

УДК 624.01

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНОГО КОЛЕКТОРА ПРИ ЙОГО РЕМОНТІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

Асп. Є. Г. Дегтяр

CALCULATION OF THE CONSTRUCTION OF THE SEWERAGE COLLECTOR DURING ITS REPAIR AND RESTORATION IN AN OPEN WAY

Postgraduate student Ye. Degtyar

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241047>

Анотація. Значну частину каналізаційних мереж у містах України складають залізобетонні трубопроводи діаметром від 500 до 1500 мм, які залягають на незначній глибині. В багатьох випадках вони транспортують стічні води до очисних споруд через території, вільні від руху транспорту і пішоходів. Ці фактори дають змогу ефективно виконувати ремонтно-відновлювальні роботи відкритим способом. Корозійні процеси, які відбуваються в надводній частині колекторів, призводять до руйнації склепової частини. Лоткова частина колекторів, яка постійно заповнена стічними водами, залишається при цьому незруйнованою. Як показали проведені дослідження, збережена лоткова частина може бути успішно використана як незнімна опалубка і опорний елемент при відновленні склепової частини колектора. При цьому для створення нової склепової частини колектора на місці зруйнованої доцільно використовувати монолітну конструкцію із полімербетону, армованого композитною арматурою. Ці роботи виконуються з використанням пневматичної та інвентарної опалубок. Для впровадження запропонованої конструкції необхідно виконати попередній розрахунок її несучої здатності за умови обпирання на збережену лоткову частину. В результаті цієї роботи можна отримати економію порівняно з використанням для ремонтно-відновлювальних робіт поліетиленових та склопластикових труб потрібного діаметра.

Ключові слова: каналізаційні колектори, корозія, відкритий спосіб ремонту, пневматична опалубка, розрахунок конструкції склепу.

Abstract. A significant part of sewerage networks in cities in the country are reinforced concrete pipelines with a diameter of 500 to 1500 mm, which lie at a small depth. In many cases, they transport wastewater to treatment plants through areas free of traffic and pedestrians. These factors allow you to effectively perform repair and restoration work in an open way. Corrosion processes that occur in the surface part of the collectors lead to the destruction of the basement. The tray part of the collectors, which is constantly filled with wastewater, remains intact. As studies have shown, the preserved tray part can be successfully used as a fixed formwork and support element in the restoration of the basement of the collector. In this case, to create a new basement part of the collector, in place of the destroyed, it is advisable to use a monolithic structure of polymer concrete reinforced with composite reinforcement. These works are performed using pneumatic and inventory formwork. To implement the proposed structure, it is necessary to perform a preliminary calculation of its load-bearing capacity, provided that it rests on the preserved tray part. As a result of this work it is possible to receive economy in comparison with use for repair and restoration works of polyethylene and fiberglass pipes of necessary diameter. During the calculation, a model of the collector was considered, consisting of a preserved tray part of the collector made of concrete class

C12 / 15, the upper part of the collector made of concrete class C20 / 25. The calculation proved the possibility of using polymer concrete structures for repair and restoration of sewers in an open way, provided that the new basement rests on the preserved tray part. The proposed open method allows to significantly reduce the cost of repair and restoration work in comparison with the use of polyethylene and fiberglass pipes.

Keywords: sewer collectors, corrosion, open method of repair, pneumatic formwork, calculation of basement construction.

Вступ. Каналізаційний колектор являє собою інженерну споруду діаметром до 1500 мм, головне призначення якої – забезпечення відведення стічних вод. Складність експлуатації каналізаційних колекторів полягає у тому, що більшість з них перебуває в аварійному стані. Це пов'язано з тим, що понад 80 % колекторів було побудовано більше 50–60 років тому, в той час, коли норми проектування та будівництва не регламентувались. При цьому основною причиною пошкоджень є схильність їх склепової частини до впливу біогенної корозії. Особливої уваги при розгляді проблеми відновлення конструкцій каналізаційних колекторів потребують питання корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, повсюдне використання яких призвело до того, що майже всі колектори на сьогодні перебувають в аварійному стані. Це свідчить про те, що тематика досліджень, присвячених розробленню раціональних методів відновлення каналізаційних колекторів, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування пневматичної опалубки, яка здатна сприймати нормальні зусилля об'ємних зігнутих структур, можна розглядати як високоефективне рішення

задачі ремонту та відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом [1–4].

