кг/м³), визначають по ДСТУ.

Разом витрата матеріалів на 1 м³ бетону складають:

- Сульфатостійкий цемент марки 400 – 360 кг;
- Пісок митий – 760 кг;
- Щебінь фракції 3-1 мм – 760 кг;
- Мікрокремнезем – 36 кг;
- Кварцове борошно – 182 кг;
- Суперводоредуруюча добавка SikaPlast[®] -2508 HE UA від 1 до

3 кг – за інструкцією.

Середня щільність бетонної суміші дорівнює:

$$\text{Ц} + \text{П} + \text{Щ} + \text{В} + \text{Мк} + \text{Мн} = 360 + 760 + 760 + 200 + 36 + 182 = 2298 \text{ кг/м}^3.$$

При використанні розробленого рішення для відновлення колектору передбачена наступна послідовність робіт [18, 20, 22, 29, 36]. Спочатку очищення колектору водовідведення від елементів зруйнованої конструкції склепіння. Далі встановлюється пневматична опалубка у збереженій лотковій частині. Згодом виконується армування склепіння, в тому числі з'єднання нової композитної арматури з існуючою арматурою лотку, який було збережено. Для подальших технологічних дій встановлюється інвентарна опалубка з боків пневматичної опалубки. Потім виконуються роботи по бетонуванню склепіння корозієстійким самоущільнюючим бетоном. Далі, після набору бетоном необхідної міцності, виконуються

демонтажні роботи пневмо- та інвентарної опалубки. В таблиці 4.2 представлена технологічна схема послідовності відновлення колектора.

Таблиця 4.2 – Технологічна послідовність відновлення колектора Ø 800 мм відкритим способом із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону

Операція	Загальний вигляд у лабораторних умовах	Технологічний процес	Ресурс, що застосовується
1	2	3	4
1		Армування знов створюваної склепінної частини відновлювального колектора на основі збереженої лоткової частини	Склопластикова арматура Ø 4,7 мм
2		Монтаж пневматичної опалубки	Пневматична опалубка діаметром 800 мм, довжиною 1000 мм

3		<p>Монтаж фіксаторів із композитного матеріалу для забезпечення товщини захисного шару</p>	<p>Фіксатори діаметром 5 см із композитного матеріалу</p>
4		<p>Підготовка до монтажу металеві інвентарної опалубки</p>	<p>Металева інвентарна опалубка</p>
5		<p>Технологічний процес монтажу металеві інвентарної опалубки</p>	<p>Металева інвентарна опалубка лоткова частина колектора, пневмоопалубка, елементи армування</p>

6		<p>Завершальний етап монтажу металевої інвентарної опалубки. Операція виконується перед початком бетонування склепіння</p>	<p>Металева інвентарна опалубка для бетонування склепу діаметром 800 мм довжиною 1000 мм</p>
7		<p>Бетонування склепової частини колектора що відновлюється</p>	<p>Корозієстійкий бетон класу С 16/20</p>
8		<p>Фрагмент відновленого каналізаційного колектору після демонтажу пневматичної та металевої інвентарної опалубки</p>	<p>Композитна арматура Ø 4,7 мм, корозієстійкий бетон класу С 16/20</p>

Для дослідження впливу агресивного середовища на кислотостійкий бетон в процесі бетонування склепу були виготовлені зразки кубів з довжиною ребра 10 см які були досліджені на міцність у віці 28 діб нормального твердіння. Окремі зразки із даної партії були розміщені в біокамері впродовж трьох місяців. В якості біокамери виступала оглядова шахта каналізаційного колектора глибокого залягання. В таблиці 4.3 приведені дані заміру концентрації сірководню який складає 500 мг/м^3 , що перевищує гранично допустиму концентрацію у 50 разів. В таблиці 4.4 та на

рисунку 4.2 приведені результати дослідження бетонних кубів на міцність при стисканні до і після перебування в біокамері.

Таблиця 4.3 – Результати заміру концентрації сірководню у шахті № 12 каналізаційного колектора м. Харкова

ГДК	Контрольна точка	Глибина вимірювання, м	Сірководень H_2S , мг/м ³	Діоксид вуглецю CO_2 % об	Горючі гази, метан, CH_4 % об	Аміак, NH_3 мг/м ³	Кисень, O_2 , % об
№ п/п			10	20	2,0	20	18...23
1	Шахта № 12 колектора ХТЗ	3,0	> 50 0,0	—	—	—	—



Рисунок 4.2 – Випробування на міцність при стисканні зразків бетону після перебування в біокамері

Таблиця 4.4 – Результати дослідження міцності зразків бетону до і після перебування в біокамері

Найменування бетону	Дата виготовлення	Дата випробування		
		18.08.21	21.10.21	20.12.21 (після 3-х місяців в біокамері)
Сумоущільнюючий бетон Склад: ПЦ 400 – 400 кг; пісок кварцовий – 760 кг; щебінь фр. 3-10 мм – 182 кг; кварцова мука – 182 кг; мікрокремнезем – 36 кг; SkaPlast – 2,3 кг.	12.07.21	Міцність на стиск, $R_{ст}$, кгс/см ²		
		120	100	87

Як видно з табл. 4.4 втрата міцності самоущільнюючий бетону на стиск після знаходження зразків під дією агресивного середовища каналізаційної шахти впродовж трьох місяців склала 13 %, тоді як у звичайного важкого бетону втрата міцності складає 60-70 %.

Використання збереженої лоткової частини зруйнованих корозією каналізаційних колекторів дає можливість створювати на їх основі нову склепінчасту частини із використанням армованого склопластиковою арматурою сумоущільнюючого корозієстійкого бетону. Висока ефективність при цьому досягається при використанні пневматичної та інвентарної опалубок. Розроблені технології робіт мають у 2...3 рази меншу вартість у порівнянні із використанням для ремонтно-відновлюваних робіт поліетиленових або склопластикових труб, діаметр яких зменшує пропускну можливість колектора, що відновлюється.

4.2 Відновлення каналізаційних колекторів із використанням листових полімерних матеріалів

В даному підрозділі представлені дослідження ефективності використання полімерних бетонозахисних листів фірми AGRU та ребристих поліетиленових листів для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на пошкоджених газовою корозією каналізаційних колекторах.

Дослідження ефективності захисту від корозії каналізаційних колекторів з використанням бетонозахисних матеріалів розглянуті в наукових дослідженнях [52]. В цій роботі розглядалось використання цих матеріалів для облицювання вертикальної поверхні нової оглядової шахти, на стіни якої в майбутньому може впливати сірководень, який виникає в каналізаційних тунелях та самій шахті.

Важливим в даному випадку є зчеплення плівки через анкери з бетоном.

В лабораторних умовах були проведені дослідження двох типів з'єднання поліетиленового облицювання з бетоном шляхом визначення міцності на відрив [52].

Зразки №1 і №2 мали наступні характеристики (рис. 4.3):

- розробник - TroliningGmbH;
- тип з'єднання з бетоном — анкер V-образного перерізу, заглиблений на 13-15 мм;
- відстань між анкерами – 40 мм в поздовжньому напрямку і 30 мм в поперечному (анкери розташовані в шаховому порядку);
- товщина захисної плівки 2 мм і 4 мм – для зразків № 1 і № 2 відповідно.

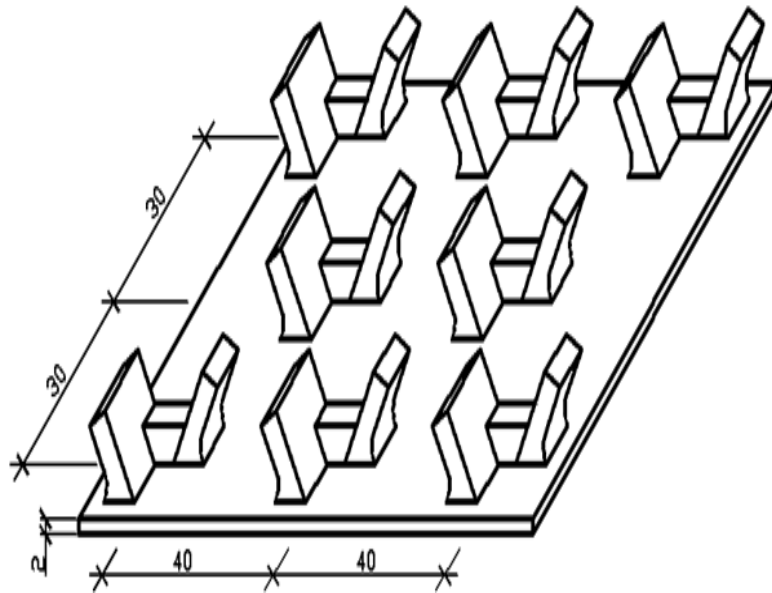


Рисунок 4.3 – Характер розміщення анкерів для зразків №1, №2.

Зразок №3 (рис. 4.4) мав наступні характеристики:

- тип з'єднання з бетоном – ребро, схоже із хвостом ластівки, висотою 45 мм із оголовком, діаметром 3,5 мм;
- відстань між ребрами - 40 мм, товщина захисної плівки – 1,7 мм.

В процесі лабораторних випробувань досліджувались зусилля відриву від бетонної основи кожного варіанту облицювання площиною 12 см².

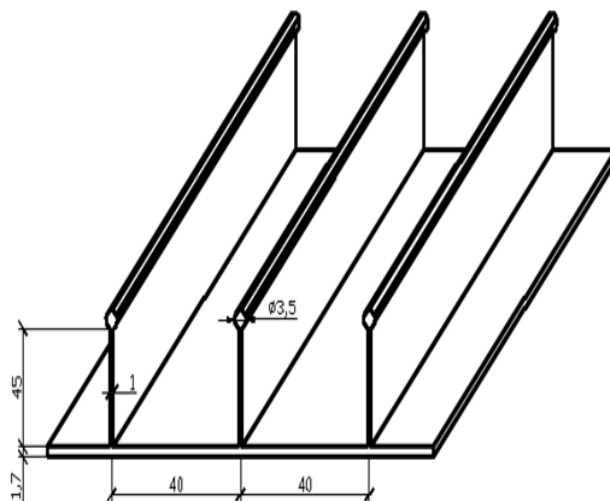
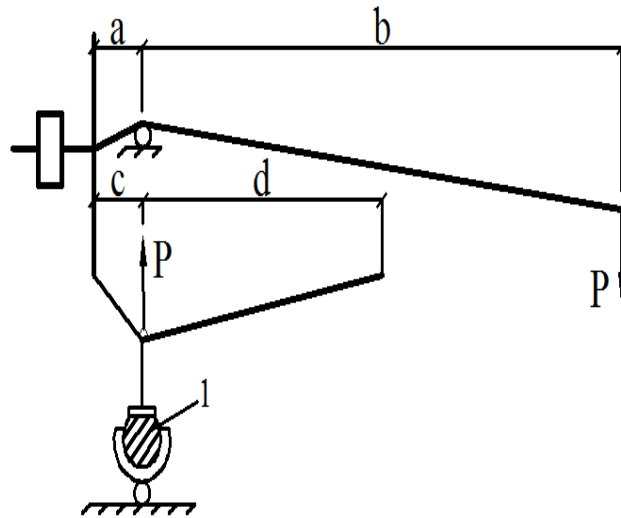


Рисунок 4.4 – Характер розміщення анкерів для зразка № 3

Дослідження проводились на приладі Міхаеліса із співвідношенням важелів 1:50 (рис. 4.5). Використовувався бетон класу С20/25 після набору міцності протягом 28 діб.



a



б

Рисунок 4.5 – Випробування на приладі Міхаеліса:

а – схема випробування зразка, що досліджується, на приладі Міхаеліса

$a:b=1:10$; $c:d=1:5$; б – зразок під час випробування

В результаті проведених лабораторних випробувань усіх бетонних

зразків [52] в поліетиленовим облицюванням була встановлена їх відповідність вимогам, які пред'являються до захисних покриттів для оглядових шахт мереж водовідведення (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Визначення міцності зчеплення зразків з бетоном в розрахунку на 1 м²

Зразок	Назва показника	Одиниця виміру	Показники				
			1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	8
Зразок № 1	Руйнівальне зусилля зафіксоване при відриві 12 см ² облицювання	кгс	82	85,5	76	84	108
	Середнє значення міцності зчеплення 1 м ² облицювання із основою	кгс/м ² (МПа)	69861 (0,68)				
Зразок № 2	Руйнівальне зусилля зафіксоване при відриві 12 см ² облицювання	кгс	69	91	87,5	79,5	81,5
	Середнє значення міцності зчеплення 1 м ² облицювання із основою	кгс/м ² (МПа)	70000 (0,686)				
Зразок № 3	Руйнівальне зусилля зафіксоване при відриві 12 см ² облицювання	кгс	78	83,85	59,15	76,05	79,3
	Середнє значення міцності зчеплення 1 м ² облицювання із основою	кгс/м ² (МПа)	64819,4 (0,64)				

Використовуючи результати проведених досліджень [52] автором була розглянута ідея використання бетонозахисних листів фірми AGRU та ребристих поліетиленових листів для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів зруйнованих внаслідок дії газової корозії [19, 28].

