

doi.org/10.29295/2311-7257-2022-108-2-73-78

УДК 628.2

Сорокіна В.Ю., Гайдучок О.Г., Ісакієва О.Г., Алейнікова А.І.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна, e-mail: alexandr.haiduchok@kstuca.kharkov.ua;
orcid.org/0000-0002-9574-5253, orcid.org/0000-0003-2074-5811, orcid.org/0000-0003-3139-9061,
orcid.org/0000-0002-2486-4263)

СУЧАСНІ МЕТОДИ ІНСПЕКЦІЇ МЕРЕЖ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Підземні інфраструктурні об'єкти такі, як каналізаційні та водопровідні мережі, які, в основному, складаються з труб або колекторів, піддаються сильній корозії бетону та металу, що значно знижує термін їх експлуатації. На сьогодні одним з перспективних методів контролю за мережами водовідведення вважається лазерне тривимірне сканування, яке дозволяє створити тривимірну карту внутрішньої поверхні труби. Основна перевага полягає в тому, що тривимірні карти можуть легко виявляти та кількісно визначити структурні дефекти на внутрішній поверхні труби. В якості пристроїв для лазерного сканування застосовують роботів на колісній або повітряній платформі зі стереокамерами та лазерами. Створення тривимірної моделі та її подальший аналіз дає змогу в найкоротші терміни проводити обстеження мережі водовідведення; знаходити тріщини, порушення герметизації; визначити характер протікання стічних рідин; встановити наявність відкладень; оцінити ступінь зношення і корозії труб; стан ізоляції; цілісність та якість мережі після будівництва або ремонту. Це дозволить запобігти негативного впливу на навколишнє середовище, зберегти екологію, не завдавати шкоди життю та здоров'ю робітників.

Ключові слова: мережа водовідведення, моніторинг, лазерне сканування, аналіз, колектори.

Вступ. Сучасне життя в місті неможливо уявити без таких систем як водопостачання та водовідведення. Від того, в якому стані знаходяться ці системи, залежить комфорт проживання людей, їх здоров'я та безпека. Рівень надійності мереж залежить від технічного стану трубопроводів, кількості та якості їх перевірок. З часом мережі водовідведення приходять в непридатність і потребують певних заходів по їх відновленню. Буває, що проектна документація стає неактуальною у зв'язку з чисельними ремонтними ділянками, врізуванням в існуючі трубопроводи нових або відсутністю документації.

Трубопроводи в місті Харкові, як і в багатьох містах України, прокладені ще в минулому столітті [1-4]. Зрозуміло, що на теперішній час вони досить зношені і знаходяться в аварійному стані. Відновлення їх стало досить актуальним завданням. Комунальні служби все більше переваги віддають безтраншейному відновленню мереж водовідведення [5].

Мережі глибокого закладання, як правило, прокладаються на глибині від 2 до 7 м. Тунельні колектори можуть бути прокладені ще глибше (на глибині до 60 м) [1,4]. Обстеження таких мереж людьми є небезпечним з точки зору безпеки та охорони праці.

Дефекти або руйнування можливі на всіх етапах життєвого циклу трубопроводів: при виробництві труб, при виконанні будівельних робіт і в процесі експлуатації. Підземні інфраструктурні об'єкти такі, як водовідвідні та водопровідні мережі, які в основному складаються з труб або колекторів, піддаються сильній корозії бетону та металу, що значно знижує термін їх експлуатації [6]. Для забезпечення безпечного функціонування мережі, зниження витрат на ремонти необхідно реалізовувати комплекс моніторингових заходів, які б включали діагностику і оцінку пошкоджень.

Сьогодні існує ряд методів та технологій, які дають можливість миттєво провести дослідження і діагностику мереж водовідведення [6-8]. Із загальної кількості методів внутрішньотрубною діагностики можна виділити лазерне сканування як найбільш сучасний та швидкий метод моніторингу.