Заслуговує на увагу публікація австрійських фахівців [1], присвячена використанню пневмоопалубки при формуванні овального перерізу каналізаційного каналу у Відні. Для обпирання пневмоопалубки в заводських умовах додатково виготовлялись лоткові елементи майбутнього каналу із полімербетону. Ці елементи використовувались як «загублена опалубка».

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є розроблення технічних, технологічних та організаційних рішень відновлення каналізаційного колектора відкритим способом.

До основних завдань слід віднести такі:

- розробити організаційно-технологічні рішення відновлення каналізаційного колектора відкритим способом;
- виконати розрахунок напружено-деформованого стану конструкцій каналізаційного колектора, що відновлюється, з використанням методу скінченних елементів.

Основна частина дослідження. В запропонованому автором способі як несучий елемент, замість так званої «загубленої опалубки», служить добре збережена лоткова частина колектора (рис. 1).

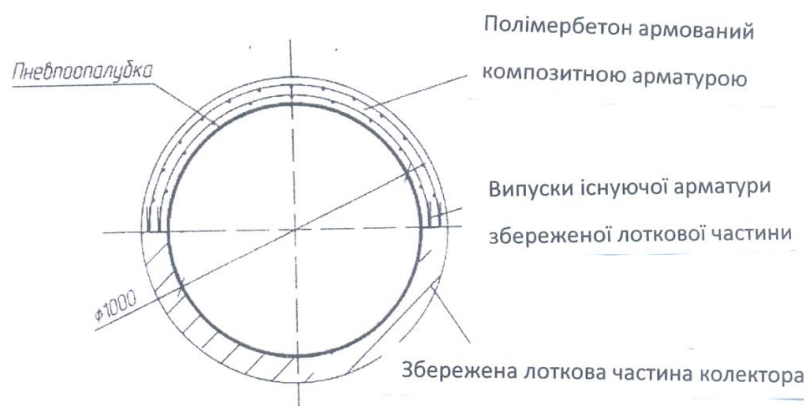


Рис. 1. Схема відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном

При виконанні ремонтно-відновлювальних робіт передбачено таку черговість технологічних процесів (рис. 2).

Основними зовнішніми навантаженнями на колектор є: власна вага колектора;

вага стічної води, якою заповнений колектор; вага земляної засипки; тимчасові навантаження, які діють на поверхню засипки; зусилля від ґрунту, що облягає колектор.



Рис. 2. Послідовність технологічних процесів відновлення каналізаційного колектора

Фрагмент колектора (рис. 1) у нашому випадку виконаний глибиною 6,7 м, шириною – 5,2 м. Довжина фрагмента – 1 м (плоска деформація).

У ході розрахунку було розглянуто модель колектора, що складається зі збереженої лоткової частини колектора, виконаної з бетону класу С12/15, верхньої частини колектора, виконаної з бетону класу С20/25.

Моделювання фрагмента колектора, яке здійснювалося в програмному комплексі Ліра-САПР [5–8], виконано шестивузловими об'ємними КЕ. Розмір КЕ не перевищують 0,1 м. Ґрунт змодельовано за допомогою КЕ-273 «Фізично нелінійний об'ємний КЕ ґрунту у формі тригранної призми».

Прийняті такі характеристики ґрунту:

- модуль деформації ґрунту першого роду по гілці первинного навантаження $E = 1000 \text{ т/м}^2$;

- коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.4$;

- коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по гілці вторинного навантаження $k_e = 1$;

- зчеплення $C = 0.2 \text{ т/м}^2$;

- кут внутрішнього тертя $\varphi = 25^\circ$;

- максимальне напруження стиснення $\sigma = 20 \text{ т/м}^2$;

- питома вага ґрунту $R_0 = 2 \text{ т/м}^3$.

Як навантаження прийнято власну вагу ґрунту, а також рівномірно-розподілене навантаження по поверхні ґрунту 2 т/м^2 .

По периметру стикання з ґрунтом, у вузлах заборонено переміщення уздовж осей X, Y, Z.

