

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЇ БАЗАЛЬТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНОГО РОЗЧИНУ ДЛЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В КАНАЛІЗАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

¹Гончаренко Д.Ф., д.т.н., професор,

gonch@kstuca.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-1278-0895

¹Алейнікова А.І., к.т.н., доцент,

alevtynaal222@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2486-4263

¹Гулевський П.Ю., аспірант,

gulevskiyp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4164-2101

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури

вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна

Анотація. Зараз у світі спостерігається тенденція заміни сталі та чавуну композиційними матеріалами з високою хімічною стійкістю та довговічністю, до яких насамперед належить склопластик, що володіє комплексом високих експлуатаційних властивостей. Проте в даний час зросли вимоги до композитів, особливо в частині їхньої термо- і хімічної стійкості, стійкості до впливу мікроорганізмів, ґрунтових і стічних вод. Композити на основі базальтових волокон значно перевершують традиційні матеріали та сплави за своїми механічними та фізико-хімічними властивостями. Вони мають корозійну стійкість, хімічну інертність, низьку теплопровідність, високі питомі механічні властивості, малу питому вагу. Вироби на основі базальту мають ряд переваг: високою міцністю, відносно невеликою вагою, надійністю в експлуатації в широкому діапазоні температур, не схильні до корозії і мають високу хімічну стійкість. Виробництво та використання базальтових волокнистих матеріалів, композитів та виробів з них перспективні та економічно доцільні. Враховуючи фізико-хімічні властивості базальтових волокон, використання базальтових елементів з них як облицювання каналізаційних мереж та споруд є перспективним методом їх відновлення. Однак довговічність цього залежить, перш за все, від зчеплення базальтових елементів із цементно-піщаним розчином. У статті проаналізовано мінерально-сировинну базу гірських порід як однокомпонентної сировини для виготовлення базальтових волокнистих матеріалів та композитів на їх основі. Проведено аналіз властивостей базальтових безперервних волокон у порівнянні зі скляними волокнами типу Е та С, вуглецевими та арамідними волокнами. Наведено результати експериментального дослідження зчеплення базальтових елементів та цементно-піщаного розчину. Результати досліджень дозволяють використовувати базальтові матеріали для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на колекторах та спорудах.

Ключові слова: каналізаційний колектор, знос, корозія, відновлення, базальт, базальтова плитка.

Вступ. Найбільш дорогою та вразливою частиною інженерної інфраструктури міста є трубопровідні системи, які відводять стоки населеного пункту. Стан довкілля, ефективна робота підприємств міста, комфортність проживання городян безпосередньо залежать від їхньої безперебійної роботи та рівня надійності. Таким чином, першочерговим завданням комунальних служб є забезпечення надійної працездатності каналізаційних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями використання базальту в каналізаційному господарстві займаються вчені зі всього світу, такі як: Бінічі Х., Ден З., Фену Л., Кучесфехані З., Насрі В., Аль-Свайдані А., Куличковський А., Уокер, К., Чіадігікаобі П., Копієц М., Пезіменті А., Джозеф Е., Дінь, С., Прітам Р., Чжу Х., Проберт С., Валікс М., Чжан Н., Злебек Т. [1-11]. Основними напрямками їх досліджень є:

- вивчення міцності бетонних труб, що містять мелену базальтову пемзу як дрібного заповнювача;
- дослідження динамічної поведінки цементних розчинів, армованих базальтовими волокнами;
- експериментальні випробування облицювання труб базальтовими елементами;
- аналіз доцільності використання нових та стійких композитів, армованих базальтовими волокнами, з особливим акцентом на їх структурну цілісність та міцність на руйнування.

Отже, для відновлення каналізаційних мереж та споруд, що транспортують стічні води самопливом, актуальним завданням є дослідження властивостей базальтопластику для ремонту, які дозволять підвищити надійність та термін експлуатації каналізаційних мереж та споруд.