В лабораторію університету були доставлені залізобетонні лоткові елементи колектору із внутрішнім діаметром 800 мм довжиною 1000 мм.

На дні лотка була змонтована пневматична опалубка, поверх якої укладався анкерний поліетиленовий лист фірми AGRU. При цьому по краю

листа анкери були усунені для того, щоб вони не заважали можливості запуску краю листа між пневмоопалубкою та лотковою частиною колектора.

Після укладання листа монтувалась заздалегідь виготовлена металева інвентарна опалубка.


Простір між металевою опалубкою та анкерним листом, укладеним на пневмоопалубку, заповнювався самоущільнюючим бетоном, що дозволяло виконувати процес бетонування без застосування ущільнення з допомогою вібраторів.


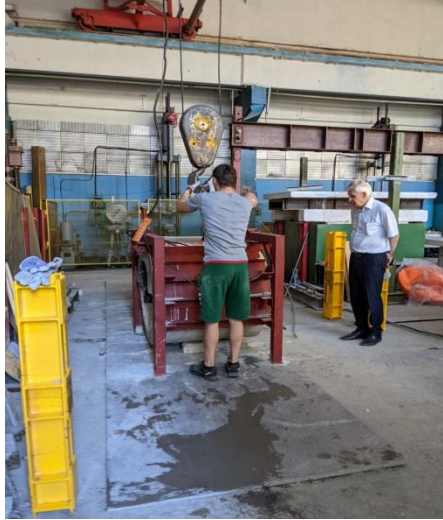


Після тужавіння бетонної суміші та набору міцності виконувався демонтаж металевої та пневматичної опалубок.

Подібні технологічні процеси були виконані при використанні ребристого поліетиленового листа.

В таблиці 4.6 представлена технологічна послідовність робіт по відновлення колектору із використанням поліетиленового бетонозахисного листа фірми AGRU, в табл. 4.7 - технологічна послідовність робіт з використанням ребристого поліетиленового листа.

Таблиця 4.6 – Технологічна послідовність відновлення каналізаційного колектора діаметром 800 мм з використанням анкерного поліетиленового листа фірми AGRU

Операція	Загальний вигляд у лабораторних умовах	Технологічний процес	Ресурс, що застосовується
1	2	3	4
1		Монтаж пневматичної опалубки із захисною поліетиленовою плівкою в уцілілу лоткову частину колектора	Уціліла лоткова частина колектора, пневматична опалубка Ø 800 мм

2		Монтаж анкерного облицовального листа AGRU	Анкерний облицовальний лист пневматична опалубка
3		Монтаж металевої інвентарної опалубки	Пневматична опалубка, анкерний облицовальний лист, металева інвентарна опалубка
4		Бетонування бетонною сумішшю поверх анкерного облицовального листа	Бетонна суміш класу С 16/20
5		Фрагмент відновленого каналізаційного колектора Ø 800 мм	Бетон класу С 16/20, анкерний поліетиленовий лист. Існуюча конструкція лотку

Таблиця 4.7 – Технологічна послідовність відновлення каналізаційного колектора діаметром 800 мм з використанням ребристого поліетиленового листа

Операція	Загальний вигляд у лабораторних умовах	Технологічний процес	Ресурс, що застосовується
1	2	3	4
1		Монтаж пневматичної опалубки із захисним ребристим поліетиленовим листом в уцілілу лоткову частину колектора	Уціліла лоткова частина колектора, пневматична опалубка Ø 800 мм
2		Монтаж металевої інвентарної опалубки	Металева інвентарна опалубка
3		Бетонування склепової частини поверх ребристого поліетиленового листа	Бетонна суміш класу С 16/20
4		Фрагмент відновленої склепової частини колектора	Бетон класу С 16/20 ребристий поліетиленовий лист, уціліла лоткова частина колектора

Для випробовування відновлених фрагментів було розроблено спеціальне устаткування, метою якого є відтворення умов перебування відновленого колектора в процесі експлуатації (рис. 4.6), тобто створення умов для моделювання взаємодії відновленого колектора з ґрунтовим середовищем [28].

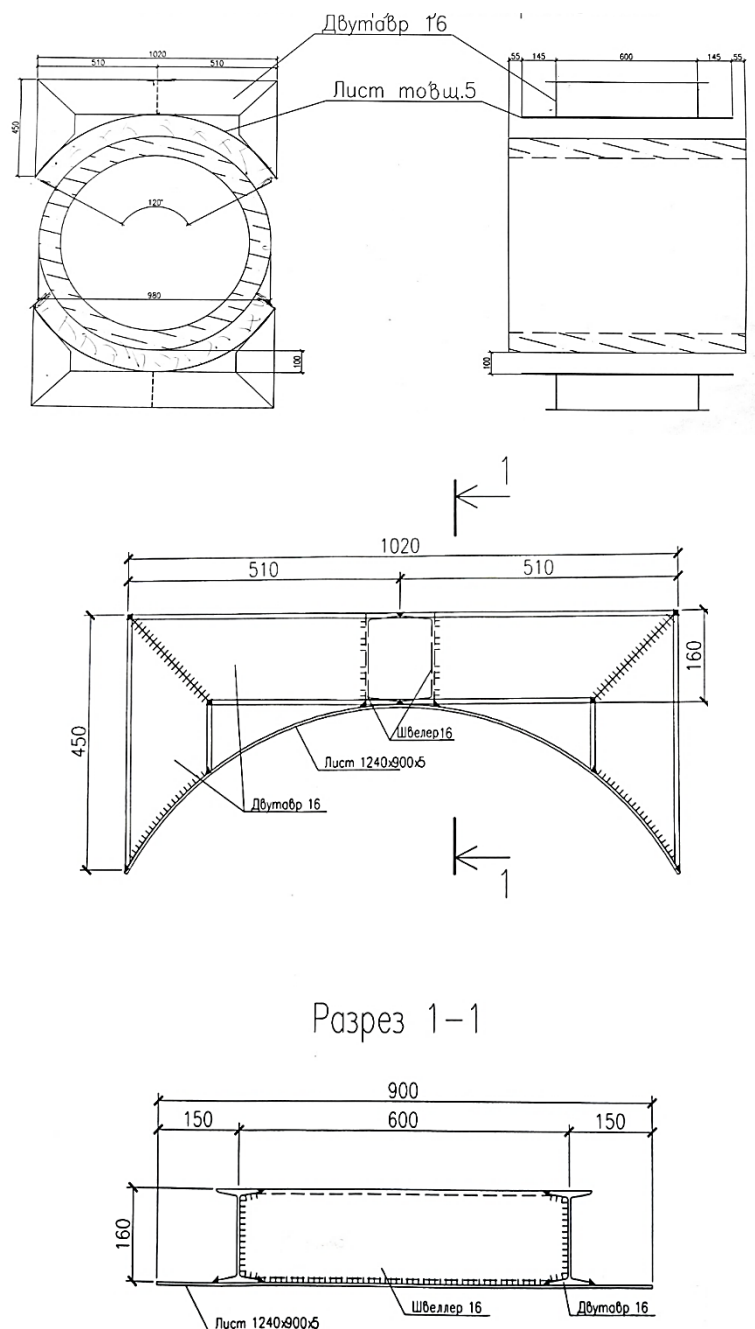


Рисунок 4.6 – Траверса для лабораторних випробувань відновлених колекторів діаметром 800 мм

Зовнішнє зусилля на відновлений колектор повинно враховувати тиск ґрунту на колектор зверху та під лотковою частиною, допоміжне зусилля у

разі проїзду або паркування над відновленим колектором транспорту або сільськогосподарських машин.

До початку випробувань було перевірено клас бетону склепової частини та лотків. Випробування на стиск кубів розміром 100×100 мм, заготовлених під час бетонування склепової частини, показали, що їх міцність відповідає класу бетону C12/15. Лоткова частина, міцність якої вимірювалась за допомогою склерометра ОНИКС-2.5М, відповідала класу бетону C30/35.

Технологічна схема випробування відновленого колектора складається із:

устаткування для створення зовнішнього зусилля над склепінною частиною колектора (рис. 4.7);

– нижньої підлоткової та верхньої надсклепінної напівциліндричних частин зварної конструкції (рис. 4.6. 4.7);

– двох індикаторів часового типу, установлених по спеціальній схемі на кінцях склепінної частини відновленого колектора (рис. 4.8).



Рисунок 4.7 – Установка для випробувань відновленого колектора на зовнішнє зусилля



Рисунок 4.8 – Установка індикаторів для проведення випробувань

В процесі випробувань виконувалась фіксація зовнішнього зусилля, що прикладалося, та відповідна йому деформація склепінної частини. На рис. 4.9, 4.10, 4.11 наведено залежність деформації склепінної частини відновленого колектора від навантаження. Як видно із отриманих результатів, відновлена склепінна частина із застосуванням кислотійкого само ущільнюючого бетону та композиційної арматури витримала зовнішнє навантаження 11000 кг; із застосуванням анкерних облицювальних поліетиленових листів фірми AGRU витримала максимальне зовнішнє зусилля 9500 кг. Склепінна частина із ребристої поліетиленової плівки витримала максимальне зовнішнє зусилля 7000 кг [28].

Використання поліетиленових бетонозахисних листів для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом дає можливість захистити знов створювану склепову частину від подальшої агресивної дії сірководню, який є продуктом газової корозії.

Високу ефективність при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт дає застосування пневматичної та металевої інвентарної опалубок, які дозволяють виконувати ці роботи при незначній трудомісткості та мінімальних економічних затратах.

Проведені експериментальні дослідження [28] показали, що склепіння колектору, відновлена із використанням поліетиленового листа фірми AGRU, витримує зовнішнє навантаження, яке в 1,35 рази вище у порівнянні із зовнішнім навантаженням, яке витримує склепіння колектору, відновлена із використанням ребристого поліетиленового листа. Це підтверджує результати досліджень, отримані в роботі [52].