Під час розрахунку отримано деформовану схему фрагмента (табл. 1, п. 1). Максимальні значення горизонтальних переміщень X склали 4,7 мм (табл. 1, п. 2). Максимальні значення горизонтальних переміщень Y склали 4,7 мм (табл. 1, п. 3).

Максимальні значення головних напружень N1 склали (-42,7; 965) кН/м^2 (табл. 1, п. 4). Максимальні значення головних напружень N2 склали (-145,7; 223) кН/м^2 (табл. 1, п. 5). Максимальні значення головних напружень N3 склали (-1320; 27,6) кН/м^2 (табл. 1, п. 6).

Перевірка несучої здатності елементів каналізаційного колектора для оболонки системи реалізована з використанням

енергетичного критерію Г. В. Василькова – В. С. Шмуклера, який записано для

матеріалів, що по-різному чинять опір деформаціям стиску, розтягу та зсуву [7]:

$$e_u = 0,5 \chi_\sigma^2 [(1 + \chi_\sigma)e_{uc} + (1 - \chi_\sigma)e_{ut}] + (1 - \chi_\sigma^2)e_{ush}, \quad (1)$$

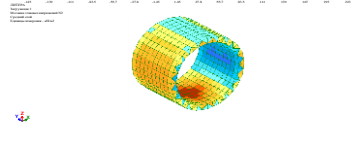
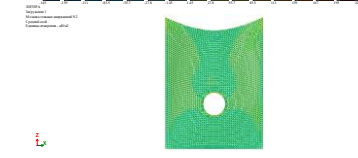
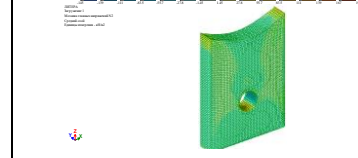
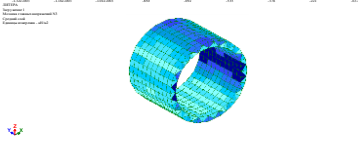
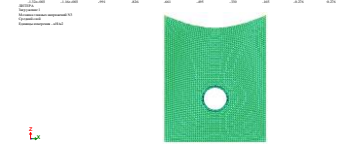
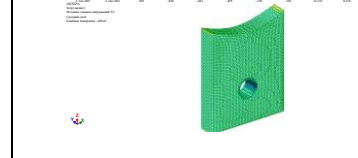
де $\chi_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ – параметр Лоде–Надаї напруженого стану; $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ – головні напруження;

e_u – граничне значення щільності потенційної енергії деформацій (ПЕД);
 e_{uc} , e_{ut} , e_{uch} – окремі граничні значення щільності ПЕД для деформацій стиску, розтягу, зсуву.

Таблиця 1

Оцінка напружено-деформованого стану конструкцій колектора, що відновлюється

№ з/п	Схема розрахунку		
1	2		
	Деформована схема фрагмента		
1	Вертикальне переміщення 	Вертикальне переміщення (вигляд спереду) 	Вертикальне переміщення (аксонометрія)
	Максимальне значення горизонтальних переміщень X		
2	Горизонтальне переміщення вздовж осі X 	Горизонтальне переміщення вздовж осі X (вигляд спереду) 	Горизонтальне переміщення вздовж осі X (аксонометрія)
	Максимальні значення горизонтальних переміщень Y		
3	Горизонтальне переміщення вздовж осі Y 	Горизонтальне переміщення вздовж осі Y (вигляд спереду) 	Горизонтальне переміщення вздовж осі Y (аксонометрія)
	Максимальні значення головних напружень N1		
4	Головні напруження N1 	Головні напруження N1 (вигляд спереду) 	Головні напруження N1 (аксонометрія)