Мета та завдання дослідження. На даний час в світі спостерігається тенденція до заміни сталі та чавуну на композиційні матеріали з високою хімічною стійкістю та довговічністю, до яких в першу чергу слід віднести склопластики, які володіють комплексом високих експлуатаційних властивостей. Однак, в даний час вимоги до композитів зросли, особливо в частині їх тепло- і хімічностійкості, стійкості до дії мікроорганізмів, ґрунтових і стічних вод. На думку багатьох спеціалістів, матеріалами не тільки нашого часу, але й майбутнього, котрі відповідають вимогам, є базальтові волокна та вироби з них (рис. 1, 2) [12-15].



Рис. 1. Футерування базальтовими плитами каналізаційної шахти

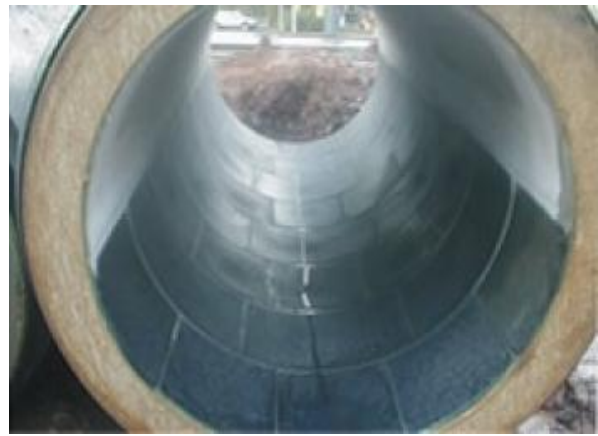


Рис. 2. Футерування лотку каналізаційної мережі

Особливе значення має високий модуль пружності базальтових волокон (приблизно в 1,5 рази вище, ніж у алюмоборосилікатного скла) для виготовлення композитних труб та виробів з базальту. Базальтове безперервне волокно за характеристиками міцності займає проміжне положення між Е-склом і S-склом (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики армуючих волокон

№	Показник	БНВ	Е-скловолокно	S-скловолокно	Арамідне волокно	Вуглецеве волокно
1	Міцність на розтягування, МПа	2500-3000	1400-2600	3100-4300	2900-3400	3500-6000
2	Модуль пружності, ГПа	84-87	72-76	87-90	70-140	230-600
3	Відносне подовження при розриві, %	3,1	4,7	5,3	2,8-3,6	1,5-2,0
4	Діаметр волокна, мкм	6-21	6-21	6-21	6-15	5-15
5	Текс	60-4200	40-4200	400-4200	600-1800	600-2400

Композити на основі базальтових волокон значно перевершують традиційні матеріали та сплави за своїми механічними та фізико-хімічними властивостями. Вони мають корозійну стійкість, хімічну інертність, низький коефіцієнт теплопровідності, високі питомі механічні характеристики, малу питому вагу. 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. Виробництво та використання базальтоволокнистих матеріалів, композитів та виробів з них є перспективними та економічно доцільними. Беручи до уваги фізико-хімічні властивості базальтових волокон, використання базальтових елементів з них у якості футерування каналізаційних мереж і споруд є перспективним методом їх відновлення. Проте довговічність означеного залежить насамперед від адгезії базальтових елементів з цементно-піщаним розчином.

Отже **метою роботи** є дослідження адгезії між базальтовою плиткою та цементно-піщаними розчинами методом відриву для оцінки застосування її для відновлення каналізаційних мереж та споруд.

Матеріали та методика дослідження. Авторами було проведено дослідження адгезії між базальтовою плиткою та цементно-піщаними розчинами методом відриву. Метод дає максимально точні результати і для багатошарових, і для одношарових покриттів (результат визначається в $\text{кг}/\text{см}^2$). Дослідження проводяться переважно в лабораторних умовах, і дозволяють визначити адгезію кожного шару покриття шляхом приклеювання робочих циліндрів (площин) до поверхні.