Матеріали і методи дослідження. Лазерне сканування мереж водовідведення дозволяє точно, в повному обсязі виявити проблемні місця, причини аварій, тип засмічення, визначити гідравлічні характеристики труби та прорахувати перспективу утворення відкладень. В результаті лазерного сканування і моделювання уся мережа водовідведення може бути обстежена та задокументована в форматі тривимірної проєкції. Система включає в

себе шаблони звітів, які відповідають міжнародним стандартам. Цей метод використовується на будь-яких об'єктах побутової, промислової та дощової мереж водовідведення.

За допомогою таких обстежень можна визначити фронт робіт по реконструкції, капітальному та поточному ремонті мережі водовідведення. Завдяки високій ефективності ця інноваційна інспекція вважається найкращою, надійною, а її використання є актуальною.

На сьогодні одним з перспективних методів контролю за каналізаційними мережами вважається лазерне тривимірне сканування, яке дозволяє створити 3D-карту внутрішньої поверхні труби. Основна перевага полягає в тому, що 3D-карти можуть легко виявляти та кількісно визначити структурні дефекти на внутрішній поверхні труби [6], наприклад, зміни овальності, втрати матеріалу через погіршення або будь-які утворення шламу. На рис. 1 наведена схема лазерного сканування каналізаційних труб.

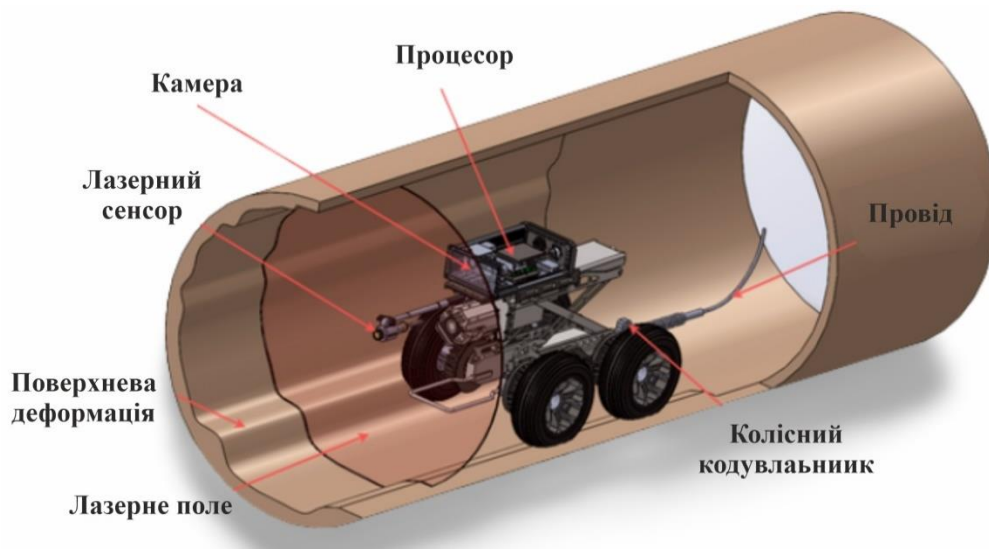


Рис. 1. Схема лазерного сканування каналізаційних труб

В якості пристроїв для лазерного сканування застосовують роботів на колісній або на повітряній платформі зі стереокамерами та лазерами (рис. 2). Платформа оснащена камерою відеоспостереження з ліхтариком, який можна розгорнути за допомогою прив'язаного кабелю (проводу) довжиною 120 м для з'єднання зі станцією керування.