1	2		
	Максимальні значення головних напружень N2		
5	Головні напруження N2 	Головні напруження N2 (вигляд спереду) 	Головні напруження N2 (аксонометрія) 
	Максимальні значення головних напружень N3		
6	Головні напруження N3 	Головні напруження N3 (вигляд спереду) 	Головні напруження N3 (аксонометрія) 

$$e_{uc} = \int_0^{\epsilon_{uc}} \sigma_c(\epsilon_c) d\epsilon_c;$$

$$e_{ut} = \int_0^{\epsilon_{ut}} \sigma_t(\epsilon_t) d\epsilon;$$

$$e_{ush} = \int_0^{\epsilon_{ush}} \tau_c(\gamma) d\gamma;$$

$\sigma_c(\epsilon_c); \sigma_t(\epsilon_t); \tau_c(\gamma)$ – залежності «напруження–деформація», отримані безпосередньо з експериментів. У разі лінійного пружного деформування:

$$e_{uc} = \frac{f_{ck}^2}{2E_0};$$

$$e_{ut} = \frac{f_{ctk}^2}{2E_0};$$

$$e_{ush} = \frac{f_{sk}^2}{2G}; \quad f_{sh} \approx 0,7\sqrt{f_{ck} \cdot f_{ctk}},$$

де E_0 – модуль деформацій 1-го роду (модуль Юнга);

$G = k \cdot E$ – модуль зсуву (2-го роду);

k – емпіричний коефіцієнт;

f_{ck}, f_{ctk}, f_{sh} – характеристичні значення міцності матеріалів на стиск, розтяг, зсув;

$\epsilon_{uc}, \epsilon_{ut}, \epsilon_{ush}$ – гранична деформативність.

Перевірка міцності здійснюється в кожному скінченному елементі за формулою

$$e_i \leq e_{ni}, \quad (2)$$

де $e_{ni} = \gamma \cdot e_{ui}$ – нормоване значення щільності потенційної енергії деформацій;

γ – статистично обґрунтований коефіцієнт надійності. Якщо диференційовано присвоювати різні значення цьому коефіцієнту для бетону оболонки, є можливість управління послідовністю виходу з ладу цього конструктивного елемента;

$$e_i = \frac{1}{2E_0} [\sigma_{1i}^2 + \sigma_{2i}^2 + \sigma_{3i}^2 - 2\mu(\sigma_{1i}\sigma_{2i} + \sigma_{2i}\sigma_{3i} + \sigma_{1i}\sigma_{3i})],$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

i – номер скінченного елемента;

e_i – щільність потенційної енергії деформацій – в i -му скінченних елементів [4].

Перевірка умови (2) для схеми, що розглядається, показала її виконання для всіх скінченних елементів.

Висновки. Проведений розрахунок довів можливість використання конструкцій із полімербетону для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів

відкритим способом за умови спирання нового склепу на збережену лоткову частину. Запропонований відкритий спосіб дає змогу значно зменшити вартість ремонтно-відновлювальних робіт порівняно з використанням поліетиленових та склопластикових труб.

Список використаних джерел

1. Hlozek H., Smetaczek A. Rationeller Kanalbau für Profilkanaäle mit der Pneumoschalung. *Korrespondenz Abwasser*. 2018. Vol. 45 (6). P. 1107-1109.
2. Sobek W. Schalungen aus pneumatisch vorgespannten Membranen. *Zelte, Planen, Markisen*. 1990. Vol 10 (8). P. 13-16.
3. Sobek W. Die Herstellung von Betonschalen auf pneumatisch gestützten Schalungen. *Bauingenieur*. 1991. Vol. 66 (1991). P. 545-550.
4. Gontscharenko D., Ratschkowskij A., Gudilin R., Degtjar E. Renovierung und Wiederherstellung von Abwasserkanalen flacher Verlegung in offenem Verfahren. *Korrespondenz Abwasser*. 2020. Vol. 8. P. 593-597.
5. Розрахунок за інструментарієм LIRA. URL: <http://www.liraland.ru/>.
6. Городецкий А. С., Шмуклер В. С., Бондарев А. В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. 889 с.
7. Rational Design of Structural Building Systems / V. Babaev, Is. Ievzerov, S. Evel, A. Lantoukh- Liashchenko, V. Shevetovsky, O. Shimanovskyi, V. Shmukler, M. Sukhonos. DOM publishers, 2019. 384 p.
8. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механики. Москва: Наука, 1975. 832 с.

Дегтяр Євгеній Геннадійович, аспірант кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 299-58-79. E-mail: evgeniydegtjar.kh@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7218-2179>.

Degtyar Yevgenij, Postgraduate student of Department of building technology Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (066) 299-58-79. E-mail: evgeniydegtjar.kh@gmail.com.

Статтю прийнято 14.01.2021 р.