УДК 504.05

О. Д. Панкевич
А. Є. Повзун
Я. О. Усенко

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗТРАНШЕЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проаналізовано ефективність безтраншейних технологій реконструкції трубопроводів за екологічним, транспортним та організаційно-технологічним критеріями. На прикладі горизонтально направленого буріння проведено порівняння з традиційним траншейним методом. Встановлено, що застосування ГНБ забезпечує скорочення загальних викидів CO_2 , зменшує обсяги земляних робіт і вплив на міську транспортну інфраструктуру. Визначено основні умови, які необхідно враховувати під час вибору технології реконструкції.

Ключові слова: безтраншейні технології, реконструкція трубопроводів, багатокритеріальний аналіз, горизонтально направлене буріння, екологічна ефективність.

Abstract

This paper analyzes the effectiveness of trenchless pipeline rehabilitation technologies based on environmental, transportation, and organizational-technological criteria. Using horizontal directional drilling as an example, a comparison is made with the traditional trenching method. It has been established that the use of horizontal directional drilling reduces total CO_2 emissions, minimizes the volume of earthwork, and reduces the impact on urban transportation infrastructure. The key conditions that must be considered when selecting a rehabilitation technology have been identified.

Keywords:. trenchless technologies, pipeline rehabilitation, multi-criteria analysis, horizontal directional drilling, environmental performance.

Вступ

Реконструкція підземних інженерних мереж у межах міської забудови є складним інженерно-технічним завданням, ефективність реалізації якого визначається не лише безпосередніми витратами на будівельні роботи, а й впливом технологічних процесів на функціонування міської інфраструктури та навколишнє середовище. Застосування традиційного траншейного методу передбачає розкриття ґрунту вздовж траси трубопроводу, що зумовлює порушення дорожнього покриття, обмеження транспортного руху та додаткові витрати на відновлення благоустрою території. Тому актуальним завданням є пошук технологічних рішень, які забезпечують мінімізацію зазначених впливів.

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є застосування безтраншейних технологій реконструкції трубопроводів. Нормативні вимоги до проєктування та реконструкції зовнішніх мереж встановлено у відповідних будівельних нормах [1-2]. Сучасні технології прокладання інженерних мереж, зокрема горизонтально направлене буріння (ГНБ) та мікротунелювання та фактори, що впливають на технічний стан сталевих трубопроводів, розглянуто у роботі [3 - 5]. Інженерно-геологічні та геодезичні передумови прийняття технологічних рішень наведено у посібнику [6]. Важливість урахування транспортного чинника підтверджується дослідженням [7] , у якому розглянуто економічні втрати, пов’язані із затримками транспортного руху під час виконання робіт на інженерних мережах.

Мета дослідження – проведення аналізу ефективності безтраншейних технологій реконструкції трубопроводів за сукупністю економічних, екологічних, транспортних та організаційно-технологічних критеріїв для обґрунтування вибору раціонального технологічного рішення.

Результати дослідження

Для порівняльного оцінювання ефективності безтраншейних технологій реконструкції трубопроводів розглянуто два варіанти виконання робіт: традиційний траншейний спосіб та

безтраншейний спосіб із застосуванням горизонтально направленого буріння (ГНБ). Порівняння здійснювали за сукупністю трьох груп критеріїв:

- екологічний критерій – обсяги викидів CO_2 від роботи будівельної техніки та міського транспорту;
- транспортний критерій – необхідність перекриття смуг руху, утворення затримок та вплив на функціонування міської транспортної мережі;
- технологічний критерій – обсяг земляних робіт, необхідність руйнування й відновлення дорожнього покриття, особливості організації будівельного майданчика.

Кількісне оцінювання екологічного критерію виконано на основі розрахункових даних на результатах дослідження [5], де за допомогою методики CO_2ver змодельовано викиди CO_2 під час заміни трубопроводу траншейним способом та методом горизонтально направленого буріння (ГНБ). Розрахункова модель передбачала виконання робіт на ділянці завдовжки 1000 м у м. Вінниці з 9:00 до 18:00. Інтенсивність руху становила 3208 легкових автомобілів і 180 одиниць громадського транспорту на добу. Для траншейного способу передбачалося перекриття однієї смуги руху, для безтраншейного – відсутність такого обмеження.

Результати кількісного оцінювання екологічної ефективності показали, що впровадження безтраншейної технології забезпечує скорочення загальних викидів CO_2 на 72,6 % порівняно з траншейним способом. Зокрема, викиди від будівельної техніки зменшуються на 73,4 %, а від міського транспорту – на 68,1 %. При цьому 86,4 % загального скорочення викидів зумовлено зменшенням впливу будівельної техніки, що підтверджує значущість скорочення обсягів земляних робіт і тривалості виконання будівельно-монтажних процесів.

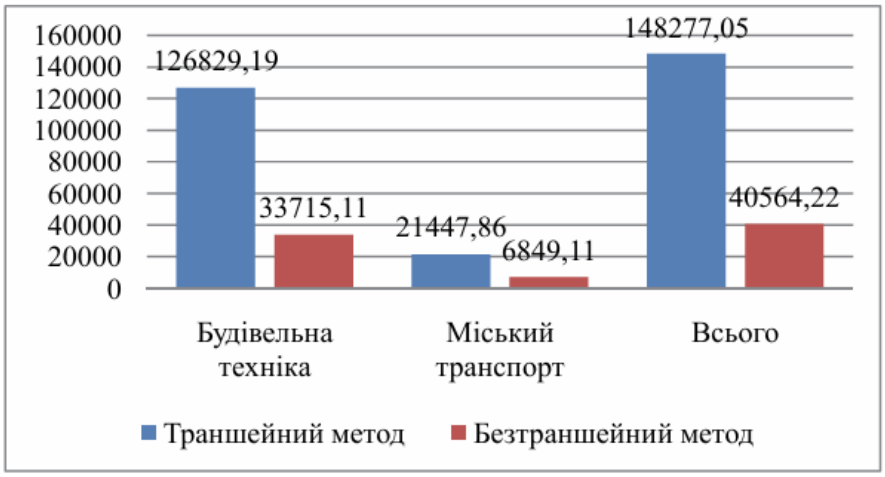


Рисунок 1 – Загальна кількість викидів CO2 для траншейного і безтраншейного методу заміни трубопроводу, мг

Транспортний критерій відображає вплив технології реконструкції на функціонування міської транспортної мережі. За траншейного способу розроблення ґрунту вздовж траси трубопроводу може спричиняти перекриття смуг руху, зміну організації дорожнього руху та утворення затримок транспорту. Як зазначено в дослідженні [7], застосування безтраншейних технологій дає змогу зменшити такі затримки та пов’язані з ними економічні втрати. Використання ГНБ мінімізує розкриття дорожнього покриття, що сприяє зменшенню обмежень руху під час виконання робіт.

Технологічний критерій охоплює обсяги земляних робіт, порушення дорожнього покриття, потребу у відновленні благоустрою та технічні умови виконання реконструкції. Його обґрунтування базується на врахуванні результатів інженерних вишукувань [6], досліджень щодо вибору безтраншейних технологій [9] та рекомендацій щодо контролю й зменшення наслідків розкриття дорожнього покриття [10].

Проведений аналіз свідчить, що застосування безтраншейних технологій під час реконструкції трубопроводів дає змогу зменшити обсяги земляних робіт, порушення дорожнього покриття та вплив будівельно-монтажних процесів на міську транспортну інфраструктуру. На прикладі горизонтально направленого буріння встановлено суттєве скорочення викидів CO_2 порівняно з традиційним траншейним методом. Водночас ефективність застосування безтраншейних технологій залежить від

інженерно-геологічних умов, характеристик трубопроводу та наявності суміжних підземних комунікацій.

Висновки

У результаті проведеного аналізу ефективності реконструкції міських трубопроводів визначено переваги безтраншейних технологій над традиційним траншейним способом за екологічним, транспортним і технологічним критеріями. На прикладі горизонтально направленого буріння встановлено скорочення загальних викидів CO_2 на 72,6 % порівняно з траншейним методом. Основними перевагами ГНБ є зменшення обсягів земляних робіт, порушення дорожнього покриття та обмежень транспортного руху. Вибір технології реконструкції має враховувати інженерно-геологічні умови й технічні характеристики трубопроводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1.
2. . ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1
3. Панкевич В. В., Гуменчук А. Є. Інноваційні технології прокладання інженерних мереж // Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URI: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23222 .
4. Панкевич В. В., Гуменчук А. Є. Аналіз факторів, що впливають на технічний стан сталевих трубопроводів // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)». Вінниця, 15–16 червня 2025 р
5. Потапова Т. Е., Прилипко Т. В., Яворовська О. В. Екологічний аспект застосування безтраншейних методів заміни трубопроводів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2015 С. 61–66.
6. Лялюк О. Г., Балабух Я. А., Панкевич О. Д. Інженерні вишукування. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ., 2026 150 с.
7. Tighe S., Lee T., McKim R., Haas R. Traffic Delay Cost Savings Associated with Trenchless Technology. Journal of Infrastructure Systems. 1999. Vol. 5, No. 2. P. 45–51. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(1999)5:2(45).
8. Matthews J. C., Allouche E. N. The Carbon Footprint: A New Way to Sell Trenchless. Trenchless Technology. 2008.
9. McKim R. A. Selection Method for Trenchless Technologies. Journal of Infrastructure Systems. 1997. Vol. 3, No. 3. P. 119–125. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(1997)3:3(119).
10. Federal Highway Administration. Manual for Controlling and Reducing Pavement Utility Cuts. Washington, DC: FHWA.
11. Karkhanis E., Kaushal V., Thakre G., Najafi M. A Comprehensive Analysis of Environmental Emissions from Trenchless CIPP and Excavation Technologies for Sanitary Sewers. Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 3. Article 1268. DOI: 10.3390/app15031268.

Панкевич Ольга Дмитрівна **–** к.т.н,, доцент кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0001-9319-3435 e-mail: *pankevich@vntu.edu.ua*

Повзун Анастасія Євгеніївна **–** студентка групи 1Б-23б Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, email: povzunnanya@gmail.com. ORCID 0009-0000-8067-9700

Усенко Ярослав Олегович **–** студент групи 1Б-23б факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: yarikmail.working@gmail.com

Olga Pankevych *– Cand. Sc. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Engineering Systems in Construction. Vinnytsia National Technical University* ORCID 0000-0001-9319-3435 *e-mail: pankevich@vntu.edu.ua*

Povzun Anastasiia *– student of group 1B-23b, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:* povzunnanya@gmail.com. ORCID 0009-0000-8067-9700

Usenko Yaroslav *– Student, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: yarikmail.working@gmail.com*