Результати дослідження. Для проведення дослідження було виготовлено 3 склади цементно-піщаних розчинів:

1. 50 гр. цемент М400; 50 гр. дрібний пісок; 25 гр. вода.
2. 50 гр. цемент М400; 100 гр. дрібний пісок; 30 гр. вода.
3. 50 гр. цемент М400; 150 гр. дрібний пісок; 37 гр. вода.

Розчини були нанесені на поверхню базальтової плитки розмірами $250 \times 250 \times 30 \text{ мм}$ (виробник "КАМЕЛІТ"). Шар нанесених розчинів становить 1 мм. Після набуття міцності розчинів було нанесено перпендикулярні розрізи в вигляді решітки розмірами $10 \times 10 \text{ мм}$. За допомогою епоксидного клею робочий циліндр приклеюється до досліджуваної поверхні, та під дією перпендикулярного поступального руху виконується відділення шару розчину за допомогою динамометра (рис. 3).

За результатами адгезії між базальтовою плиткою та цементно-піщаними розчинами методом відриву встановлено, що зразки №1 та №2 недоцільно використовувати в якості розчину для експлуатації в каналізаційному середовищі з причини низької адгезії з базальтовою плиткою ($R_{\text{відр.адгез}} = 0,1 \text{ кг}/\text{см}^2$). Результати досліджень представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати дослідження адгезії між базальтовою плиткою та цементно-піщаними розчинами методом відриву

№ зразка	Склад розчину (цемент : пісок)	Міцність при відриві $R, \text{кг}/\text{см}^2$
1	1:1	0,1
2	1:2	0,1
3	1:3	11-13

