

АНОТАЦІЇ. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Анотація (українською мовою).

Гулевський П.Ю. Організаційно-технологічні рішення по підвищенню експлуатаційної надійності каналізаційних тунелів в місцях з'єднання з оглядовими шахтами - 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.

Тривалий вплив агресивного середовища на конструкції систем водовідведення, призводить до їх руйнування та в деяких випадках до виникнення аварійних ситуацій, скорочення часу безаварійної експлуатації споруд, збільшення витрат на їх ремонт та відновлення.

Особливої уваги потребує специфіка експлуатації каналізаційних тунелів - діаметр перетину понад 1500 мм і глибина закладення понад 5-7 м. Встановлено, що переважно всі вони побудовані з бетону та залізобетону.

Аналіз виникнення аварій, що трапилися за останні роки на ділянках каналізаційних тунелів по пр. Гагаріна, вул. Греківській та ХТЗ в м. Харків є свідомством основної причини виникнення локального обвалення - пошкодження залізобетонної конструкції склепіння тунелю в результаті впливу біогенної корозії.

Слід відзначити, що найбільшій корозії зазнають ділянки тунелів в місцях з'єднання з оглядовими шахтами, а також конструкції оглядових шахт. Стічні води в оглядовій шахті падають з позначки до позначки лотка каналізаційного тунелю. В результаті розшарування потоку активно виділяється сірчаний газ, який в наступних реакціях перетворюється в сірчану кислоту високого ступеня концентрації. Не маючи антикорозійного захисту, йде пошкодження бетонного оброблення тунелю, яке несе навантаження від товщі ґрунту.

В дисертаційній роботі для дослідження найбільш високого впливу було узагальнено фактори, що впливають на експлуатаційну надійність каналізаційних тунелів та оглядових шахт. Згідно даних, отриманих за результатами експертного оцінювання було визначено, що з вищевказаних причин відмови сталого функціонування каналізаційних тунелів найбільш високий ступінь впливу мають фактори: руйнування зводу в місцях примикання до оглядових шахт, камер гасіння; руйнування зводу конструкції каналізаційного тунелю; технічний стан оглядових шахт.

Тим часом розробка та впровадження технічних, організаційних та технологічних рішень ремонту та відновлення конструкцій каналізаційних тунелів та оглядових шахт із застосуванням недорогих вітчизняних матеріалів та конструкцій дозволить підвищити експлуатаційну довговічність мереж водовідведення, скоротити тривалість та вартість ремонтно-відновлювальних робіт.

Проаналізовано вироби на основі базальту для доцільності використання даного матеріалу в відновленні каналізаційних мереж. З'ясовано, що вироби на основі базальту мають ряд переваг: високу міцність, досить малу вагу, надійність при експлуатації в широкому діапазоні температур, не схильні до корозії і мають високу хімічну стійкість. Таким чином показники базальту відповідають головним вимогам до матеріалів, які використовуються для захисту каналізаційних мереж. Використання базальто-волокнистих матеріалів, композитів та виробів з них є перспективними та економічно доцільними. Ці переваги дають можливість застосування матеріалів з базальту при ремонті і відновленні мереж водовідведення.

При ремонті та відновленні каналізаційних тунелів використовуються відкриті та закриті способи виконання робіт.

Зважаючи на те, що частина каналізаційних мереж проходить через території де відсутні транспортні артерії, через сільськогосподарські угіддя і має незначну глибину залягання, а також те що, як правило, їх лоткова частина

знаходиться у стані придатному для подальшої експлуатації, доцільним є виконання ремонтно-відновлювальних робіт на них відкритим способом.

Виходячи з того що лоткова частина колекторів збережена, у дисертаційній роботі розглядається відновлення склепінчастої частини із застосуванням плитки кам'яного лиття. Роботи по відновленню в даному випадку виконуються з допомогою пневматичної опалубки.

Використання пневматичної опалубки відіграє велику роль, оскільки вона забезпечує виконання таких вимог: швидкий монтаж і демонтаж опалубки; можливість використання її для просторових поверхонь скривленої форми, навіть з великими прогонами; багаторазова оборотність опалубки.