Рис. 2. Пристрої для лазерного сканування:
а) на колісній базі; б) на повітряній платформі

Система стереокамер та інфрачервоного лазерного проектору побудованій на базі спеціального комп'ютерного модуля. Використання стереокамер дозволяє відокремити вимірювання глибини лазерного променя від бічного переміщення робота, що підвищує точність тривимірної карти. Крім того, використання системи стереобачення не вимагає калібрування на місцях і може бути розгорнута в більш широкому діапазоні діаметрів труб, що забезпечує швидке та зручне використання. Система може генерувати кольорову теплову карту, яка вказує відхилення овальності від вихідних розмірів труби, що забезпечує карту дефектів у реальному часі [6-8]. Дальність дії лазерних сканерів не потребує надходження знімальної системи безпосередньо у місця виїмки, що підвищує безпеку бригади робітників та прискорює процес. Ця технологія підходить для колекторів будь якого діаметру і перерізу, дозволяє побудувати 3D моделі з точним розташуванням елементів мережі. Вся мережа водовідведення за допомогою лазерного сканування може бути ретельно обстежена та задокументована в 3D з високою точністю та швидкістю [9-11]. Це все дозволить вирішувати проблеми ефективного функціонування мережі водовідведення як критично важливого стратегічного об'єкту інфраструктури без впливу на навколишнє середовище і екологію в цілому.

Для створення щільної хмари точок високої роздільної здатності в режимі реального часу спеціалістами використовується набір стандартних методів обробки зображень [6]. Схематичне виконання алгоритму показано на рис. 3.

1. Стерео камера

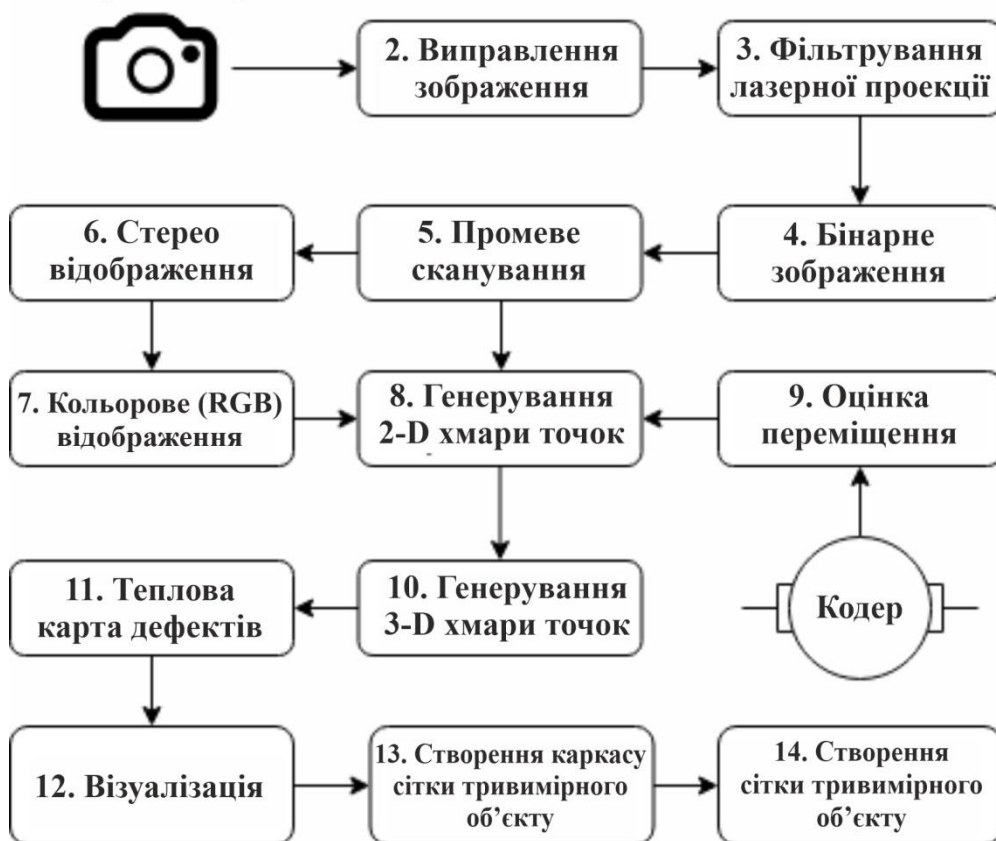


Рис. 3. Алгоритм створення щільної хмари точок об'єкту

Бінарне зображення (маска) лазерного кола витягується з каліброваного зображення через порогове значення. Іноді через варіації поверхневого освітлення виявлене коло може мати різну товщину лінії, що негативно впливає на виявлення центру кола [6]. В такому випадку для уточнення лінії кола використовується додатковий фільтр. Параметри найкращої відповідності визначаються шляхом навчання алгоритму з використанням різних типів наборів даних, отриманих з різних труб за різних умов освітлення.

Алгоритм перетворення променевого сканування використовується для оцінки центру кола труби, який використовується для відведення променів і створення хмари точок. Точність визначення центру значно покращується завдяки алгоритму фільтра. Запустивши функцію відведення променів, усі точки, пов'язані з колом лазерного проміння (рис. 4), можна ідентифікувати та зберегти в масиві векторних точок, індексованих кутовим обертанням. Алгоритм відбору променів використовується в основному для досягнення трьох основних цілей: згенерувати хмару точок шляхом вилучення лазерних точок; створення стереокарт для отримання інформації про глибину кольору та створення теплової карти для ідентифікації дефектів шляхом обчислення відстані між центром і кожною точкою. Використовуючи сучасні програмні комплекси, хмара точок перетворюється на тривимірну модель (рис. 5) [12], яку можливо проаналізувати на ступінь деформації [13-15].

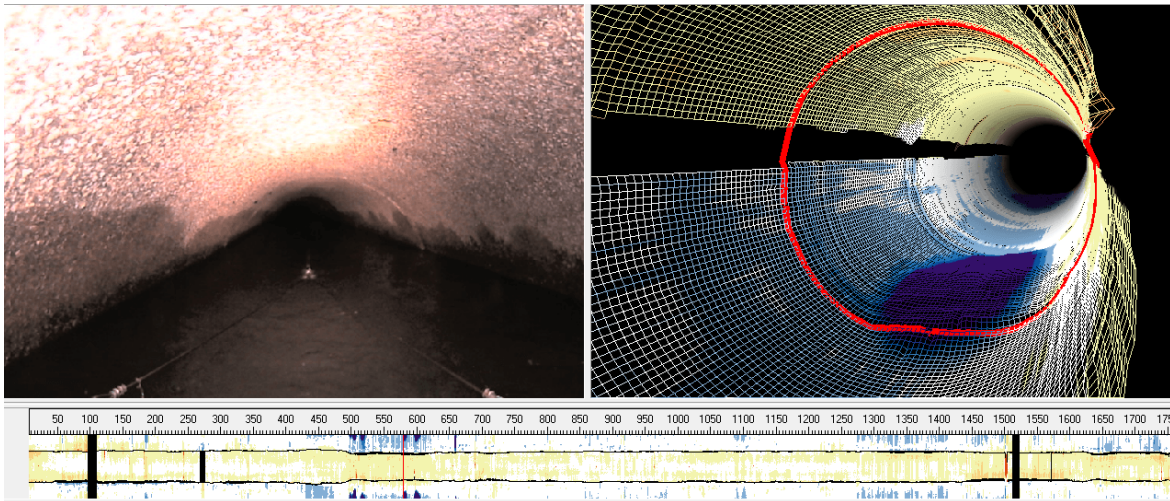


Рис. 4. Візуальне створення каркасу сітки об'єкту на підставі хмари точок

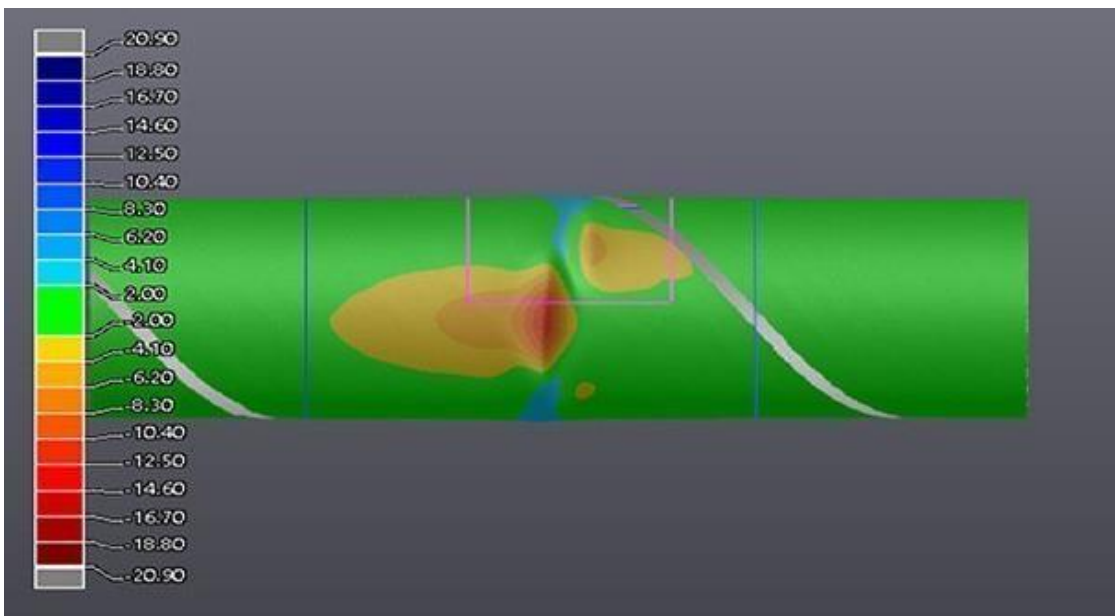


Рис. 5. Тривимірна модель трубопроводу з деформацією

Створення тривимірної моделі та її подальший аналіз дає змогу в найкоротші терміни проводити такі заходи:

- обстеження мережі водовідведення;
- знаходити засмічення, сколи, тріщини, порушення герметизації;
- визначити характер протікання стічних рідин;

- встановити наявність та товщину мулових, вапняних та інших відкладень;
- оцінити ступінь зношення і корозії труб; стан ізоляції; цілісність та якість мережі після будівництва або ремонту;
- скласти графік поточних і планово-ремонтних робіт;
- відновити при необхідності втрачену схему трубопроводів;
- визначити наявність протизаконних врізок в трубопровід та сторонніх предметів;
- оцінити перспективи ремонту;
- підібрати обладнання та скласти кошторис робіт;
- проводити моніторинг мереж, заздалегідь запобігаючи аварійним ситуаціям.

Обговорення результатів. Наведено перспективи використання тривимірного лазерного сканування мереж водовідведення. Це дозволить швидше і якісніше проводити діагностику та моніторинг трубопроводів та колекторів на мережах водовідведення.

Висновки. Лазерне сканування трубопроводів та колекторів мереж водовідведення з подальшим створенням тривимірної моделі та аналізом її на деформації в програмних комплексах є одним з перспективних методів діагностики та моніторингу. Він дозволить вчасно запобігти витоку каналізаційних стоків, забруднення ґрунтових та поверхневих вод, виключити розкривання асфальтобетонного покриття, природного шару, що у комплексі дозволяє запобігти негативного впливу на навколишнє середовище, зберегти екологію, не завдавати шкоди життю та здоров'ю робітників.

ЛІТЕРАТУРА:

REFERENCES:

1. Василенко О.А., Епоян С.М., Смірнова Г.М., Коринько І.В., Василенко Л.О., Айрапетян Т.С. Водовідведення та очистка стічних вод міста: Навчальний посібник. Київ – Харків: КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. 540 с.
2. Гончаренко Д.Ф. Експлуатація, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. Харьков: Консум, 2008. 400 с.
3. Гончаренко Д.Ф., Убийвовк А.В., Бондаренко Д.А., Булгаков Ю.В. Оценка несущей способности крепи канализационного тоннельного коллектора и выбор методов его восстановления. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. Вип. 1 (79). с. 66- 71.
4. Гончаренко Д.Ф., Вевелер Х., Алейникова А.И. Эксплуатация, ремонт и восстановление трубопроводов водоснабжения. Харьков: Раритеты Украины, 2015. 280 с
5. Епоян С.М., Сорокіна В.Ю., Ісакієва О.Г., Гайдучок О.Г. Технологія безтраншейної реновації трубопроводів водовідведення методом спіральної навивки. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2021. Вип. 2 (104). с. 278- 283.
6. Gunatilake A., Piyathilaka L., Kodagoda S., Barclay S., Vitanage D. Real-time 3D profiling with RGB-D mapping in pipelines using stereo camera vision and structured IR laser ring. 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) Conference paper. 2019. P. 916-921.
7. Valls Miro J., Ulapane N., Shi L., Hunt D., Behrens M. Robotic pipeline wall thickness evaluation for dense nondestructive testing inspection. Journal of Field Robotics. 2018. Vol. 35. P. 1293–1310.
8. Oyama A., Lida H., Ji U., Umeda K., Mano Y., Yasui T., Nakamura T. Three-dimensional mapping of pipeline from inside images using earthworm robot
1. Vasylenko O.A., Epoyan S.M., Smirnova H.M., Korinko I.V., Vasylenko L.O., Airapetian T.S. Vodovidvedennia ta ochystka stichnykh vod mista: Navchalnyi posibnyk. Kyiv- Kharkiv: KNUBA, KhNUBA, TO Ekskliuzyv, 2012. 540 p.
2. Goncharenko D.F. Ekspluataciya, remont i vosstanovlenie setej vodootvedeniya: monografiya. Kharkiv: Konsum, 2008. 400 p.
3. Goncharenko D.F., Ubijvovk A.V., Bondarenko D.A., Bulgakov YU.V. Ocenka nesushchej sposobnosti krepki kanalizacionnogo tonnel'nogo kollektora i vybor metodov ego vosstanovleniya. Scientific Bulletin of Civil Engineering. Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU, 2015. Nr. 1 (79). P. 66- 71.
4. Goncharenko D.F., Veveler H., Alejnikova A.I. Ekspluataciya, remont i vosstanovlenie truboprovodov vodosnabzheniya. Kharkiv: Rariteti Ukrainy, 2015. 280 p.
5. Epoyan S., Sorokian V., Isakieva O., Haiduchok O. Technology of trenchless renovation for drainage pipelines by spiral-wound. Scientific Bulletin of Civil Engineering. Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU, 2021. Nr. 2 (104). P. 278- 283.
6. Gunatilake A., Piyathilaka L., Kodagoda S., Barclay S., Vitanage D. Real-time 3D profiling with RGB-D mapping in pipelines using stereo camera vision and structured IR laser ring. 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) Conference paper. 2019. P. 916-921.
7. Valls Miro J., Ulapane N., Shi L., Hunt D., Behrens M. Robotic pipeline wall thickness evaluation for dense nondestructive testing inspection. Journal of Field Robotics. 2018. Vol. 35. P. 1293–1310.
8. Oyama A., Lida H., Ji U., Umeda K., Mano Y., Yasui T., Nakamura T. Three-dimensional mapping of pipeline from inside images using earthworm robot

- equipped with camera. IFAC-PapersOnLine. Elsevier, 2019. Vol. 52. P. 87 – 90.
9. Thiyagarajan K., Kodagoda S., Nguyen L. V., Wickramanayake S. Gaussian Markov Random Fields for Localizing Reinforcing Bars in Concrete Infrastructure. Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Berlin, 2018. P. 1052–1058.
 10. Thiyagarajan K., Kodagoda S., Ulapane N. Data-driven machine learning approach for predicting volumetric moisture content of concrete using resistance sensor measurements. IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications. 2016. P. 1288–1293.
 11. Li B., Fan X., Zhang J., Wang Y., Chen F., Kodagoda S., Wells T., Vorreiter L., Vitanage D., Iori G., Cunningham D., Chen T. Predictive Analytics Toolkit for H2S Estimation and Sewer Corrosion. OZWater. Sydney: Australian Water Association, 2017. <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/117887>
 12. Allard P., Mony Ch. Pipeline external corrosion analysis using a 3D laser scanner. Pipeline Technology Conference 2013. https://www.creaform3d.com/analysis_using_a_3d_laser_scanner_19112013.pdf
 13. Latif J., Shakir M.Z., Edwards N., Jaszczkowski M., Ramzan N., Edwards V. Review on condition monitoring techniques for water pipelines. Measurement. Amsterdam: Elsevier, 2022. 110895.
 14. Marcio B.S., Neinheysen Ph., Habor D., Flesh Rodolfo C.C. Quality assessment and deviation analysis of three-dimensional geometrical characterization of a metal pipeline by pulse-echo ultrasonic and laser scanning techniques. Measurement. Amsterdam: Elsevier, 2019. 30-37.
 15. Wang W., Zhao W., Huang L., Vimarlund V., Wang Z. Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2014. Vol.1. Issue 5. P. 325-337.
9. Thiyagarajan K., Kodagoda S., Nguyen L. V., Wickramanayake S. Gaussian Markov Random Fields for Localizing Reinforcing Bars in Concrete Infrastructure. Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Berlin, 2018. P. 1052–1058.
 10. Thiyagarajan K., Kodagoda S., Ulapane N. Data-driven machine learning approach for predicting volumetric moisture content of concrete using resistance sensor measurements. IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications. 2016. P. 1288–1293.
 11. Li B., Fan X., Zhang J., Wang Y., Chen F., Kodagoda S., Wells T., Vorreiter L., Vitanage D., Iori G., Cunningham D., Chen T. Predictive Analytics Toolkit for H2S Estimation and Sewer Corrosion. OZWater. Sydney: Australian Water Association, 2017. <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/117887>
 12. Allard P., Mony Ch. Pipeline external corrosion analysis using a 3D laser scanner. Pipeline Technology Conference 2013. https://www.creaform3d.com/analysis_using_a_3d_laser_scanner_19112013.pdf
 13. Latif J., Shakir M.Z., Edwards N., Jaszczkowski M., Ramzan N., Edwards V. Review on condition monitoring techniques for water pipelines. Measurement. Amsterdam: Elsevier, 2022. 110895.
 14. Marcio B.S., Neinheysen Ph., Habor D., Flesh Rodolfo C.C. Quality assessment and deviation analysis of three-dimensional geometrical characterization of a metal pipeline by pulse-echo ultrasonic and laser scanning techniques. Measurement. Amsterdam: Elsevier, 2019. 30-37.
 15. Wang W., Zhao W., Huang L., Vimarlund V., Wang Z. Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2014. Vol.1. Issue 5. P. 325-337.

Sorokina V., Isakieva O, Haiduchok O., Aleinikova A. MODERN INSPECTION METHODS FOR SEWER PIPELINES. Underground infrastructural objects such as sewage and water supply networks, which mainly consist of pipes or collectors, are exposed to solid corrosion of concrete and metal, significantly reducing their service life. Today, laser 3D scanning, which allows you to create a three-dimensional map of the pipe's inner surface, is considered one of the promising methods of monitoring sewer networks. Specialists use wheeled robots or aerial platforms with stereo cameras and lasers as devices for laser scanning. The main advantage is that 3D maps can easily detect and quantify structural defects on the pipe's inner surface. Creating a three-dimensional model and its subsequent analysis makes it possible to examine the drainage network in the shortest possible time to find cracks and sealing violations. This model helps to determine the nature of the flow of waste liquids; establish the presence of deposits; assess the degree of wear and corrosion of pipes; insulation condition; integrity and quality of the network after construction or repair. Laser scanning will prevent negative environmental impact, preserve ecology, and not harm the life and health of workers.

Key words: sewer pipelines, monitoring, laser scanning, analyzing, collectors.