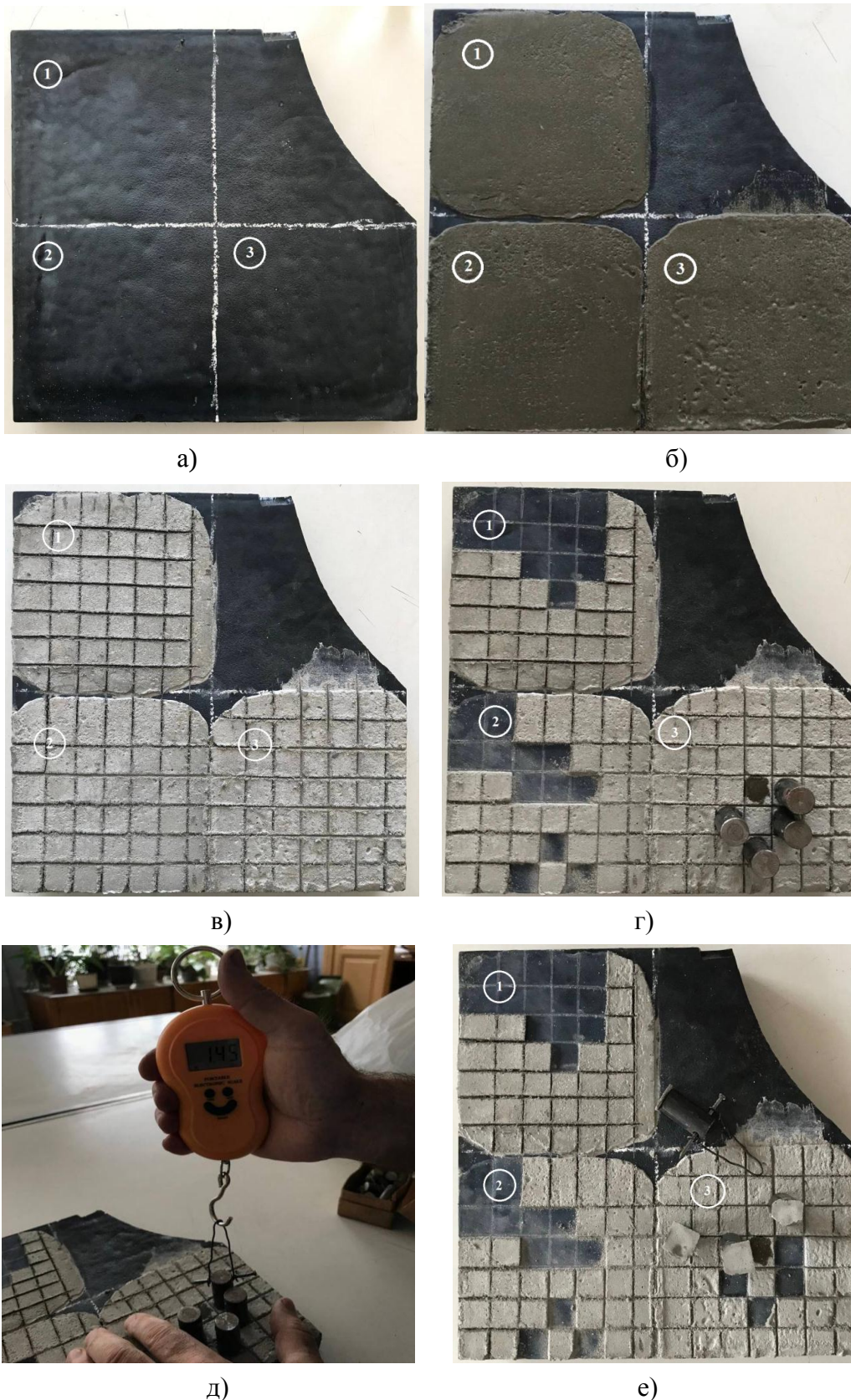


Рис. 3. Дослідження адгезії базальту:

а – базальтова плитка; б – нанесення розчинів на поверхню плитки;
в – нанесення перпендикулярних розрізів по набраному міцності розчині в вигляді решітки;
г – приклеювання робочих циліндрів до площини базальтової плитки; д – проведення експерименту за допомогою динамометра методом відриву; е – завершення експерименту, отримання та обробка результатів

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отримані результати дослідження дозволяють використовувати матеріали з базальту для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних колекторах та спорудах. Цементно-піщаний розчин у складі цемент М400, дрібного піску та води в співвідношенні 1:3:0,74 відповідно забезпечить необхідну адгезію з базальтовими елементами, що здатні протидіяти біогенній корозії каналізаційних мереж і споруд.