При розгляді методів ремонту і відновлення каналізаційних трубопроводів великого діаметра і тунелів відзначено, що метод вставок на сьогодні є основним, як у зарубіжній, так і у вітчизняній практиці санації. При цьому, як правило, використовуються труби із поліетилену, склопластику та базальтопластику. При дослідженні методів ремонту і відновлення оглядових шахт встановлено, що в м. Харкові накопичений значний досвід у цій області. З використанням рішень, розроблених ученими університету, відновлено багато шахт на каналізаційних тунелях міста. При цьому застосовувався ребристий поліетилен, панелі зі шлакового литва, клінкерна цегла, покриття стін з VMX-базальту.

У лабораторії університету були виконані дослідження зразків базальтових елементів, які присутні на ринку будівельної продукції в Україні. Крім визначення міцнісних характеристик було визначено наявність адгезії між цементно-піщаним розчином та поверхнею базальтової плитки. Отримані результати дослідження показали, що розчин забезпечить необхідну адгезію з базальтовими елементами, що здатні протидіяти біогенній корозії каналізаційних мереж і споруд.

При проведенні дослідження на стійкість від дії агресивного середовища було відібрано декілька зразків базальтових елементів. Зразки базальту пройшли випробування на стійкість від дії агресивного середовища протягом

90 діб в оглядовій шахті каналізаційного тунелю глибокого залягання, концентрація сірководню та інших хімічних сполучень якої в декілька раз перевищувала гранично допустиму. Як показали результати випробування, зразки базальту не схильні до корозії та не втратили міцності при стисненні та на вигин після знаходження зразків в агресивному середовищі каналізаційної шахти за 3 місяці.

В даній роботі здобувачем запропоновано нову технологію робіт з ремонту та відновлення каналізаційних тунелів, що включає 9 етапів: демонтаж аварійних ділянок тунелю (склепіння, стінки); розчищення лоткової частини тунелю; відновлення ділянки лоткової частини тунелю (за умови руйнування лотка); очищення існуючої арматури для забезпечення спільної роботи лотка та захисного покриття склепіння, що зводиться; влаштування пневматичної опалубки для спорудження склепіння тунелю з внутрішньою обробкою плиткою кам'яного лиття; укладання плитки кам'яного лиття; встановлення необхідної арматури для захисного облицювання склепіння з монолітного залізобетону; створення інвентарної опалубки; укладання бетонної суміші монолітної частини склепіння; демонтаж пневматичної та інвентарної опалубки після набирання міцності бетону; зворотне засипання траншеї з ущільненням. Як свідчить календарний графік робіт, тривалість робіт, що виконуються на ділянці 30 м каналізаційного тунелю діаметром 1840 мм в місці приєднання до оглядової шахти із застосуванням плитки кам'яного лиття, становить 40 днів.

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

В дисертаційній роботі представлено нове організаційно – технологічне рішення по відновленню оглядових шахт. Основний період відновлення

оглядової шахти за допомогою облицювання стінок плиткою кам'яного лиття з базальту: демонтаж плит перекриття; очищення стінок від продуктів корозії; ін'єкція антикорозійним бетоном на дрібному заповнювачі простору в місцях стикування тунелю; армування стінок шахти (в разі глибокої корозії стін); облицювання стінок оглядової шахти плиткою кам'яного лиття з базальту; обробка внутрішньої поверхні експлуатаційних ділянок та сходів антикорозійним епоксидним поліуретановим складом «АКВАХИМ».

Через високу агресивність каналізаційного середовища було запропоновано захисну антикорозійну систему облицювання стінок оглядової шахти: базальтова плитка та антикорозійний розчин. В лабораторії ХНУБА було проведено дослідження на доцільність використання базальтової плитки, яке свідчить про високі якісні показники матеріалу для захисту від біогенної корозії. В результаті проведених досліджень було отримано склад розчину для його експлуатації в умовах агресивного середовища каналізаційного тунелю та оглядової шахти. Для футерування внутрішньої поверхні каналізаційного тунелю та стінок оглядової шахти базальтовою плиткою рекомендовано хімістійкий клей UltraMix E10.

При виконанні робіт по відновленню оглядових шахт та каналізаційних тунелів повинні враховуватися специфічні небезпеки, що загрожують життю та здоров'ю працюючих у них. В роботі розглянуті рішення щодо забезпечення безпеки робіт при ремонті та відновленні оглядових шахтних

Досліджено фактори вибору методу каналізаційного тунелю з використанням методу експертних оцінок, найбільш вагомими з них є: технічний стан (наявність статистики ушкоджень у період, методи ліквідації ушкоджень, порушення цілісності оброблення); фізико-механічні властивості ґрунту; діаметр існуючого каналізаційного тунелю. Дані фактори впливають на техніко-економічні показники (ТЕП) проведення робіт: собівартість, трудомісткість і тривалість відновлення ділянки каналізаційного тунелю.