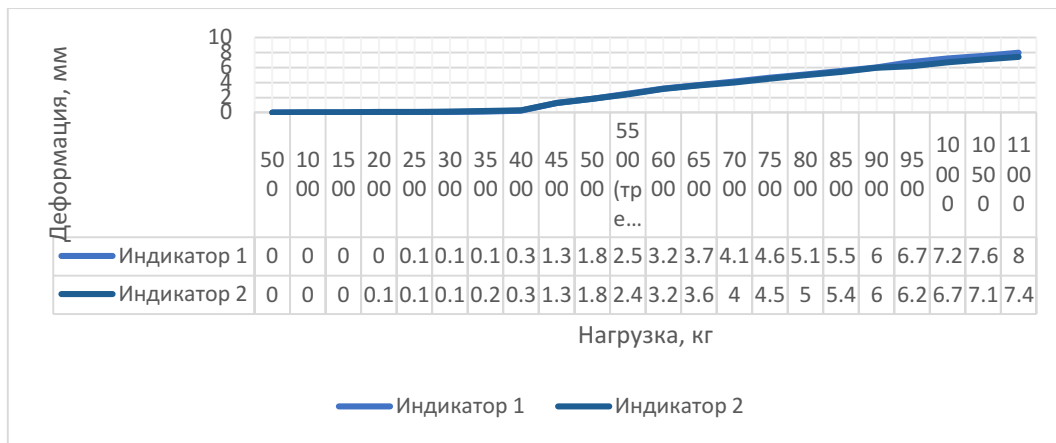


Рисунок 4.9 – Деформація колектора відновленого із використанням кислотійкого само ущільнюючого бетону із композитної арматури

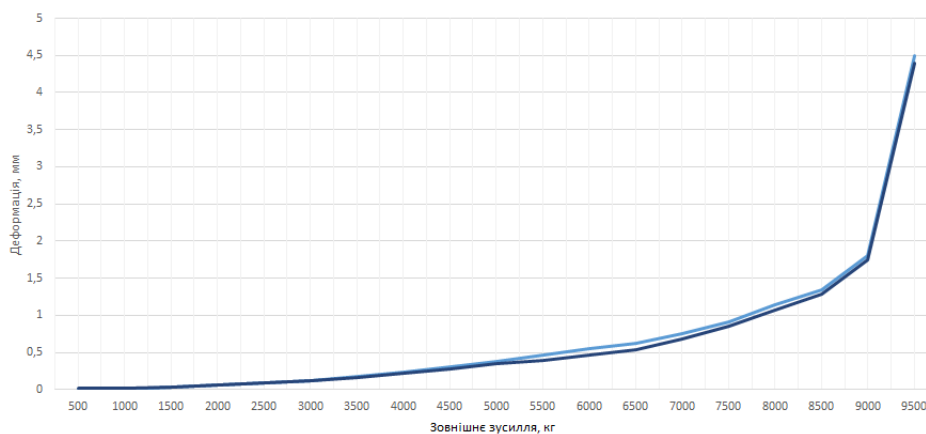


Рисунок 4.10 – Деформація колектора, відновленого із використанням анкерних облицювальних поліетиленових листів фірми AGRU

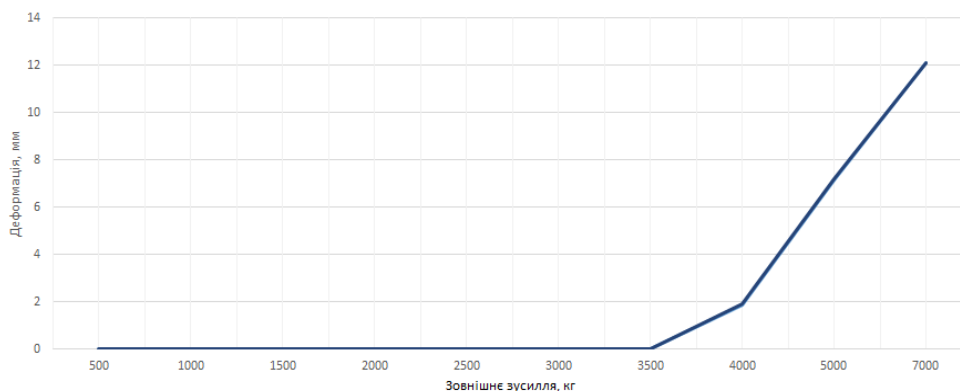


Рисунок 4.11 – Деформація колектора, відновленого із використанням ребристих поліетиленових листів

4.3 Розробка рішень, що дозволяють збільшити пропускну можливість відновленого колектора

У місті Харкові очисні споруди розташовані так, що колектори транспортують стічні води на значні відстані через території, де відсутні транспортні шляхи та пішохідні артерії. Отже відкритий метод ремонтних та відновлювальних робіт є більш доцільним з економічної точки зору.

Зважаючи на той факт, що ці колектори транспортують стічні води із постійно зростаючих мікрорайонів, виникає необхідність у підключенні допоміжних каналів та розширенні поперечного перерізу колектора.

Пневматичні опалубки набули широкого застосування в останні роки, використання яких дозволяє створювати конструкції складної форми [81, 104, 105].

Отже, розглядається можливість використання пневматичної опалубки для створення нового склепіння колектору з використанням лоткової частини як несучої конструкції. Залежно від профілю колектора застосовується пневматична опалубка відповідної конфігурації. Це дозволяє проводити ремонтні роботи з меншими витратами, як свідчать деякі публікації [81, 104, 105], порівняно з використанням полімерних труб. Однією з основних вимог є можливість виконання робіт без перешкод для міського середовища.

Заслуговує уваги приклад ремонтно-відновлювальних робіт в місті Відень [81]. В даному випадку було прийнято рішення збільшити поперечний переріз колектора шляхом будівництва овалоїдального профілю трубопроводу, для чого була використана опалубка овалоїдальної форми, яка укладалася на заздалегідь виготовлені у заводських умовах полімербетонні підшви. Після установки стаціонарної опалубки з боків пневмоопалубки виконувалося армування та бетонування нового колектора. Нові елементи стін пов'язувалися із установленою заздалегідь підшовою,

формуючи при цьому новий трубопровід.

У випадку, що розглядається у даному дослідженні, основним несучим конструктивом стає збережений лотковий елемент, що свідчить про необхідність визначення його несучої здатності, адже у майбутньому він повинен нести навантаження як від склепової частини, так і від стічних вод [38, 39].

Слід відзначити, що основними критеріями які визначали подальший хід розрахунку стали: запланована пропускна здатність колектора; розміри збереженого лоткового елемента; міцності характеристики лоткового елемента.

Каналізаційні колектори, як правило, мають круглий поперечний переріз. Однак, в зв'язку з необхідністю збільшення поперечного перерізу колектора при збереженні його лоткової частини при урахуванні ймовірності використання пневматичної опалубки, виникає можливість створення овалоїдального перерізу. Це може суттєво збільшити його пропускну здатність [32].

Метою даного дослідження є розрахунок пропускної здатності колектора водовідведення при заміні його на овальний переріз. Це виконується з урахуванням наявних геометричних та параметрів міцності збереженої лоткової частини з метою збільшення його поперечного перерізу [28, 32].

Методика дослідження включає натурні обстеження збережених лоткових елементів зруйнованих корозією колекторів. Визначаються геометричні параметри лоткових елементів і можливість на їх основі створити овалоїдальний переріз більшої площі у порівнянні з існуючим, характеристики їх несучої здатності, можливість з'єднання з елементами знов створюваного склепу.

Пропускна здатність самопливного трубопроводу розраховується за наступними формулами, при цьому приймається, що рух води в трубі рівномірний.

1) витрата води

$$q = \omega v \quad (1)$$

де ω – площа поперечного перетину потоку;

v – швидкість руху потоку.

2) швидкість руху потоку

$$v = C\sqrt{Ri}, \quad (2)$$

де i – гідравлічний ухил (для рівномірного руху приймається рівним ухилу лотка);

C – коефіцієнт Шезі;

R – гідравлічний радіус.

3) гідравлічний радіус

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (3)$$

4) коефіцієнт Шезі знаходиться за формулою М.М. Павловського

$$C = \frac{R^y}{n}, \quad (4)$$

де n - коефіцієнт шорсткості змоченої поверхні трубопроводу, залежить матеріалу та стану стінок трубопроводу;

y - показник ступеня;

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (5)$$

Форму поперечного перетину овалоїдальної труби можна описати за допомогою наступних параметрів (рис. 4.12):

- радіуси трьох окружностей R_1 , R_2 , R_3 ;
- загальна висота H .

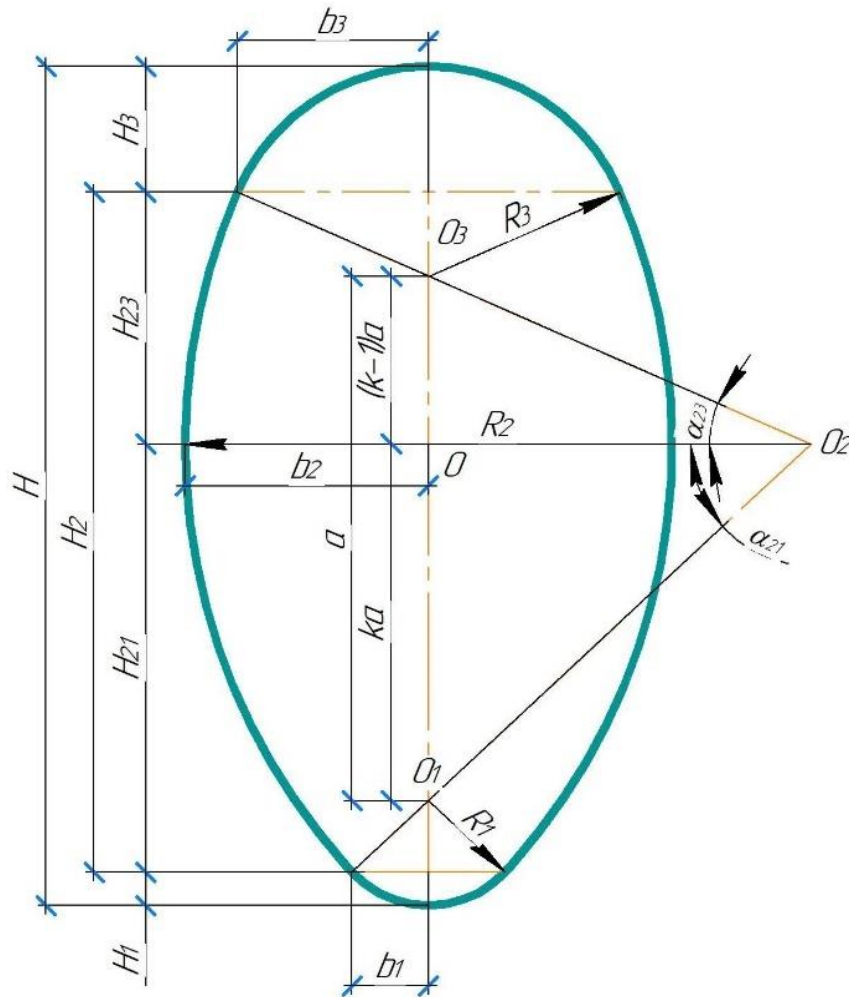


Рисунок 4.12 – Параметри овалоїдальної труби

Слід відмітити, що розглядається випадок, коли дуги окружностей стикаються між собою плавно, тобто в точці стиковки вони мають спільну дотичну. Крім того, центри дуг окружностей 1 та 3 розташовані на прямій O_1O_3 , яка є віссю симетрії овоїда.

Умовно фігуру на рис. 4.12 можна поділити на чотири частини, які мають відповідні висоти H_1 , H_{21} , H_{22} та H_3 .