Література

1. Binici H., Durgun M. Y., Rızaoğlu T., & Koluçolak M. Investigation of durability properties of concrete pipes incorporating blast furnace slag and ground basaltic pumice as fine aggregates. 2012. *Scientia Iranica*. 19(3). pp. 366-372.
2. Deng Z., Liu X., Chen P., de la Fuente A., Zhou X., Liang N., ... & Du L. Basalt-polypropylene fiber reinforced concrete for durable and sustainable pipe production. Part 1: Experimental program. *Structural Concrete*. 2021.
3. Fenu L., Forni D., & Cadoni E. Dynamic behaviour of cement mortars reinforced with glass and basalt fibres. *Composites Part B: Engineering*. 2016. 92, pp. 142-150.
4. Kouchesfehani Z. K., Tehrani A. D., Najafi M., Syar J. E., & Kampbell E. Adding additional reinforcement to improve the structural performance of spray applied pipe lining rehabilitation technology: a review. *Pipelines 2019: Multidisciplinary topics, utility engineering, and surveying*. 2019. pp. 10-23.
5. Nasri V., & Haynes C. E. New tunnel system to eliminate sanitary sewer overflows and control combined sewer overflows in Hartford, Connecticut. *Water Practice and Technology*. 2015. 10(2). pp. 282-290.
6. Al-Swaidani A. M., Baddoura M. K., Aliyan S. D., & Choeb W. Acid resistance, water permeability and chloride penetrability of concrete containing crushed basalt as aggregates. *Journal of Materials Science and Engineering*. 2015. 5(7-8), pp. 285-304.
7. Kuliczowski A. Rury bazaltowe. *Instal*. 2007. pp. 52-55.
8. Walker K. R. Five Trenchless Rehab Projects Save Failing Large Diameter Combined Sewer Structures in Albany, NY. In *Pipelines 2020*. pp. 427-432. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
9. Chiadighikaobi P. C., & Emiri D. A. Basalt Chopped Fiber: A Solution to Cracks in Concrete. *Наука и бизнес: пути развития*. 2018.
10. Kopietz M., Friedrich K., & Wetzel B. In situ functionalisation of organomineral hybrid resins for tough basalt fibre reinforced plastics. *Plastics, Rubber and Composites*. 2021. 50(3). pp. 105-115.
11. Pezzimenti A., & Shooter J. Microtunnelling in Australia-13 years on. In *Tenth Australian Tunnelling Conference: The Race for Space*. 1999. p. 317. Published for the Australasian Institute of Mining and Metallurgy for The Australian Underground Construction and Tunnelling Association.
12. Застосування базальтових елементів в каналізаційних системах: електронний ресурс. URL: <https://eutit-ua.com/ru/products/kanalizaciya.html>.
13. Базальтовий каналізаційний колектор для міського господарства: електронний ресурс. URL: <https://eurobazalt.ub.ua/analitic/3435-bazaltoviy-kanalizaciyniy-kolektor-dlya-miskogo-gospodarstva.html>.
14. Гончаренко Д. Ф., Бондаренко Д. А., Булгаков Ю. В. Восстановление канализационных трубопроводов методом проталкивания коротких базальтовых труб. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 2014, (150), С. 108-114.
15. Гончаренко Д. Ф., Бондаренко Д. А., Коваленко А. Н., Булгаков Ю. В. Преимущества применения базальтовых труб в подземных инженерных коммуникациях. 2014. *Научный вестник строительства*. (3). С. 77-82.

References

- [1] H. Binici, M.Y. Durgun, T. Rızaoğlu, & M. Koluçolak, "Investigation of durability properties of concrete pipes incorporating blast furnace slag and ground basaltic pumice as fine aggregates", *Scientia Iranica*, no. 19(3), pp. 366-372, 2012.
- [2] Z. Deng, X. Liu, P. Chen, A. de la Fuente, X. Zhou, N. Liang & L. Du, "Basalt-polypropylene fiber reinforced concrete for durable and sustainable pipe production". Part 1: Experimental program, *Structural Concrete*, 2021.
- [3] L. Fenu, D. Forni, & E. Cadoni, "Dynamic behaviour of cement mortars reinforced with glass and basalt fibres", *Composites Part B: Engineering*, no. 92, pp. 142-150, 2016.
- [4] Z.K. Kouchesfehiani, A.D. Tehrani, M. Najafi, J.E. Syar, & E. Kampbell, "Adding additional reinforcement to improve the structural performance of spray applied pipe lining rehabilitation technology: a review", *Pipelines 2019: Multidisciplinary topics, utility engineering, and surveying*, pp. 10-23, 2019.
- [5] V. Nasri, & C.E. Haynes, "New tunnel system to eliminate sanitary sewer overflows and control combined sewer overflows in Hartford, Connecticut", *Water Practice and Technology*, no. 10(2), pp. 282-290, 2015.
- [6] A.M. Al-Swaidani, M.K. Baddoura, S.D. Aliyan, & W. Choeb, "Acid resistance, water permeability and chloride penetrability of concrete containing crushed basalt as aggregates", *Journal of Materials Science and Engineering*, no. 5(7-8), pp. 285-304, 2015.
- [7] A. Kuliczowski, "Rury bazaltowe", *Instal*, pp. 52-55, 2007.
- [8] K.R. Walker, "Five Trenchless Rehab Projects Save Failing Large Diameter Combined Sewer Structures in Albany, NY", *Pipelines*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, pp. 427-432, 2020.
- [9] P.C. Chiadighikaobi & D.A. Emiri, *Basalt Chopped Fiber: A Solution to Cracks in Concrete*, 2018.
- [10] M. Kopietz, K. Friedrich, & B. Wetzel, "In situ functionalisation of organomineral hybrid resins for tough basalt fibre reinforced plastics", *Plastics, Rubber and Composites*, no. 50(3), pp. 105-115, 2021.
- [11] A. Pezzimenti, & J. Shooter, "Microtunnelling in Australia-13 years on", In *Tenth Australian Tunnelling Conference: The Race for Space*, p. 317, 1999.
- [12] Zastosuvannia bazaltoviy elementiv v kanalizatsiynikh systemakh. [Online]. Available: <https://eutit-ua.com/ru/products/kanalizaciya.html>. Accessed on: December 19, 2021.
- [13] Bazaltoviy kanalizatsiyniy kolektor dlia miskoho hospodarstva: elektroniy resurs. [Online]. Available: <https://eurobazalt.ub.ua/analitic/3435-bazaltoviy-kanalizaciyniy-kolektor-dlya-miskogo-gospodarstva.html>. Accessed on: December 19, 2021.
- [14] D.F. Goncharenko, D.A. Bondarenko, Yu.V. Bulgakov, "Vosstanovlenie kanalizatsionnykh truboprovodov metodom protalkivaniya korotkikh bazaltoviyh trub", *Zbirnik naukovih prats Ukrayinskogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu*, no. 150, pp. 108-114, 2014.
- [15] D.F. Goncharenko, D.A. Bondarenko, A.N. Kovalenko, Yu.V. Bulgakov, "Priemuschestva primeneniya bazaltoviyh trub v podzemnykh inzhenernykh kommunikatsiyah", *Naukoviy visnik budivnitstva*, no. 3, pp. 77-82, 2014.

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF ADHESION OF BASALT ELEMENTS AND
CEMENT-SAND MORTAR FOR EXPEDIENCY OF USE IN THE SEWER
ENVIRONMENT**

¹**Goncharenko D.F.**, Doctor of Engineering, Professor,
gonch@kstuca.kharkov.ua, ORCID: 0000-0003-1278-0895

¹**Aleinikova A.I.**, PhD., Assistant Professor,
alevtynaal222@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2486-4263

¹**Hulievskiy P. Yu.**, postgraduate student,
gulevskiyp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4164-2101
¹*Kharkiv National University of Construction and Architecture*
str. Sumska, 40, Kharkiv, 61002, Ukraine

Abstract. At present, there is a tendency in the world to replace steel and cast iron with composite materials with high chemical resistance and durability, which primarily include fiberglass, which has a set of high performance properties. However, currently the requirements for composites have increased, especially in terms of their heat and chemical resistance, resistance to microorganisms, groundwater and wastewater. Composites based on basalt fibers are significantly superior to traditional materials and alloys in their mechanical and physicochemical properties. They have corrosion resistance, chemical inertness, low thermal conductivity, high specific mechanical properties, low specific gravity. Basalt-based products have a number of advantages: high strength, relatively low weight, reliability in operation over a wide range of temperatures, not prone to corrosion and have high chemical resistance. Production and use of basalt fiber materials, composites and products from them are promising and economically feasible. Taking into account the physical- chemical properties of basalt fibers, the use of basalt elements from them as lining of sewer networks and structures is a promising method of their restoration. However, the durability of this depends primarily on the adhesion of basalt elements with cement-sand mortar. The article analyzes the mineral resource base of rocks as a one-component raw material for the manufacture of basalt fiber materials and composites based on them. The analysis of the properties of basalt continuous fibers in comparison with glass fibers of type E and S, carbon and aramid fibers is carried out. The results of the experimental study of the adhesion of basalt elements and cement-sand mortar are presented. The results of the research allow the use of basalt materials to perform repair and restoration work on sewers and structures.

Keywords: sewer collector, wear, corrosion, basalt, basalt slab.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2022