Розрахунок економічної ефективності впровадження організаційно-технологічних рішень ремонту та відновлення каналізаційних тунелів в місцях

межування з оглядовими шахтами запропонованим способом в порівнянні з діючим ПЕ трубами показав, що використання технології з укладанням базальтовими плитками є більш ефективною ніж ПЕ трубами понад ніж у 3 рази. Виходячи із отриманих розрахункових значень інтегрального показника ефективності, реконструкція тунелю за методикою укладання базальтових плиток є майже удвічі ефективнішою, що є економічно доцільним та науково обґрунтованим.

Ключові слова: водовідведення, стічні води, каналізаційний тунель, оглядова шахта, надійність, відновлення, знос, корозія, сірководень, бетон, базальт.

Abstract (in English).

Hulievskyi P. Organizational and technological solutions for increasing the operational reliability of sewage tunnels at the points of connection with inspection shafts – 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.

The long-term influence of an aggressive environment on the structures of drainage systems leads to their destruction and, in some cases, to emergency situations, a reduction in the time of trouble-free operation of structures, and an increase in the costs of their repair and restoration.

Particular attention needs to be paid to the specifics of the operation of sewage tunnels - the cross-section diameter is more than 1500 mm and the laying depth is more than 5-7 m. It was established that mostly all of them are built of concrete and reinforced concrete.

Analysis of the occurrence of accidents that have occurred in recent years at the sections of sewer tunnels along Gagarina Ave., St. Grekivska and KhTZ in Kharkiv is evidence of the main cause of the local collapse - damage to the reinforced concrete structure of the tunnel vault as a result of biogenic corrosion.

It should be noted that the sections of the tunnels at the points of connection with inspection shafts, as well as the structure of inspection shafts, experience the greatest corrosion. Sewage in the inspection shaft falls from the mark to the mark of the sewer tunnel tray. As a result of flow stratification, sulfuric gas is actively released, which in subsequent reactions turns into sulfuric acid of a high degree of concentration. Without anti-corrosion protection, there is damage to the concrete treatment of the tunnel, which bears the load from the soil layer.

Factors affecting the operational reliability of sewer tunnels and inspection shafts were summarized in the thesis for the study of the highest impact. According to the data obtained as a result of the expert evaluation, it was determined that among the above-mentioned reasons for the failure of the sustainable functioning of sewer tunnels, the factors with the highest degree of influence are: the destruction of the vault in the places adjacent to inspection shafts, extinguishing chambers; destruction of the arch of the sewage tunnel structure; technical condition of inspection mines.

Meanwhile, the development and implementation of technical, organizational and technological solutions for the repair and restoration of structures of sewage tunnels and inspection shafts using inexpensive domestic materials and structures will allow to increase the operational durability of drainage networks, reduce the duration and cost of repair and restoration works.

Products based on basalt were analyzed for the feasibility of using this material in the restoration of sewage networks. It was found that products based on basalt have a number of advantages: high strength, fairly low weight, reliability during operation in a wide temperature range, they are not prone to corrosion and have high chemical resistance. Thus, the parameters of basalt meet the main requirements for materials used to protect sewage networks. The use of basalt-fibrous materials, composites and products from them are promising and economically feasible. These advantages make it possible to use basalt materials in the repair and restoration of drainage networks.

When repairing and restoring sewer tunnels, open and closed methods of work are used.

Taking into account the fact that part of the sewage networks passes through territories where there are no transport arteries, through agricultural lands and has an insignificant depth of occurrence, as well as the fact that, as a rule, their channel part is in a condition suitable for further operation, it is advisable to carry out repair and restoration work on them in an open way.

Based on the fact that the tray part of the collectors has been preserved, the restoration of the vaulted part with the use of stone casting tiles is considered in the dissertation work. Restoration work in this case is carried out with the help of pneumatic formwork.

The use of pneumatic formwork plays an important role, as it ensures the fulfillment of the following requirements: quick assembly and disassembly of the formwork; the possibility of using it for spatial surfaces of a curved shape, even with large spans; multiple reversibility of the formwork.