Площі частин овоїда 1-4 знаходяться за формулами:

$$\omega_1 = \frac{R_1^2}{2} [\pi - 2\alpha_{21} - \sin(\pi - 2\alpha_{21})], \quad (6)$$

$$\omega_3 = \frac{R_3^2}{2} [\pi - 2\alpha_{23} - \sin(\pi - 2\alpha_{23})], \quad (7)$$

$$\omega_{21} = b_1 H_{21} + \frac{R_2^2}{2} [\pi - 2\alpha_{21} - \sin(\pi - 2\alpha_{21})], \quad (8)$$

$$\omega_{23} = b_3 H_{23} + \frac{R_2^2}{2} [\pi - 2\alpha_{23} - \sin(\pi - 2\alpha_{23})], \quad (9)$$

$$\sin \alpha_{21} = \frac{ka}{R_2 - R_1}; \quad (10)$$

$$\sin \alpha_{23} = \frac{(k-1) \cdot a}{R_2 - R_3};$$

$$\begin{aligned} H_1 &= R_1(1 - \sin \alpha_{21}); \\ H_3 &= R_3(1 - \sin \alpha_{23}); \\ H_{21} &= R_2 \sin \alpha_{21}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} H_{23} &= R_2 \sin \alpha_{23}; \\ a &= H - R_1 - R_3, \end{aligned} \quad (12)$$

$$k = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{(R_2 - R_1)^2 - (R_2 - R_3)^2}{a^2}. \quad (13)$$

Формули для знаходження змоченого периметру частин овоїда 1 – 4 при умові повного заповнення їх водою:

$$\chi_1 = R_1(\pi - 2\alpha_{21}), \quad (14)$$

$$\chi_{21} = 2R_2\alpha_{21}, \quad (15)$$

$$\chi_{23} = 2R_2\alpha_{23}, \quad (16)$$

$$\chi_3 = R_3(\pi - 2\alpha_{23}). \quad (17)$$

Значення кутів підставляється в радіанах.

При частковому заповненні овалоїдальної труби водою можливі наступні варіанти (рис. 4.13).

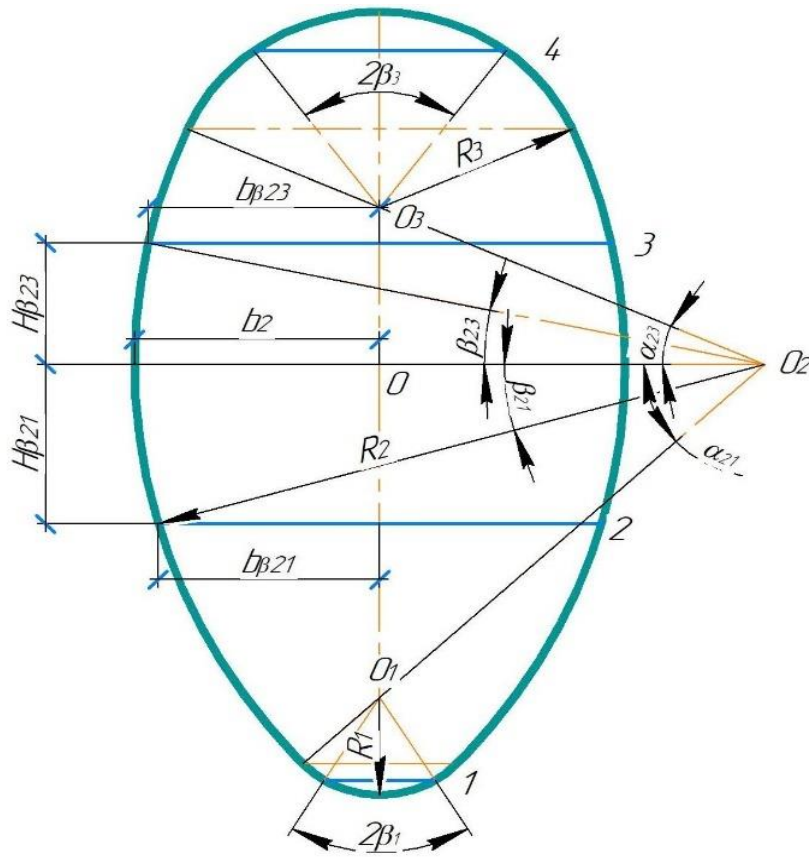


Рисунок 4.13 – Схема для розрахунку пропускної здатності овалоїдальної труби

- 1) $h \leq H_1$, де h – висота шару води у трубі,

$$\omega = \frac{R_1^2}{2} (2\beta_1 - \sin 2\beta_1), \quad (18)$$

$$\chi = 2R_1\beta_1, \quad (19)$$

$$\cos \beta_1 = \frac{R_1 - h}{R_1}. \quad (20)$$

- 2) $H_1 > h \geq H_{21} + H_1$

$$\omega = \omega_{21} - (b_2 + b_{\beta 21})H_{\beta 21} - R_2^2(\beta_{21} - \sin \beta_{21}) + \omega_1, \quad (21)$$

$$\chi = 2R_2(\alpha_{21} - \beta_{21}) + \chi_1, \quad (22)$$

$$\sin \beta_{21} = \frac{H_1 + H_{21} - h}{R_2}, \quad (23)$$

$$b_{\beta 21} = R_2 \cos \beta_{21} - (R_2 - R_1) \cos \alpha_{21}, \quad (24)$$

$$3) \quad H_{21} + H_1 > h \geq H - H_3$$

$$\omega = (b_2 + b_{\beta_{23}})H_{\beta_{23}} - R_2^2(\beta_{23} - \sin \beta_{23}) + \omega_1 + \omega_{21}, \quad (25)$$

$$\chi = 2R_2(\alpha_{23} - \beta_{23}) + \chi_1 + \chi_{21}, \quad (26)$$

$$\sin \beta_{23} = \frac{h - H_1 - H_{21}}{R_2}, \quad (27)$$

$$b_{\beta_{23}} = R_2 \cos \beta_{23} - (R_2 - R_3) \cos \alpha_{23}, \quad (28)$$

$$4) \quad H - H_3 > h$$

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \frac{R_3^2}{2}(2\beta_3 - \sin 2\beta_3), \quad (29)$$

$$\chi = \chi_1 + \chi_{21} + \chi_{23} + \chi_3 - 2R_3\beta_3, \quad (30)$$

$$\cos \beta_3 = \frac{R_3 - H + h}{R_3}. \quad (31)$$

За допомогою залежностей (1) – (31) було проведено розрахунки для труби круглого перетину (діаметр – 1000 мм) та овалоїдальної труби з наступними параметрами: $R_1 = 350$ мм; $R_2 = 2000$ мм; $R_3 = 450$ мм; $H = 1120$ мм. Параметри підбрано таким чином, що площі перетину цих труб приблизно однакові. Матеріал труб приймався бетон. Результати розрахунків, а саме залежність швидкості потоку та витрати від наповнення трубопроводу приведено на рис. 4.14 та 4.15.

Як показують розрахунки пропускна здатність самопливного овалоїдального колектору водовідведення збільшується, якщо порівнювати з трубопроводом з круглим перетином.

Також було виконано розрахунки для овалоїдального трубопроводу з наступними параметрами: $R_1 = 500$ мм; $R_2 = 2000$ мм; $R_3 = 600$ мм; $H = 1500$ мм (рис. 4.16, 4.17). Ця труба у порівнянні з круглим трубопроводом діаметром 1000 мм має в 1,8 рази більшу площу поперечного перетину потоку.

Як показують розрахунки, для овалоїдальної труби з приведеними параметрами у порівнянні з трубопроводом круглого перетину збільшується

швидкість потоку, відповідно пропускна здатність.

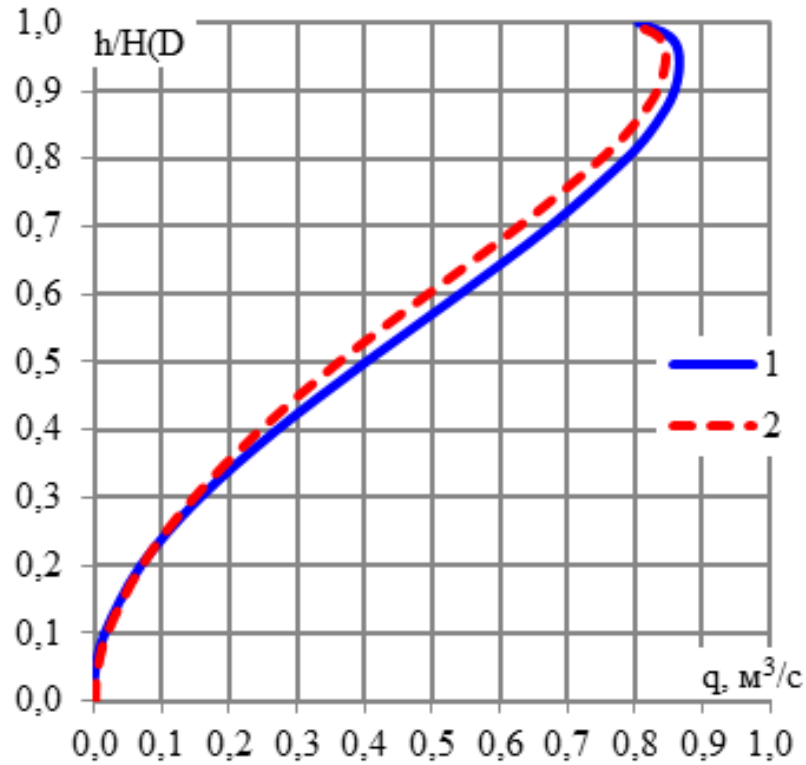


Рисунок 4.14 – Залежність витрати від наповнення колектору:

1 – труби з круглим перетином; 2 – труби з овалоїдальним перетином

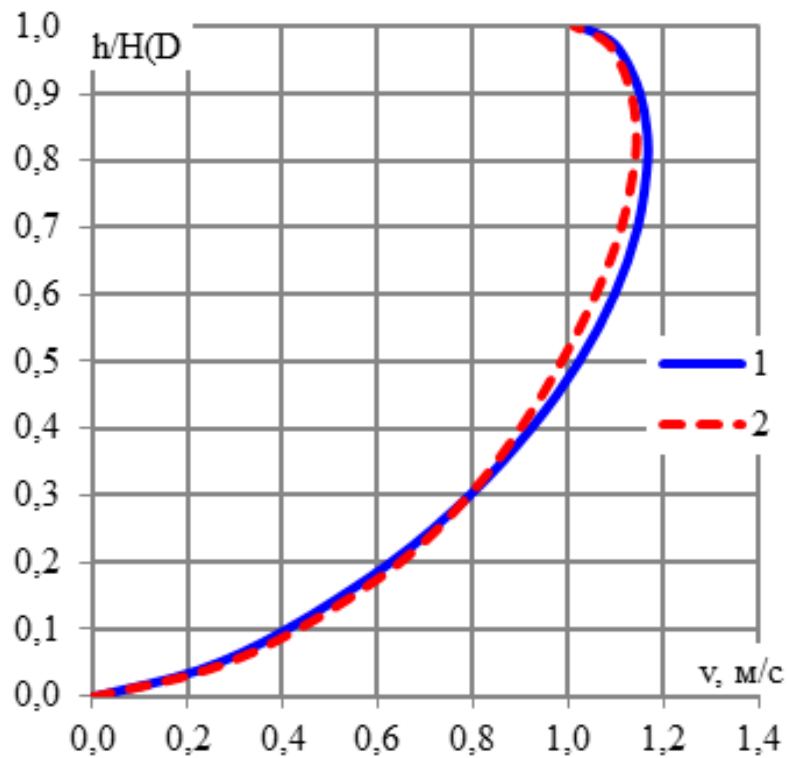


Рисунок 4.15 – Залежність швидкості від наповнення колектору:

1 – труби з круглим перетином; 2 – труби з овалоїдальним перетином

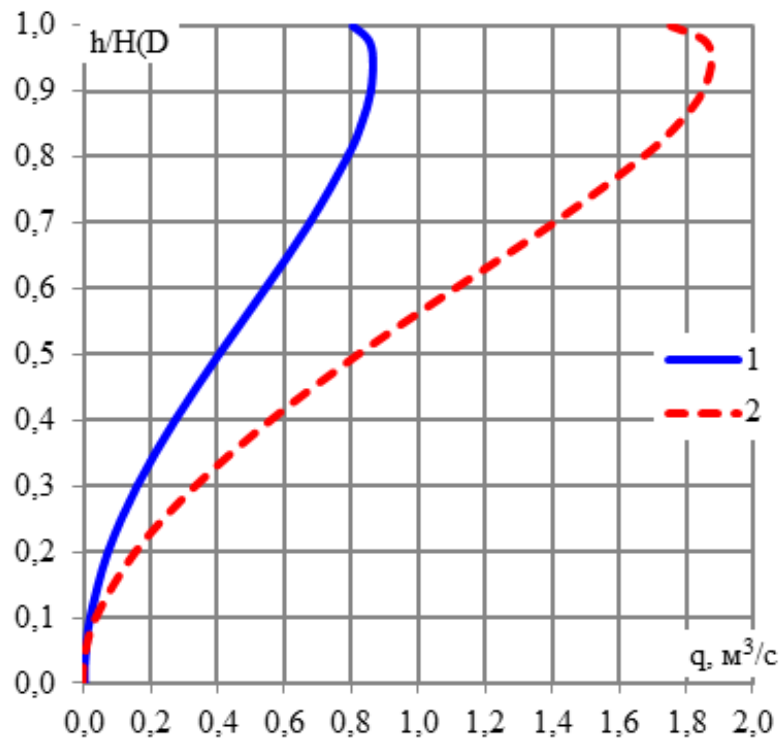


Рисунок 4.16 – Залежність витрати від наповнення колектору:

1 – труби з круглим перетином; 2 – труби з овалоїдальним перетином

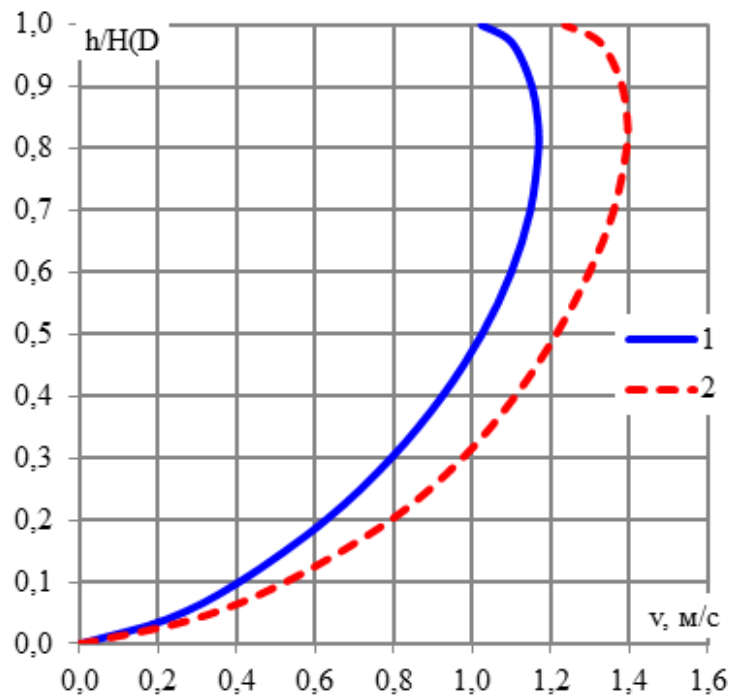


Рисунок 4.17 – Залежність швидкості від наповнення колектору:

1 – труби з круглим перетином; 2 – труби з овалоїдальним перетином

Висновки і перспективи подальшого розвитку у цьому напрямку.

Проведений розрахунок довів можливість збільшення пропускної здатності каналізаційного колектора, що відновлюється, за рахунок зміни його поперечного перерізу на овалоїдальний. Застосування овалоїдального перерізу дає можливість збільшити пропускну здатність колектору. Використання збереженого лотка дозволяє зменшити витрати на ремонт та відновлення колектору.

4.4 Ефективність впровадження заходів з відновлення колекторів неглибокого залягання

Згідно з самою суттю поняття ефективності будь-якого процесу, її кількісне визначення характеризувати як співвідношення отриманого результату (ефекту) до витрат (ресурсів), які були витрачені для його досягнення. Отже, у загальному вигляді формула ефективності має наступний вигляд:

$$\text{Ефективність} = \frac{\text{Ефект (результат)}}{\text{Ресурси (витрати)}} \quad (32)$$

Слід зазначити, що ефективність не завжди може бути точно відображена з використанням кількісних показників. Це твердження випливає з розгалуженої класифікаційної системи ефективності, яка враховує різноманітні аспекти й контекстуальні обставини, що впливають на оцінку результативності діяльності чи процесу.

Звичайно, велика кількість науковців підтримує думку про розмежування економічної та соціальної ефективності. Важливо відзначити, що можна виділити інші аспекти ефективності, такі як організаційна, технологічна, екологічна, правова, психологічна, політична та етична. Такий широкий підхід до розуміння ефективності враховує різноманітні фактори та сприймає різні аспекти діяльності та її вплив на різні сфери життя і активності людей.

Вихідні данні для прорахунку ефективності за різними технологіями наведено у табличному вигляді в таблиці 4.8. Існуюча технологія базується на використанні поліетиленових труби, у якості альтернативної технології запропоноване відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном.

Таблиця 4.8 – Вихідні данні для прорахунку ефективності за різними технологіями

Критерій	Існуюча технологія З використанням поліетиленової труби	Альтернативна технологія – відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном
Вартість 1 м п. труби водовідведення діаметра 1840 мм, грн	49400	19900
Строк проведення робіт, днів	36	46
Трудомісткість, люд/год	1695	2682,5
Нормативний строк служби, років	50	30

Розглянути більш докладно економічну ефективність, як досягнення максимальних результатів за мінімальних витрат живої та матеріальної праці. Також є показник соціальної ефективності, що відображає відповідність результатів аварійно-відновлювальної діяльності основним потребам суспільства та екології.

Беручи до уваги, що результат від застосування поточної технології або альтернативної (запропонованої) буде однаковий, наприклад, у вигляді аварійного ліквідації або реконструкції застарілих мереж, ми можемо прийняти 1 або 100% відповідно. Основним фактором у цьому випадку є вартість відновлення залізобетонного тунелю.

Виходячи з зазначеного приймаємо:

$$\text{Економічна ефективність (діючої техн.)} = \frac{1}{49400} = 2,02 \times 10^{-05}$$

$$\text{Економічна ефективність (альт. техн.)} = \frac{1}{19900} = 5,03 \times 10^{-05}$$

Отже, використання технології відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном є більш ефективною ніж ПЕ трубами понад ніж у 2,5 рази.

Періодичність виникнення аварій на колекторах водовідведення

неглибокого залягання та прогнозування розраховувалось з наступних даних: у 2017 році зафіксовано 3 аварії, у 2018 році – 3 аварії, у 2019 році – 3 аварії, у 2020 році – 3 аварії, у 2021 році – 3 аварії, у 2023 році – 5 аварій. З використанням методу аналізу лінії тренду, проведено екстраполяцію чисельних показників виникнення аварій на 2025 рік. Величина достовірності апроксимації становить $R^2 = 0,3333$ та наближається до 1.

Прогнозування аварій у вигляді математичної моделі та графіку відображено на рисунку 4.18.

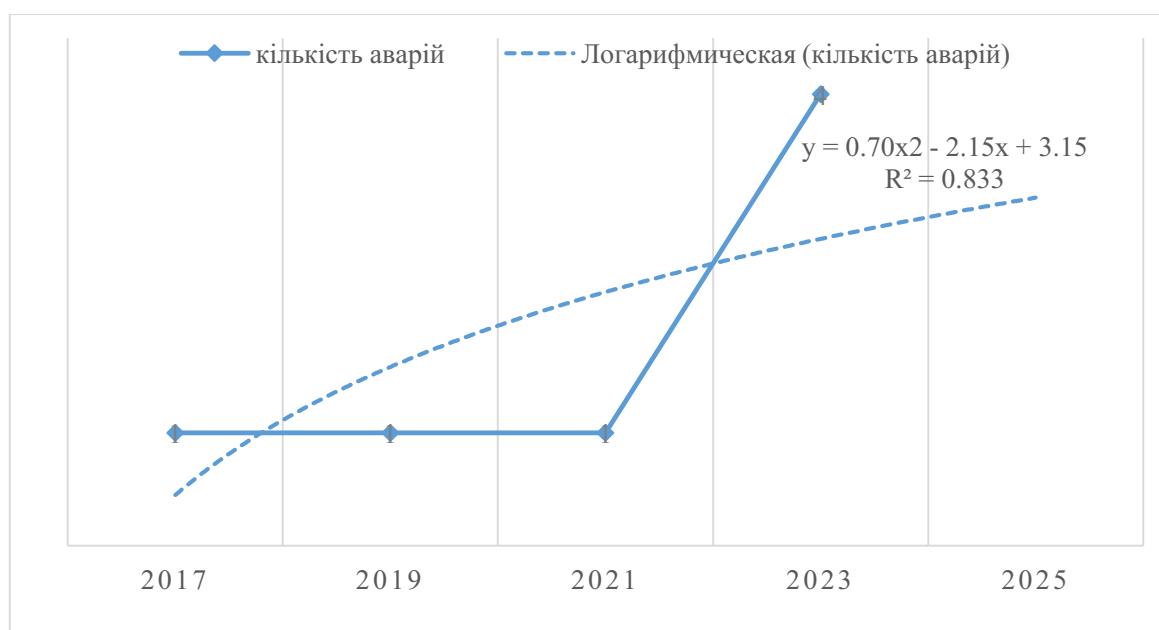


Рисунок 4.18 – Періодичність виникнення аварій на колекторах водовідведення неглибокого залягання за 2017-2023 рр. та прогнозування до 2025 р.

Графічне зображення кількості аварій на колекторах водовідведення неглибокого залягання показує про їх суттєве збільшення за 2023 рік, що суттєвим чином впливає і на їх прогнозовану величину.

Слід зазначити, що підземні інженерні інфраструктури потребують всебічного вивчення та фіксації критичних точок, які потребують термінового відновлення. Розрахований показник економічного ефекту з використанням технології відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном в порівнянні з використанням поліетиленових

труб дозволяє зробити висновок щодо переваги означеного рішення.

Висновки по розділу 4.

В даному розділі розроблені конструктивні та організаційно-технологічні рішення ремонту та відновлення колекторів водовідведення із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою .

При використанні розроблених рішень для ремонту та відновлення колектора передбачена наступна послідовність робіт. Спочатку очищення колектору водовідведення від елементів зруйнованої конструкції склепіння. Далі встановлюється пневматична опалубка у збереженій лотковій частині. Згодом виконується армування склепіння, в тому числі з'єднання нової композитної арматури з існуючою арматурою лотку, який було збережено. Для подальших технологічних дій встановлюється інвентарна опалубка з боків пневматичної опалубки. Потім виконуються роботи по бетонуванню склепіння корозієстійким самоущільнюючим бетоном. Далі, після набору бетоном необхідної міцності, виконуються демонтажні роботи пневмо- та інвентарної опалубки.

Підбір складу бетону із само ущільнюючих сумішей виконувався по тим же принципам, які лежать в основі методу підбору бетонів з врахуванням особливостей, пов'язаних із обов'язковим використанням добавок і допоміжними вимогами до якості компонентів сумішей.

Зразки кубів даної партії були досліджені на вплив агресивного середовища.

Втрата міцності кубів після трьох місяців перебування в біокамері, де концентрація сірководню перевищувала в 50 раз гранично допустиму концентрацію склала 13%, що свідчить про високу корозієстійкість бетону.

В даному розділі розроблені способи ремонту та відновлення колекторів із використанням полімерних бетонозахисних листів фірми AGRU, та ребристих поліетиленових листів.

Після виконання робіт по ремонту колектора з допомогою

спеціального устаткування метою якого було відтворення умов перебування відновленого колектора в процесі експлуатації виконувалось дослідження характеристик міцності колектора.

В результаті було встановлено наступне: - колектор відновлений із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону армований композитною арматурою витримав навантаження 11000кг, до появи перших тріщин на його тілі;

- колектор відновлений із використання поліетиленових листів фірми AGRU витримав навантаження 9500 кг;

- колектор відновлений із використанням ребристих поліетиленових листів витримав навантаження 6900 кг.

Отримані результати випробувань свідчать про високу ефективність використання цих матеріалів для ремонту та відновлення колекторів відкритим способом.

Виконаний розрахунок використання збереженого лотка для створення овалоїдального поперечного перерізу колектора дає можливість збільшити його пропускну можливість.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано та розроблено організаційно-технологічні рішення ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим способом.

1. Встановлено, що при розташуванні колекторів поза зоною транспортних та пішохідних артерій доцільно виконувати ремонтно-відновлювальні роботи на них відкритим способом. В роботі розглянуті відкриті способи ремонту та відновлення колекторів за кордоном та в Україні. Заслужують уваги шатровий спосіб, який успішно використовувався в місті Харкові, використання для ремонту та відновлення колекторів профільованого поліетилену який у формі трубчатої конструкції виготовленої в заводських умовах монтувався на збережений лоток із послідуочим бетонуванням з допомогою металевої опалубки, заміна зруйнованих корозією залізобетонних труб на труби виготовлені із шлакового литва.

2. В роботі визначені вимоги до колекторів водовідведення на стані їх будівництва та основні фактори, які призводять до руйнації конструкцій. В результаті аналізу публікацій зарубіжних та вітчизняних вчених, дослідження стану зруйнованих колекторів встановлено, що головною причиною руйнації залізобетонних та бетонних колекторів є мікробіологічна корозія внутрішньої поверхні, що, як правило, призводить до повної руйнації склепової частини.

3. Запропоновано теоретичні та практичні рекомендації підвищення корозійної стійкості цементного каменю шляхом зниження його капілярної пористості. Це досягнуто використанням спеціальних мінеральних добавок на стадії приготування бетонної суміші.

4. В роботі розроблено напівфункціональну добавку, обґрунтовано спосіб введення добавки в бетон, з урахуванням іонного балансу різних форм кальцію, кремнію, алюмінію і синтезувати додаткові

кристалогідрати в процесі твердіння, зарощуючи пори і капіляри кристалічними новоутвореннями. Високу ефективність для протидії корозії мають полімерні матеріали, які характеризуються абсолютною водонепроникністю, високою хімічною стійкістю, невеликою вагою і різною щільністю.

5. З використанням методу скінчених елементів доведено можливість використання для ремонту та відновлення колекторів відкритим способом конструкцій із корозієстійкого самоущільнюючого бетону армованого композитною арматурою. В ході розрахунку представлена модель колектора, що складається із збереженої лоткової частини виконаної із бетону класом С12/15. Верхня частина колектору із бетону класом С20/25. Моделювання фрагмента колектора, яке виконувалось в програмному комплексі Ліра-САПР виконано 6-ти вузловими об'ємними КЕ. Розміри КЕ не перевищують 0,1 м. Грунт змодельовано за допомогою КЕ-273 «Фізично нелінійний об'ємний КЕ в формі тригранної призми».

6. В лабораторних умовах виконані дослідження наступних відкритих способів ремонту та відновлення склепової частини колекторів: із використанням корозієстійкого самоущільнюючого бетону, армованого склопластиковою арматурою; із використанням полімерних бетонозахисних листів фірми АGRU; із використанням ребристих поліетиленових листів. Дослідження по відновленню склепової частини у всіх випадках виконувались із використанням пневматичної та інвентарної металевої опалубки. Дослідження показників міцності відновлених колекторів показав високу ефективність розроблених відкритих способів. Розрахунок використання збереженого лотка для створення овалоїдального поперечного перерізу колектора дозволяє збільшити його пропускну можливість.

7. Використання розроблених способів дозволяє майже в 2,5 рази зменшити собівартість ремонтно-відновлювальних робіт у порівнянні із використанням для цієї мети поліетиленових труб відповідного діаметру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамович І. А. Каналізація міста Харкова (1912-1980 рр.) Досвід проектування та будівництва. Харків: Основа, 1997. 220 с.
2. Абрамович І. А. Нова стратегія проектування реконструкції систем транспортування стічних вод. Харків: Основа, 1996. 317 с.
3. Абрамович І. А. Мережі та споруди водовідведення: розрахунок, проектування, експлуатація. Харків: Коллегиум, 2005. 228 с.
4. Абрамович І. А., Ситницька Е. А. Газове середовище та корозія колекторів міської каналізації. М: ЦБНТІ Мінжитлокомгоспу РРФСР, 1980. Вип. 1(4). 45 с.
5. Алейнікова А.І., Волков В.М., Гончаренко Д.Ф., Зубко Г.Г., Старкова О.В. Методологічні основи подовження експлуатаційного ресурсу підземних інженерних мереж: монографія / за заг. ред. О.В. Старкової. Харків: Раритеты Украины, 2017. 319 с.
6. Алейнікова А. І., Гринчук О. А. Наслідки виникнення аварійних ситуацій на каналізаційних колекторах та водоводах. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 1 (91). С. 94-100.
7. Андрєюк Є.І., Вілай В.І., Коваль Е.З. та ін. Мікробна корозія та її збудники. Київ: Наукова думка, 1980. 287 с.
8. Бондаренко Д.О. Булгаков В.В., Гармаш О.О., Гончаренко Д.Ф., Піліграм С.С. Каналізаційні тунелі Харкова: QUO VADIS?: монографія / за заг. ред. Д.Ф. Гончаренка. Харків: Раритеты України, 2018. 232 с.
9. Бондаренко Д.О., Дегтяр Є.Г. Відновлення каналізаційного колектора з використанням композитної арматури та самоущільнюючого корозієстійкого бетону. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд*: тези за матеріалами Х Міжнародної наукової конференції. Харків. 2021. С. 56-57.
10. Ботус Б.О., Федоров Н.Ф. Каналізаційні мережі. М: Будвидав, 1976. 272 с.

11. Воблих В.А., Гончаренко Д.Ф., Добряєв А.А. Міцність трубопроводів водовідведення облицьованих шлаковим литтям. *Науковий вісник будівництва*. 2006. № 37. С. 127-135.
12. Гончаренко Д.Ф. Експлуатація, ремонт та відновлення мереж водовідведення: Монографія. Харків: Консум, 2007. 520 с.
13. Гончаренко Д.Ф., Алейникова А.И. Методика вибору пріоритетних факторів, впливаючих на определение способу проведення ремонтно-восстановительних работ на сетях водоснабжения. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 4 (78). С. 86-90.
14. Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Гуділін Р. І. Каналізаційні тунелі та колектори - на порозі екологічної катастрофи. *Науковий вісник будівництва*. Харків : ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2018. № 3. С. 110–115.
15. Гончаренко Д.Ф., Алейнікова А.І, Гуділін Р.І., Дегтяр Є.Г. Оцінка доцільності впровадження нового методу відновлення каналізаційного колектора. *Науковий вісник будівництва*. 2019. № 3 (97). С. 37-41.
16. Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.А., Забелін С.А. Оцінка стану каналізаційного колектора Харківського тракторного заводу, збудованого у 1931 році. *Наук, вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. Вип. 3(89). С. 63-66.
17. Гончаренко Д.Ф., Вороненко В.А., Добряєв О.О. Використання армованих шлаколитих конструкцій для ремонту споруд систем водовідведення. Зб. матеріалів "ЕКВАТЕК-2006". М.;, 2006. С. 884-885.
18. Гончаренко Д.Ф., Галушко П.Г., Забелін С.А., Старкова О.В. Розробка кріплення для ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних мережах у складних геологічних умовах. *Наук, вісник будівництва*. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2012. Вип. 69. С. 75-80.
19. Гончаренко Д.Ф., Карев А.І., Данченко Ю.М., Дегтяр Є.Г. Відновлення каналізаційних колекторів з використанням анкерних поліетиленових листів. *Українських журнал будівництва та архітектури*. Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2021. № 5 (005). С 34-40.

20. Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.О., Дегтяр Є.Г. Відкритий спосіб відновлення каналізаційного колектору з використанням корозієстійкого самоущільнюваного бетону. *Науковий вісник будівництва*. 2021. №4 (106). С. 9-15.

21. Гончаренко Д.Ф., Гуділін Р.І., Дегтяр Є.Г. Застосування пневматичної опалубки при ремонті колекторів водовідведення відкритим способом. *Актуальні задачі сучасних технологій*: зб. тез доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конференції молодих учених та студентів. Тернопіль, 2019. Т. 1. С. 71.

22. Гончаренко Д.Ф., Алейнікова А.І., Єсакова С.В., Гуділін Р.І. Розробка технологічних рішень відновлення каналізаційного колектора з використанням клінкерної цегли. *Наука и техника*. Т. 20, № 6 (2021). С. 499-505.

23. Гончаренко Д.Ф., Добряєв О.О. Ремонтно-відновлювальні роботи на мережах водовідведення із застосуванням труб футерованих нікролітом. *Науковий вісник будівництва*. 2005. № 30. С. 85-89.

24. Гончаренко Д.Ф., Казімагомєдов І.Е., Алейнікова А.І., Гуділін Р.І. Дослідження та вибір складу розчину для улаштування склепінної частини каналізаційного колектора, що відновлюється. *Науковий вісник будівництва*. 2019. № 1 (95). С. 107-112.

25. Гончаренко Д.Ф., Потапов В.І., Корінько І.В. Сучасні технології підвищення експлуатаційної довговічності мереж водовідведення. *Нові технології в будівництві*. 2003. № 2 (6). С. 10-13.

26. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Алейнікова О.І. Теоретичне обґрунтування вибору відкритого та закритого способу відновлення водоводів. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 3 (77). С. 31-37.

27. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Алейнікова А.І. Розробка автоматизованої системи вибору способу відновлення водоводів із використанням апарата нечіткої логіки. *Системи обробки інформації*. 2014. №8 (124). С. 18-23.

28. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Данченко Ю.М., Бондаренко Д.О., Алейнікова А.І., Дегтяр Є.Г. Ремонт і відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом. Харків: Раритети України, 2022. 144 с.

29. Гончаренко Д.Ф., Дегтяр Є.Г. Застосування залізобетонних труб для будівництва каналізаційних мереж. Тези доповідей 75 науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. Харків: ХНУБА, 2020. С. 230-231.

30. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Гуділін Р.І., Дегтяр Є.Г. Застосування пневмоопалубки для ремонту та відновлення каналізаційних трубопроводів з використанням клінкерної цегли та полімербетону. *Український журнал будівництва та архітектури*. Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2021. №1. С. 26- 33.

31. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Карагяур А.С., Дегтяр Є.Г., Воскобійник О.П. Пошук раціональних рішень ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*: тези доповідей ІХ міжнародної науково-технічної конференції. Харків. 2021. С. 107-108.

32. Городецький О.С. Шмуклер В.С. Бондарев А.В. Інформаційні технології розрахунку та проектування будівельних конструкцій. Харків: НТУ «ХП». 2003. 889 с.

33. Гусенцова Я. Вентиляція систем водовідведення. Луганськ: Луганський національний аграрний університет, 2004. 133 с.

34. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлового-комунального господарства України. 2013. 210 с.

35. Дегтяр Є. Г. Ремонт та відновлення каналізаційного колектора із використанням полімербетону. *Науковий вісник будівництва*. 2021. №2(104), С. 147-150.

36. Дегтяр Є.Г., Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.О., Данченко Ю.М. Способи відкритого ремонту на каналізаційних мережах міста Харкова. Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». Київ. 2021. №3. С. 24-30.

37. Дегтяр Є.Г. Розрахунок конструкції каналізаційного колектора при його ремонті та відновленні відкритим способом. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2021. №95. С. 35-40.

38. Дегтяр Є.Г. Проблеми забезпечення безаварійної експлуатації, підвищення екологічної безпеки та довготривалої споруд каналізаційних тунелів. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур: тези за матеріалами VIII Всеукраїнського наукового семінару*. Харків, 2020, С. 34-35.

39. Дегтяр Є.Г. Застосування самоущільнюючих бетонів для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів. *Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві: тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків, 2020. С. 36-37.

40. Дегтяр Є., Гончаренко Д., Лихоград В. Технологічні рішення з ремонту та відновлення каналізаційних мереж із використанням збереженої лоткової частини колекторів. Тези доповідей 86-ї Науково-технічної конференції ХНУБА. Харків. 2021. С. 219-220.

41. ДСТУ 2569-94 Водопостачання і каналізація. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-07]. Вид. офіц. Київ. 1994. 5 с.

42. Добряєв А. А. Досвід ліквідації аварій на мережах водовідведення відкритим способом. *Науковий вісник будівництва*. 2004. № 26. С. 89–94

43. Добряєв 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.

44. Забелін С.А., Алейнікова А.І., Сучасний підхід до дослідження біогенної корозії каналізаційних колекторів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 172. С. 20-36.

45. Забелін С.А. Технологія ремонту та відновлення каналізаційних трубопроводів, розташованих у складних геологічних умовах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08. Харків, 2013. 17 с.

46. Кислий Н.І., Гончаренко Д.Ф., Добряєв А.А. Організаційно-технологічні рішення ремонту мереж на прикладі м. Києва. *Науковий вісник будівництва*. 2006. № 35. С. 87-91.

47. Клейн Ю.Б. Підвищення ефективності ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних мережах, розташованих в водонасичених ґрунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08. Харків, 1997. 14 с.

48. Кравченко О.В., Ямко О.Ю. Сучасний стан мереж водопостачання та водовідведення України: проблеми та перспективи розвитку. *ЕТЕВК-2017: зб. доп. Міжнар. Конгр. та техн. вист. Чорноморськ*, 2017. С 86-89.

49. Меженський О.М., Уваров П.Є. Управління проектами реконструкції зовнішніх трубопроводних мереж житлово-комунального господарства. *Реконструкція житла*. 2004. № 5. С. 138-146.

50. Обухов Є.С. Аварії каналізаційних колекторів та боротьба з ними. М: Держбудвид, 1939. 324 с.

51. Олійник Д.Ю. Розробка технології зведення захищених стволів на діючих мережах водовідведення: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.08. / Олійник Дмитра Юрійовича. Харків: ХНУБА. 2014. 160 с.

52. Орлова С.С., Панкова Т.А., Кочетков О.В. Диференціальне дослідження кінетики корозійних процесів у трубопроводах, що транспортують стічні води. *Гідротехнічне будівництво*. 2016. № 4. С. 30-36.

53. Орлов В.А., Маркін В.А. Розробка стратегії відновлення міських водовідвідних мереж. *РОСТ*. 2001. № 3 С 20-27.

54. Перельмутер А.В., Слівкер В.І Розрахункові моделі споруд та можливість їх аналізу. Київ: Сталь, 2002. 600 с.
55. Плугін А.А., Бабушкін В.І. Агресивність експлуатаційного середовища мереж та споруд водовідведення. *Бетон та залізобетон в Україні*. 2007. № 4 (38). С. 21-27.
56. Програма розвитку КП «Харківводоканал» до 2026 року. Харків, 2012. 115 с.
57. Розрахунок за інструментарієм LIRA. URL: <http://www.liraland.ru/>. (дата звернення 25.07.2021).
58. Старкова О. В. Автоматизація вибору методу ремонту для ділянки водовідвідної мережі. *Науковий вісник будівництва*. 2006. № 35. С. 301-305.
59. Старкова О. В. Моделі обґрунтованого вибору методу ремонту та відновлення ділянки каналізаційної мережі. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 3 (85). С. 80-85.
60. Старкова О.В., Шаповалова Є.А., Гнучих Л.А. Моделювання вибору методу відновлення мереж водовідведення. *Комунальне господарство міст*. 2008. №. 85. С. 19-26.
61. Старкова О.В., Шаповалова Є.А., Гнучих Л.А. Вибір оптимальних параметрів відновлення водовідведення мереж. *Комунальне господарство міст*. 2009. №. 87. С. 17-23.
62. Старкова О. В. Математичні моделі вибору методу відновлення каналізаційних колекторів. *Методи підвищення ресурсу інженерних інфраструктур*: тези за мат. VII Всеукр. наук. сем. Харків 2016. С. 14-16.
63. Шматченко В.І., Шмуклер В.С., Гончаренко Д.Ф., Добряєв А.А. Технологія відновлення трубопроводу водовідведення відкритим способом в м. Харкові. *Будівництво України*. 2006. № 5. С. 15-19.
64. Шматченко В.І., Корінько І.В., Піліграмм С.С., Добряєв А.А. Досвід ремонтно-відновлювальних робіт на мережах водовідведення відкритим методом у м. Харкові. *Науковий вісник будівництва*. 2004. № 27.

C. 163-166.

65. Філін А.П. Прикладна механіка твердого тіла, що деформується. Опір матеріалів з елементами теорії суцільних середовищ та будівельної механіки. М: Наука, 1975. 832 с.

66. Юрченко В.А., Коваленко О.В., Бригада Є.В., Лебедева О.С. Виникнення сірководню – проблема експлуатаційної надійності та екологічної безпеки водовідведення. *Науковий вісник будівництва*. 2014. № 3. С. 218-223.

67. Aleinikova A. Methods for evaluating the economic efficiency of water supply lines restoration based on the findings of teleinspection. *Actual Problems of Economics*. 2016. Vol. 8 (182). P. 224-229.

68. Alani. A., Mahmoodian M., Mojtaba A., Romanova A. Advanced numerical and analytical methods for assessing concrete sewers and their remaining service life. *International Science Index*. 2016. № 8(6XI). P. 1091-1097.

69. Anbari, M., Massoud T., Abbas R. Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks. *Journal of environmental management*. 2017. №190. P. 91-101.

70. Andronov V.A., Danchenko Yu.M. Technologies for improving environmental safety and durability of sewerage networks. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2012. №68 (60), P. 18-24

71. Babaev V., Ievzerov I., Evel S., Lantoukh-Liashchenko A., Shevetovsky V., Shimanovskyi O., Shmukler V., Sukhonos M. Rational Design of Structural Building Systems. Berlin: DOM publishers, 2019. P. 384.

72. Beaiie D.J., Karpe A.V., Jadhav S., Muster T.H., Palombo E.A. Omics-based approaches and their use in the assessment of microbial-influenced corrosion of metals. *Corrosion Reviews*. 2016. №34.1-2. P. 1-15.

73. Dong Q., Shi H., Liu Y. Microbial character related sulfur cycle under dynamic environmental factors based on the microbial population analysis in sewerage system. *Frontiers in microbiology*. 2017. № 8.

74. Elmasry M., Hawari A., Zayed T. Defect based deterioration model for sewer pipelines using Bayesian belief networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2017. № 44 (999). P. 675-690.
75. Fischer W. Abwasserrohre im Vergleich. *KA Wasserwirtschaft. Abwasser, Abfall*. 2013. Vol. 60, №9. P. 765-772.
76. Garmash A., Bondarenko D., Zubko G, Goncharenko D. On renovation of the destroyed tunnel sewer collector in Kharkiv. *World journal of Engineering*. 2016. Vol. 13. P. 72-76.
77. Gontscharenko D., Ratschkowskij A., Gudilin R., Degtjar E. Renovierung und Wiederherstellung von Abwasserkanalen flacher Verlegung in offenem Verfahren. *KA Korrespondenz Abwasser*. 2020. Vol. 67. №8. P. 593-597.
78. Группа компаніј «Медпласти». Полімерні листи. Group of companies "Medplast". Polymer sheets. URL: <https://meaplast.ru/ankernyj-list/> (дата звернення 25.07.2021).
79. Gunes I., Uygunoglu T. Biogenic corrosion on ribbed reinforcing steel bars with different bending angles in sewage systems. *Construction and Building Materials*. 2015. № 96. P. 530-540.
80. Hlozek H., Smetaczek A., Osterreich W. Rationeller Kanalbau für PMMkanäle mit der Pneumoschalung. *Korrespondenz Abwasser*. 1998. Vol. 45. №6. P. 1107-1109.
81. Horstmann J., Pfannenschmidt P. Geokunststoffe im Rohrleitungsbau. *Erd und grundbau*. 2002. P. 29-33.
82. Huang, C. Study on Relation Between Industrial Circulating Water Conductivity And Iron Corrosion Velocity. *Journal of Residuals Science & Technology*. 2017. Vol. 14. №3. P. 526-532.
83. Iurchenko V., Lebedeva E., Brigada E. Environmental Safety of the Sewage Disposal by the Sewerage Pipelines. *Procedia Engineering*. 2016. №134. P. 181-186.
84. Kiliswa, M. W. Composition and microstructure of concrete mixtures

subjected to biogenic acid corrosion and their role in corrosion prediction of concrete outfall sewers. PhD Thesis. University of Cape Town. 2016. P. 320.

85. Loto C.A. Microbiological corrosion: mechanism, control and impact a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. №2. P. 1-12.

86. Luo K., Zhang S.J., Wang R., Si X.P., Han X. The Research Development of Tubular Textile Composites Application on the Trenchless Pipeline Inversion Lining Rehabilitation Technology. *In Key Engineering Materials Trans Tech Publications*. 2016. Vol. 671. P. 306-314.

87. Mahmoodian M., Alani A. Sensitivity analysis for failure assessment of concrete pipes subjected to sulphide corrosion. *Urban Water Journal*. 2016. Vol. 13. №6. P. 637-643.

88. Mahmoodian M., Alani A. Effect of Temperature and Acidity of Sulfuric Acid on / r Concrete Properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2017. Vol. 29. №10. P. 1001-1018.

89. Mahmoodian M., Aryai V. Structural failure assessment of buried steel water pipes subject to corrosive environment. *Urban Water Journal*. 2017. Vol. 14. №10. P. 1023-1300.

90. Mahmoodian M., Li C. Serviceability assessment and sensitivity analysis of cast iron water pipes under time-dependent deterioration using stochastic approaches. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 2016. Vol. 65. №7. P. 530-540.

91. Mathews D., Cox A. Polyethylene Encasement for External Corrosion Control for Iron Pipelines. *Florida Water Resources Journal*. 2015. Vol. 12. P. 44-49.

92. Moskvicheva P., Sidyakin E., Shitov D. Method of Corrosion Prevention in Steel Pressure Pipelines in Sewerage Systems. *Procedia Engineering*. 2016. №150. P. 2381-2386.

93. Nazemi M. Corrosion Study of Protective Coatings Used in Sewer Concrete. *Sydney Digital Theses*. 2016. № 8.

94. Noeiaghaei T. et al. Biogenic deterioration of concrete and its mitigation technologies. *Construction and Building Materials*. 2017. № 149. P. 575-586.
95. Pazoki M. Comparative 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. P. 305-312.
96. Polietylen - vlastyvosti i zastosuvannia rehovyny v riznykh sferakh URL: <https://irren.com.ua/polietylen-vlastyvosti-i-zastosuvannya-rehovyny-v-riznyh-sferah.html> (дата звернення 25.07.2021).
97. Promyslovi plastyky. Industrial plastics. URL: <http://ua.welding.com.ua/prom-plastix.html> (дата звернення 25.07.2021).
98. Rohem N. R. F. Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair. *Composite Structures*. 2016. № 152. P. 737-745.
99. Romanova A. Concrete corrosion induced by sulfuric acid. Sheffield research seminar. 2016. P 1-14.
100. Routil L., Chroma M., Teply B., Novak D. Prediction of the time-variant behaviour of concrete sewer collection pipes undergoing deterioration due to biogenic sulfuric acid. *In CONCREEP*. 2015. № 10. P. 219-228.
101. Shmukler V. Evolutionist Approach in Rationalization of Building structures. *Collaboration and Harmonization in Creative System*. 2005. Vol. 1. P. 539-545.
102. Shmukler V. Long Span Concrete Floors for Multi-Storey Civil Buildings. Application of Codes, Design and Regulations: proceeding of the International Conference held at the University of Dundee. 2005. P. 707-714.
103. Sobek W. Betonschalen und pneumatisch vorgespannte Membranen. *Deutsche Bauzeitung*. 1990. №124. P. 7.
104. Sobek W. Hannover und Stuttgart. Die Herstellung von Betonschalen auf pneumatisch gestützten Schalungen. *Bauingenieur*. 1991. № 66. P. 545-550.
105. Stanic N., Lepot M., Catieau M., Langeveld J., Clemens F. A

technology for sewer pipe inspection (part 1): Design, calibration, corrections and potential application of a laser profiler. *Automation in Construction*. 2017. №75. P. 91-107.

106. Stein D. Instandhaltung von Kanalisationen. *Ernst und Sohn*. Berlin. 1999. P. 941.

107. Suddeutsches K.-Z., Bodo M. Wie nachhaltig sind Kunststoffrohre zur Kanalsanierung. *Wasser. Abwasser*. 2010. №1. P. 16.

108. Tambe S., Tambe S., Jagtap S., Chaurasiya A., Joshi K. Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria. *Progress in Organic Coatings*. 2016. №94. P. 49-55.

109. Wang W. et al. Evaluation of stress intensity factor for cast iron pipes with sharp corrosion pits. *Engineering Failure Analysis*. 2017. № 81. P. 254–269.

110. Yuan H., Dangla P., Chatellier P., Chaussadent T. Degradation modeling of concrete submitted to biogenic acid attack. *Cement and Concrete Research*. 2015. № 70. P. 29–38.

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати

8. Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Гуділін Р. І., Дегтяр Є. Г. Оцінка доцільності впровадження нового методу відновлення каналізаційного колектору. *Науковий вісник будівництва*. 2019. № 3 (97). С. 37-42. – URL: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/3_97_2019/10.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-97-3-37-42>

Особистий внесок здобувача – аналіз технологій, що застосовуються для відновлення каналізаційних колекторів.

9. Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Старкова О. В., Дегтяр Є. Г. Теоретичне обґрунтування вибору способу відновлення каналізаційних колекторів. *Збірник наукових праць Української державної університету залізничного транспорту*. 2020. № 190. С. 29-37. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/213924> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.190.2020.213924>

Особистий внесок здобувача – розробка методики визначення доцільності вибору способів відновлення каналізаційних колекторів.

10. Гончаренко Д. Ф., Старкова О. В., Гуділін Р. І., Дегтяр Є. Г. Застосування пневмоопалубки для ремонту та відновлення каналізаційних трубопроводів з використанням клінкерної цегли та полімербетону. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. №1 (001). С. 45-51. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/232909> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.230221.45.716>

Особистий внесок здобувача – обґрунтування доцільності використання пневмоопалубки для проведення відновлювальних робіт на

колекторах відкритим способом.

11. Дегтяр Є. Г. Ремонт та відновлення каналізаційного колектору із використанням полімербетону. *Науковий вісник будівництва*. 2021. №2(104). С. 147-150

URL: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/2_104_2021/22.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-147-150>

12. Гончаренко Д.Ф., Карєв А.І., Данченко Ю.М., Дегтяр Є.Г. Відновлення каналізаційних колекторів з використанням анкерних поліетиленових листів. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 5 (005). С. 34-40. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/249542>

(дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <http://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261021.34.798>

Особистий внесок здобувача – обґрунтування доцільності та розробка технології відновлення колекторів з використанням анкерних поліетиленових листів, проведення експериментальних досліджень.

13. Дегтяр Є. Г. Розрахунок конструкції каналізаційного колектора при його ремонті та відновленні відкритим способом. Збірник наукових праць Української державного університету залізничного транспорту. 2021. № 195. С. 35-40. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/241047> (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241047>

14. Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.О., Дегтяр Є.Г. Відкритий спосіб відновлення каналізаційного колектору з використанням корозієстійкого самоущільнювального бетону. *Науковий вісник будівництва*. 2021. № 4 (106). С. 76-82.

URL: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/4_106_2021/11.pdf (дата звернення: 28.03.2023)

DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2021-106-4-76-82>

Особистий внесок здобувача – розробка способу відновлення

Особистий внесок здобувача – розробка способу відновлення

каналізаційного колектору з використанням корозієстійкого самоущільнювального бетону.

8. Алейнікова А. І., Бондаренко Д.О., Гончаренко Д.Ф., Дегтяр Є.Г., Старкова О.В. Методологічні основи подовження експлуатаційного ресурсу підземних інженерних мереж : монографія. Монографія за заг.ред. Гончаренка Д.Ф. Раритети України, 2022. 120 с.

URL: https://knameedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/alevtyna_aleinikova_kname_edu_ua/EVFnl8uB8MpKtjtdU9wAVgYBTEmMXtn66obR6HY_uk5vUw?e=1Oc6UD

9. Goncharenko D., Starkova O., Karahiaur A., Degtyar Y., Voskobiinyk O. Search for rational solutions for the repair and rehabilitation of shallow sewers. AIP Conference Proceedings this link is disabled, 2023, 2684, 030012.

URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2684/1/030012/2893594/Search-for-rational-solutions-for-the-repair-and?redirectedFrom=fulltext>

DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0120074>

Особистий внесок здобувача – розробка рекомендації відновлення каналізаційного колектору.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Гончаренко Д.Ф., Гуділін Р.І., Дегтяр Є.Г. Застосування пневматичної опалубки при ремонті колекторів водовідведення відкритим способом. *Актуальні задачі сучасних технологій*: збірник тез доповідей том_I, VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Тернопіль. 2019. С. 71 URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/30867> (дата звернення: 28.03.2023)

8. Дегтяр Є.Г. Проблеми забезпечення безаварійної експлуатації, підвищення екологічної безпеки та довготривалості споруд каналізаційних тунелів. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур*: тези за матеріалами ІХ Всеукраїнського наукового семінару. Харків. 2020. С. 34-35

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/11/Tezu_seminary.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

9. Гончаренко Д.Ф., Дегтяр Є.Г. Застосування залізобетонних труб для будівництва каналізаційних мереж. *75 науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури* : тези доповідей 75-ої науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. Харків. 2020. С. 230-231

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/07/ntk75_tezi.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

10. Дегтяр Є.Г. Застосування самоущільнюючих бетонів для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів. *Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків. 2020. С. 36-37

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2020/12/Tezu_Konf_2020.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

11. Бондаренко Д.О., Дегтяр Є.Г. Відновлення каналізаційного колектору з використанням композитної арматури та самоущільнювального корозієстійкого бетону. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд* : тези за матеріалами X Міжнародної наукової конференції . Харків. 2021. С. 85-87

URL: https://kstuca.kharkov.ua/wp-content/uploads/2021/11/Tezu_resyrs_2021.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

12. Д.Ф. Гончаренко, О.В. Старкова, А.С. Карагяур, Є.Г. Дегтяр, О.П. Воскобійник Пошук раціональних рішень ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті* : тези доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції. Харків. 2021. С. 107-108

URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2021_10.12.pdf

(дата звернення: 28.03.2023)

Наукові роботи, що додатково відображають наукові результати дисертації.

1. Гончаренко Д.Ф., Старкова О.В., Данченко Ю.М., Бондаренко Д.О., Алейнікова А.І., Дегтяр Є.Г. Ремонт і відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом. *Раритети України*. Харків : 2022. С. 144.

Особистий внесок здобувача – розробка способів відновлення каналізаційних колекторів із використанням кислотостійкого самоущільнювального бетону, та анкерних листів із поліетилену.

2. Goncharenko D., Ratschkowskij A., Gudilin R., Degtjar E. Renovierung und Wiederherstellung von Abwasserkanälen flacher Verlegung in offenem Verfahren. *KA Korrespondenz Abwasser*. ISSN 1866-0029 Abfall-2020 (67). Nr.8. P. 593–597.

www.dwa.de/KA

Особистий внесок здобувача – розробка технології ремонту колекторів неглибокого залягання.

3. Дегтяр Є.Г., Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.О., Данченко Ю.М. Способи відкритого ремонту на каналізаційних мережах м. Харкова. *Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення»*. Київ, 2021. №3. С. 24 – 30. URL: <http://www.waterwork.kiev.ua/uk/nomery/2021> (дата звернення: 28.03.2023)

Особистий внесок здобувача – дослідження відкритих способів ремонту каналізаційних колекторів.

Додаток Б

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ



Приватне Акціонерне Товариство
“ПІВДЕНСПЕЦАТОМ ЕНЕРГОМОНТАЖ”

Юридична адреса: Україна, 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 43
Поштова адреса: Україна, 61001, м. Харків, вул. Іскринська, 17
тел./факс: +38 (057) 732-53-08, 732-71-32, 732-82-77
E-mail: usaemgs1@ukr.net

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова правління
АТ «Південспецатоменергомонтаж»
Гармаш О.О.

14 березня 2023

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

ДЕГТЯРА Євгенія Геннадійовича



на тему «ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ» на здобуття наукового ступеня доктора філософії, тема дисертації за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Комісія у складі:

Голова – начальник управління механізації Токарев В.В.

Члени комісії – начальник БМУ-2 Любченко С.М., провідний економіст Тараненко Л.А., начальник кошторисного відділу Корецька О.О.

цим Актом підтверджує, що результати дисертаційного дослідження ДЕГТЯРА Євгенія Геннадійовича на тему «ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ», впроваджено в виробничий процес діяльності організації, а саме: запропоновані здобувачем рекондації відновлення склепінної частини колектора водовідведення із використанням листових полімерних матеріалів прийнято до уваги при планування відновлювальних робіт оглядових шахт.

Голова комісії

Токарев В.В.

Члени комісії

Любченко С.М.

Тараненко Л.А.

Корецька О.О.



АТ «ТРЕСТ ЖИТЛОБУД-1»
УКРАЇНА, м. ХАРКІВ, 61002
вул. АЛЧЕВСЬКИХ, 43
тел. (057)700-40-01
E-mail: trest@gs1.com.ua
www.gs1.com.ua

від « 12 » березня 2023 р. № _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова
наглядової ради АТ «Трест Житлобуд-1»
Харченко О.М.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

ДЕГТЯРА Євгенія Геннадійовича

на тему «ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ» на здобуття наукового ступеня доктора філософії, тема дисертації за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Комісія у складі:

Голова – В.о. голови правління Сіухін К.І.

Члени комісії – заступник голови правління Корецький Л.В., заступник голови правління Цикало О.А., начальник кошторисного відділу Чернишова М.І., цим Актом підтверджує, що результати дисертаційного дослідження ДЕГТЯРА Євгенія Геннадійовича на тему «ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ», впроваджено у виробництво наступним чином:

організаційно-технологічних рекомендації ремонту та відновлення колекторів водовідведення неглибокого залягання відкритим способом із використанням корозієстійкого самоущільнюваного бетону та листових полімерних матеріалів використовуються при технологічних та кошторисних розрахунках на відновлювальні роботи на мережах водовідведення при виконанні технічних умов.

Голова комісії

К.І. Сіухін

Члени комісії

Л.В. Корецький

О.А. Цикало

М.І. Чернишова