

Данкевич Н. О., к.т.н., доцент, Добровольська О. Г., к.т.н., доцент, Данкевич С. Ю., магістр (Запорізький національний університет, dankevichnatali28@gmail.com, dankevychsergei2021@gmail.com), dogoks@gmail.com,

АНАЛІЗ СТАНУ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ ТА ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРОЄКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Проаналізовано основні підходи до організації робіт з реконструкції інженерних мереж з використанням сучасних інноваційних методів, визначені етапи розробки проєкту реконструкції мереж. Визначено основні організаційно-технологічні рішення безтраншейного методу прокладки та ремонту інженерних мереж. Наведено порядок розробки проєктно-технологічної документації з урахуванням найбільш ефективних та безпечних методів виконання робіт з мінімізацією працезатрат і збереженням енергоресурсів, розглянуто особливості їх впровадження під час розробки проєктно-технологічної документації. Показано застосування сучасних методів ремонту та відновлення інженерних мереж при розробці проєкту організації будівництва, що забезпечує скорочення термінів виконання робіт, покращення якості, зниження вартості проєкту та підвищує безпеку робіт.

Ключові слова: інженерні мережі; реконструкція; нормативна база; безтраншейні технології.

Реконструкція та відновлення інженерних мереж транспортування води в результаті щоденних пошкоджень критичної інфраструктури та масштабних аварій негативно впливають на місцеве середовище, уражаючи флору, фауну, гідрогеологію ґрунтів та стан фундаментів будівель. Безліч проблем у житлово-комунальному секторі, незалежно від їх масштабу, часто пов'язані зі станом мереж транспортування води. Основними причинами цих проблем є моральний та матеріальний знос трубопроводів, їх обмежений термін служби, що суттєво впливає на надійність інженерних систем. Аналіз стану елементів водопровідних систем в процесі експлуатації та їх вплив на функціонування системи водопостачання залишається предметом досліджень відомих вчених

та фахівців [1; 2]. Підвищення надійності функціонування системи водопостачання може бути досягнуте за допомогою раціональних конструктивних рішень та ефективності її роботи, зокрема, шляхом зниження аварійності трубопроводів та швидкості виконання аварійно-відновлювальних робіт в найкоротші терміни [3], визначення пріоритетності ділянок при їх реконструкції з урахуванням вузлових тисків [4]. Тому традиційні методи ремонту та відновлення таких систем не розв'язують проблеми. Протягом останніх років будівельні компанії у мегаполісах різних країн все більше звертають увагу на використання передових безтраншейних технологій для ремонту, відновлення та будівництва інженерних мереж транспортування води. Це інноваційний метод безшовної реабілітації підземних труб, який використовує вакуумне перенесення смоли разом із прес-формою скловолоконної тканини [5], застосування вкладок на полімерній основі для запобігання втратам води та корозії [6], технологія полімерного цементування на основі двокомпонентного спіненого поліуретанового полімерного матеріалу [7].

Основною перевагою безтраншейного методу прокладання трубопроводу є можливість виконання робіт за умови, коли традиційні методи розробки траншеї неможливі, а також збереження родючого шару ґрунту та асфальтового покриття без використання спеціальних конструкцій для кріплення стінок траншей. Тому застосування безтраншейних методів під час реконструкції інженерних мереж слід розглядати у поєднанні з сучасними методами скорочення часу виконання робіт та витрат людських ресурсів, що підвищує рівень безпеки на робочому місці.

Метою роботи є визначення найбільш ефективних та безпечних методів виконання робіт з реновації інженерних мереж з мінімізацією працезатрат та збереженням енергоресурсів та їх впровадження під час розробки проєктно-технологічної документації.

Питання реконструкції, реновації, модернізації інженерних мереж та пошуку ефективних технологічних рішень для їх використання в ремонтно-відновлювальних роботах досліджували багато вітчизняних і закордонних вчених (Ткачук О.А., Сердюк Р.В., Гончаренко Д.Ф., Новохатній В.Г., Герцен В.К. та інші) [1; 2; 6; 8; 9; 10]. