

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)

УДК 624.01

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ
КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРІВ**

Доктори техн. наук Д. Ф. Гончаренко, О. В. Старкова, канд. техн. наук А. І. Алейнікова,
асп. Є. Г. Дегтяр

**THEORETICAL JUSTIFICATION THE CHOICE METHOD OF SEWERAGE
COLLECTORS RESTORATION**

D. Sc. (Tech.) D. Goncharenko, D. Sc. (Tech.) O. Starkova, PhD (Tech.) A. Aleinikova,
postgraduate student Ye. Degtyar

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

***Анотація.** Статтю присвячено теоретичному обґрунтуванню вибору способу відновлення каналізаційних колекторів. Досліджено основні фактори, що впливають на прийняття рішення щодо традиційного відкритого чи закритого (безтраншейного) способу проведення робіт. Визначено пріоритетність застосування способу відновлення каналізаційного колектора відповідно до експлуатаційних умов. Побудовано математичну модель оптимального вибору способу відновлення каналізаційного колектора з урахуванням обмежень, що враховують фактори, які мають найбільший вплив на такий вибір.*

***Ключові слова:** каналізаційний колектор, знос, корозія, відновлення, відкритий спосіб, безтраншейний спосіб.*

***Abstract.** The article is devoted to the theoretical substantiation of the choice of the method of restoration of sewer collectors. The main factors influencing the decision-making on the traditional open or closed (trenchless) method of work are investigated. Thus, the article summarizes the theoretical approach to justify the choice of method of restoration of sewers based on the study of factors influencing the decision in favor of using the traditional open or closed (trenchless) method of work. Based on research of operational practice and the authors identified sixteen main factors that to some extent affect the choice of method of restoration work on the sewer, namely: depth, diameter, length of the site, the presence of underground utilities, the degree of wear (for survey results), pipeline material, the presence of existing adjacent mines at the site of restoration, linearity of the site, the presence of accidental damage at the site of restoration, building density, the possibility of decommissioning (the presence of a backup line), change the load on the collector from wastewater discharge, coverage of the population, technical equipment of the operating enterprise, distance between inspection mines (taking into account the site of restoration). According to them, the priority of application of the open or closed method of restoration is determined based on the technical characteristics of the collector and the conditions of work. The paper contains the determination of the priority of the method of restoration of the sewer according to operating conditions, in addition, a mathematical model of the optimal choice of the method of restoration of the sewer is proposed, taking into account the limitations that take into account the factors most influencing such choice. Further research can develop the mathematical component of*

the choice of rational schemes of restoration work, as well as provide computer support for such a choice.

Keywords: *sewer collector, wear, corrosion, repair, brick.*

Вступ. Діагностика технічного стану розподільчих мереж водовідведення та їх експлуатація понад 40 років свідчить про аварійний стан більшості з них. Сьогодні досвід експлуатації каналізаційних колекторів вказує на неможливість забезпечення їх працездатності та стійкого функціонування без обґрунтування техніко-економічних показників проекту відновлення аварійних ділянок. Динаміка виникнення аварійних ситуацій на каналізаційних колекторах показує, що за останні п'ять років кількість аварійних ситуацій на мережах водовідведення, що було прокладено у 80-90-их роках минулого сторіччя, майже в 5 разів перевищує цей показник у порівнянні з 2014 роком. Останнім часом значна частина аварій припадає на каналізаційні колектори з діаметром понад 800 мм. Також слід виділити складові експлуатації каналізаційних колекторів, адже аварії та відмови в їх роботі призводять до очевидних економічних, екологічних і соціальних наслідків, що є недопустимим в умовах євроінтеграції України в рамках європейських вимог до навколишнього середовища та Водної рамкової директиви Європейського Союзу [1]. Економічна складова забезпечення працездатності каналізаційних колекторів постає особливо гостро в умовах обмежених фінансових ресурсів експлуатуючих підприємств України. Отже, питання обґрунтування доцільності вибору раціонального способу проведення відновлювальних робіт на каналізаційних колекторах за рахунок економії матеріальних ресурсів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує безліч інструментів, моделей та алгоритмів, що допомагають у виборі доцільного способу виконання робіт з відновлення каналізаційних колекторів. Хоча одна з ключових проблем полягає в тому, що

якийсь метод або методика забезпечує опти-мальне рішення лише для однієї ділянки каналізаційного колектора, в той час як умови виконання робіт змінюються вздовж траси ремонту. В роботі [2] представлений алгоритм багатосегментного вибору методу безтраншейної технології для підземних трубопроводів різного призначення. На підставі досвіду експлуатації помічено, що більшість реальних випадків аварійних ситуацій включає кілька ділянок колектора під планове відновлення. Хоча використання різних методів для кожної окремої ділянки є кращим рішенням, воно може виявитися неможливим при ширшому розгляді вартості, якості та часу реалізації відновлення. На сьогодні велике значення має екологічність прийнятих рішень у питанні ефективності застосування способу відновлення каналізаційного колектора. В роботі [3] представлені дослідження щодо екологічної складової відновлення інженерних мереж як відкритим, так і безтраншейним способами. На основі розробленої методики розрахунку порівнюються енергоспоживання та вуглецевий слід зазначених способів в аналогічних умовах їх проведення. Встановлено, що різні безтраншейні технології дозволили в різному ступені знизити споживання енергії та вуглецевий слід у порівнянні з відкритим способом. Однак дослідження показали, що при незначній протяжності і глибині закладення ділянки енергоспоживання та вуглецевий слід безтраншейного способу можуть бути вищими, ніж у відкритого способу. У зв'язку зі зростаючою стурбованістю з приводу глобального потепління та парникових газів існує гостра потреба у кількісній оцінці і зниженні впливу на навколишнє середовище процесу ремонту розподільчих мереж. Авторами зазначено [4], що по суті кожен проєкт відновлення

впливає на навколишнє середовище, для експлуатуючої організації важливо оцінити цей вплив і вжити необхідних заходів, щоб мінімізувати будь-які негативні наслідки. У ході дослідження створено документ, який відображає багаторічні дослідження впливу на навколишнє середовище, де зазначено зростання антропогенного навантаження за останні кілька років [4]. В роботі [5] запропоновано модель вибору технології ремонту з використанням нечіткої логіки. У моделі були сформульовані параметри оцінки обраних пропозицій. Слід зазначити, що ця модель потребує доопрацювання, зважаючи на обмежений спектр показників, у той час як кожен новий випадок індивідуальний і потребує більш вузького рішення. У роботах [6-10] подано сучасні технології ремонту каналізаційних колекторів, зокрема безтраншейні та традиційні. Зазначено [6], що нова технологія Pipe-in Liner має низку переваг за рахунок конструкції нової тканинно-армованої гнучкої пластикової труби (FRFPP). Водночас вартість залишається високою на коротких ділянках відновлення. В роботі [7] представлені технології з руйнуванням існуючого колектора, а також облицювальні методи. Стаття [8] присвячена порівняль-ному аналізу застосування відкритого способу та безтраншейного. В ході дослідження було розглянуто два варіанти: використання конструкційних панелей зі склопластику, з використанням футерування з полімерної труби CIPP. Порівняння швидкості потоку стічних вод у каналізаційному колекторі показало перевагу труби CIPP. Незважаючи на суттєвий доробок вітчизняних та закордонних вчених, актуальним залишається питання теоретичного обґрунтування вибору способу відновлення каналізаційних колекторів залежно від існуючих умов виконання робіт.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є теоретичне обґрунтування вибору способу відновлення каналізаційних колекторів.

Для досягнення мети дослідження поставлені такі завдання:

- дослідити фактори, що впливають на прийняття рішень щодо способу відновлення каналізаційного колектора;

- визначити пріоритетність застосування відкритого та закритого способу відновлення;

- з використанням методу експертного оцінювання виконати ранжування факторів за критерієм їх впливу на вибір способу відновлення каналізаційного колектора на етапі прийняття рішення.

Основна частина дослідження. На підставі досліджень експлуатаційної практики авторами було визначено шістьнадцять основних факторів, що в тій чи іншій мірі впливають на вибір способу проведення відновлювальних робіт на каналізаційному колекторі, а саме: глибина залягання, діаметр, довжина ділянки, наявність підземних інженерних мереж, ступінь зносу (за результатами обстеження), матеріал тру-бопроводу, наявність існуючих прилеглих шахт на ділянці відновлення, лінійність ділянки, наявність аварійного пошкодження на ділянці відновлення, щільність забудови, можливість виведення з експлуатації (наявність дублюючої лінії), зміна навантаження на колектор від скидання стічних вод, місце проведення робіт, охоплення населення, технічна комплектація експлуатуючого підприємства, відстань між оглядовими шахтами (з урахуванням ділянки відновлення). Відповідно до них визначено пріоритетність застосування відкритого чи закритого способу відновлення виходячи до технічної характеристики колектора та умов проведення робіт (табл. 1).

З використанням методу експертного оцінювання фахівцями в галузі каналізаційного господарства виконано ранжування факторів у порядку зростання або зменшення залежно від ступеня їх впливу на вибір способу проведення робіт [11]. При визначенні ступеня впливу експерт давав оцінку (з 1 по 16) кожному з факторів у порядку,

який йому вважається найбільш раціональним, а саме: при присвоєнні оцінки 1 фактор отримує найбільш високий рівень значущості, а оцінка 16 – найменший. Отже, порядкова шкала, що отримується в

результаті ранжирування, має задовольняти умову рівності числа рангів «16» числу ранжируваних факторів «n» [11]. Отримані експертні дані зведено в таблицю рангів (табл. 2).

Таблиця 1

Пріоритетність застосування відкритого та закритого способу відновлення

Фактор (Φ_n)	Спосіб відновлення	
	Відкритий	Закритий
1	2	3
1. Глибина залягання, м		
≤ 3	++	+
3-5	+	+
> 5	+	++
2. Діаметр, мм		
≤ 600	*	*
600 – 1000	*	*
> 1000	*	*
3. Довжина ділянки, м		
≤ 15	++	+
15 – 50	++	+
50 – 150	+	+
> 150	+	++
4. Наявність підземних інженерних мереж		
вузол перетину	–	+
незначна кількість або відсутні	+	+
невідомо	–	+
5. Ступінь зносу (за результатами обстеження)		
висока (провал склепіння, значна корозія, заростання, наявність свищів, тріщини і т. д.)	++	+
середня (наявність корозії, заростання і т. д.)	+	+
низька (поява корозії, одиночні пошкодження)	+	+
6. Матеріал трубопроводу		
залізобетон	*	*
кераміка	*	*
сталь	*	*
поліетилен	*	*
7. Наявність існуючих прилеглих шахт на ділянці відновлення		
так	+	+
ні	+	–
8. Лінійність ділянки		
кути повороту	+	–
лінійна	+	+
9. Наявність аварійного пошкодження на ділянці відновлення		
так	++	+
ні	+	+

10. Щільність забудови		
щільна	–	++
ділянка відновлення за межами міста	++	+

Продовження табл. 1

1	2	3
11. Можливість виведення з експлуатації (наявність дублюючої лінії)		
так	*	*
ні	*	*
12. Зміна навантаження на колектор від скидання стічних вод		
зменшення навантаження	+	+
збільшення навантаження	++	–
13. Місце проведення робіт		
наявність дорожнього покриття, густих зелених насаджень, некапітальних споруд	–	++
відсутність асфальтного покриття, незначні зелені насадження	+	+
14. Охоплення населення, тис. люд		
≤ 5	*	*
5-15	*	*
> 15	*	*
15. Технічна комплектація експлуатуючого підприємства		
повна комплектація	+	++
часткова комплектація	+	+
відсутність необхідного обладнання	+	–
16. Відстань між оглядовими шахтами з урахуванням ділянки відновлення, м		
≤ 50	+	+
50-100	+	+
> 100	+	–

Таблиця 2

Результати опитування експертів у галузі каналізаційного господарства

№ з/п	Експерт					Сума
	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
Ф1	2	1	2	3	3	11
Ф2	14	14	13	16	15	72
Ф3	12	10	11	12	11	56
Ф4	4	4	6	5	4	23
Ф5	7	8	7	7	7	36
Ф6	15	16	14	13	14	72
Ф7	11	12	12	10	12	57
Ф8	8	7	8	9	9	41

Ф9	5	6	4	4	5	24
Ф10	1	2	1	1	2	7
Ф11	13	13	15	15	16	72
Ф12	9	9	9	8	8	43

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Ф13	6	5	5	6	6	28
Ф14	16	15	16	14	13	74
Ф15	3	3	3	2	1	12
Ф16	10	11	10	11	10	52

У результаті аналізу таблиці стандартизованих рангів і проведених розрахунків отримано коефіцієнт множинної рангової конкордації, що дорівнює 0,90, що вказує на високий ступінь узгодженості думок в обраній групі експертів [11].

Діаграму сумарних рангів досліджуваних факторів, що впливають на пріоритетність застосування відкритого та закритого способу відновлення, за результатами експертного оцінювання подано на рисунку.

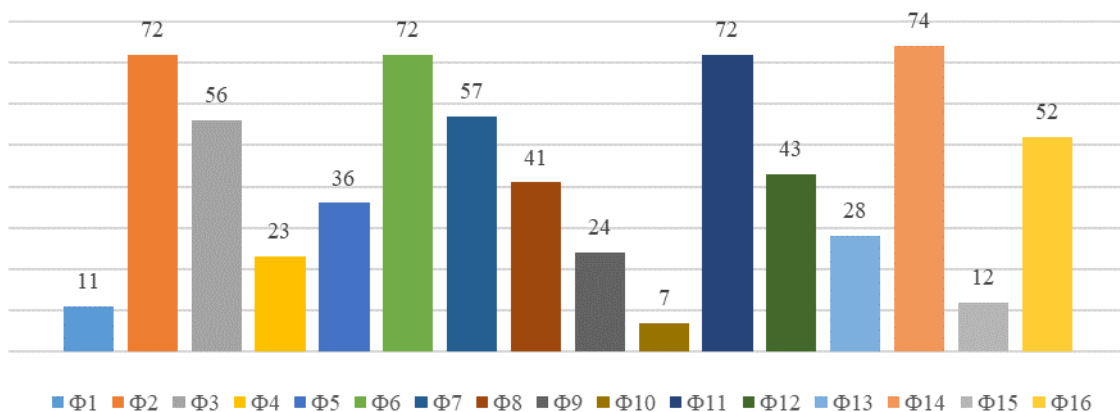


Рис. Діаграма сумарних рангів досліджуваних факторів за результатами експертного оцінювання

За результатом отриманих даних визначено, що фактори Ф10 (щільність забудови), Ф1 (глибина залягання), Ф15 (технічна комплектація експлуатуючого підприємства) мають найбільший вплив на вибір способу відновлення каналізаційного колектора на етапі прийняття технічного рішення.

Отже, відповідно до проведених досліджень пріоритетності використання відкритого чи закритого способу відновлення від заданих умов та

визначення ступеня впливу кожного окремого фактора в подальшому актуальною є побудова моделі визначення доцільності вибору традиційного відкритого чи закритого (безтраншейного) способу відновлення каналізаційного колектора для конкретних заданих умов.

Використовуючи наявний досвід побудови оптимізаційних моделей вибору раціональних схем ремонтно-відновлювальних робіт [10], побудовано математичну модель вибору способу

відновлення каналізаційного колектора з урахуванням обмежень, що враховують фактори, які мають найбільший вплив на такий вибір та відібрані раніше.

За умови вибору вартості комплексу ремонтних робіт як критерію оптимізації, математична постановка задачі має такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^n c_i \cdot l \cdot x_i \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} x_i \in \{0;1\}, & i = \overline{1,n}; \\ \sum_{i=1}^{n_i} x_i = 1; \\ h_i \in H_{i_k}, & k = \overline{1,m}; \\ p_i \in P_{i_r}, & r = \overline{1,s}; \\ z_i \in Z_{i_v}, & v = \overline{1,w}, \end{cases}$$

де i – номер способу ремонту та відновлення; $i = \overline{1, \dots, n}$;

n – кількість способів ремонту;

c_i – вартість комплексу ремонтних робіт (включаючи вартість матеріалів та вартість виконання робіт) для 1 пог. М каналізаційного колектора i -м способом;

l – протяжність ділянки, що ремонтується, м;

x_i – логічна змінна, що відображає факт вибору i -го способу ремонту:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо вибраний } i \text{ – тий спосіб ремонту,} \\ 0, & \text{у протилежному випадку;} \end{cases}$$

h_i – глибина залягання, що має відповідати рекомендаціям H_{i_k} щодо вибору способу відновлення, наданим у табл. 1;

k – кількість інтервалів, в які може потрапити змінна h_i ;

p_i – щільність забудови, що має відповідати рекомендаціям P_{i_r} щодо вибору способу відновлення, наданим у табл. 1;

r – кількість інтервалів, в які може потрапити змінна p_i ;

z_i – технічна комплектація експлуатуючого підприємства, що має відповідати рекомендаціям Z_{i_v} щодо вибору способу відновлення, наданим у табл. 1;

v – кількість інтервалів, в які може потрапити змінна z_i .

Аналогічно можна сформулювати математичну модель оптимізаційної задачі за критерієм мінімальної тривалості комплексу ремонтних робіт.

Висновки. Таким чином, стаття узагальнює теоретичний підхід щодо обґрунтування вибору способу відновлення каналізаційних колекторів на основі дослідження факторів, що впливають на прийняття рішення на користь використання традиційного відкритого чи закритого (безтраншейного) способу проведення робіт. Робота містить визначення пріоритетності застосування способу відновлення каналізаційного колектора відповідно до експлуатаційних умов, крім того, запропоновано математичну модель вибору оптимального способу відновлення каналізаційного колектора з урахуванням обмежень, що враховують фактори, які мають найбільший вплив на такий вибір. Подальші дослідження можуть розвивати математичну складову вибору раціональних схем відновлювальних робіт, а також здійснювати комп'ютерну підтримку такого вибору.

Список використаних джерел

1. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua>.
2. Matthews J. C. Et al. Multi-segment trenchless technology method selection algorithm for buried pipelines. *Tunnelling and underground space technology*, 2018. Vol. 73. P. 295-301.
3. Lu H., Matthews J., Iseley T. How does trenchless technology make pipeline construction greener? A comprehensive carbon footprint and energy consumption analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2020. P.121215.
4. Kaushal V., Najafi M., Serajiantehrani R. Environmental Impacts of Conventional Open-Cut Pipeline Installation and Trenchless Technology Methods: State-of-the-Art Review. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 2020. № 11(2). P.03120001.
5. Zwierzchowska A., Kuliczowska E. The selection of the optimum trenchless pipe laying technology with the use of fuzzy logic. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2019. Vol. 84. P. 487-494.
6. Najafi M., CUIRE U. T. A. North American Society for Trenchless Technology (NASTT) NASTT's 2019 No-Dig Show Chicago, Illinois March, 2019.
7. Tie S. Application of Trenchless Construction Technology in Construction of Water Supply and Drainage in Urban Road Construction. *Urban Transportation & Construction*, 2017. Vol. 3(1). P. 7-13.
8. Tomczak E., Zielińska A. Example of sewerage system rehabilitation using trenchless technology. *Ecological Chemistry and Engineering*, 2017. Vol. 24(3). P. 405-416.
9. Каналізаційні тунелі Харкова: QUO VADIS? / Д. О. Бондаренко, В. В. Булгаков, О. О. Гармаш та ін.; за заг.ред. Д. Ф. Гончаренка. Харків: Раритети України, 2018. 232 с.
10. Методологічні основи подовження експлуатаційного ресурсу підземних інженерних мереж / А. І. Алейнікова, В. М. Волков, Д. Ф. Гончаренко та ін.; за заг.ред. О. В. Старкової. Харків: Раритети України, 2018. 320 с.
11. Метод експертних оцінок. URL: <https://math.semestr.ru/corel/concordance.php>.

Гончаренко Дмитро Федорович, д-р техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (057) 700-02-40. E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua. ORCID iD: 0000-0003-1278-0895.

Старкова Ольга Володимирівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 059-33-41. E-mail: starkova.olha@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-9034-8830.

Алейнікова Алевтина Ігорівна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 291-31-87. E-mail: alevtynaal222@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-2486-4263.

Дегтяр Євгеній Геннадійович, аспірант кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 299-58-79. E-mail: evgeniydegtyar.kh@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-7218-2179.

Goncharenko Dmitriy, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Building Technology, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (KNUCEA). Tel. (057) 700-02-40. E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua. ORCID iD: 0000-0003-1278-0895.

Starkova Olha, D. Sc. (Tech.), Head of Department, Department of Computer Science and Information Technology, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (KNUCEA). Tel.: 066-059-33-41. E-mail: starkova.olha@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-9034-8830.

Aleynikova Alevtyna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Building Technology, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (KNUCEA). Tel. (066) 291-31-87. E-mail: alevtynaal222@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-2486-4263.

Degtyar Yevgeniy., Postgraduate student of Department of building technology, Kharkiv National University of Construction and Architecture (KNUCEA). Tel. (066) 299-58-79. E-mail: evgeniydegtyar.kh@gmail.com.
ORCID iD: 0000-0002-7218-2179.

Статтю прийнято 18.03.2020 р.