When considering the methods of repair and restoration of large-diameter sewer pipelines and tunnels, it was noted that the method of inserts is currently the main one, both in foreign and domestic sanitation practice. At the same time, as a rule, pipes made of polyethylene, fiberglass and basalt plastic are used. When researching the methods of repair and restoration of inspection shafts, it was established that the city of Kharkiv has accumulated considerable experience in this area. With the use of solutions developed by university scientists, many mines in the city's sewage tunnels have been restored. At the same time, ribbed polyethylene, slag casting panels, clinker bricks, and VMX-basalt wall coverings were used.

In the laboratory of the university, samples of basalt elements, which are present on the market of construction products in Ukraine, were studied. In addition to determining the strength characteristics, the presence of adhesion between the cement-sand mortar and the basalt tile surface was determined. The obtained results of the study showed that the solution will provide the necessary adhesion with basalt elements capable of counteracting biogenic corrosion of sewage networks and structures.

Several samples of basalt elements were selected during the research on resistance to the action of an aggressive environment. The basalt samples were tested for resistance to the aggressive environment for 90 days in the inspection shaft of the deep sewer tunnel, the concentration of hydrogen sulfide and other chemical compounds several times exceeding the maximum allowable. As the results of the test showed, the basalt samples are not prone to corrosion and did not lose their compressive and bending strength after the samples were exposed to the aggressive environment of the sewage mine for 3 months.

In this work, the acquirer proposed a new technology for the repair and restoration of sewer tunnels, which includes 9 stages: dismantling of emergency sections of the tunnel (vaults, walls); clearing the tray part of the tunnel; restoration of the section of the tunnel part of the tunnel (if the tunnel is destroyed); cleaning of the existing fittings to ensure the joint operation of the tray and the protective coating of the vault being erected; installation of pneumatic formwork for the construction of the tunnel vault with internal finishing with stone casting tiles; laying stone casting tiles; installation of the necessary fittings for the protective lining of the vault made of monolithic reinforced concrete; creation of inventory formwork; laying the concrete mixture of the monolithic part of the vault; dismantling of pneumatic and inventory formwork after gaining strength of concrete; backfilling of the trench with compaction. According to the calendar schedule of works, the duration of works performed on the section of 30 m of the sewer tunnel with a diameter of 1840 mm at the point of connection to the inspection shaft with the use of stone casting tiles is 40 days.

As research shows, the limits of the rational use of the open (trench) method of repair and restoration work, depending on the specific engineering, geological and production conditions, vary widely with the depth of laying the trench on average from 3 to 8 m. In construction practice, when developing soil in trenches, most often fasteners of vertical walls are used.

The dissertation presents a new organizational and technological solution for the restoration of inspection mines. The main period of restoration of the observation

shaft with the help of facing the walls with basalt stone casting tiles: dismantling of the floor slabs; cleaning of walls from corrosion products; injection of anti-corrosion concrete on a small filler of space at the junctions of the tunnel; reinforcement of the mine walls (in case of deep corrosion of the walls); facing the walls of the observation shaft with stone-cast basalt tiles; treatment of the inner surface of operational areas and stairs with anti-corrosion epoxy polyurethane compound "AQUAKHIM".

Due to the high aggressiveness of the sewage environment, a protective anti-corrosion lining system for the walls of the inspection shaft was proposed: basalt tiles and anti-corrosion solution. A study on the feasibility of using basalt tiles was conducted in the laboratory, which testifies to the high-quality indicators of the material for protection against biogenic corrosion. As a result of the conducted research, the composition of the solution was obtained for its operation in the conditions of the aggressive environment of the sewage tunnel and inspection shaft. Chemical-resistant glue UltraMix E10 is recommended for lining the inner surface of the sewer tunnel and the walls of the inspection shaft with basalt tiles.

When carrying out work on the restoration of inspection mines and sewage tunnels, specific dangers that threaten the life and health of those working in them must be taken into account. The work considers solutions to ensure the safety of work during the repair and restoration of inspection shafts

The factors of choosing the sewer tunnel method were studied using the method of expert evaluations, the most important of which are: technical condition (availability of damage statistics during the period, damage elimination methods, violation of processing integrity); physical and mechanical properties of the soil; diameter of the existing sewage tunnel. These factors affect the technical and economic indicators of the works: cost, labor intensity, and duration of restoration of the sewer tunnel section.

The calculation of the economic efficiency of the implementation of organizational and technological solutions for the repair and restoration of sewer tunnels in the places bordering inspection shafts by the proposed method in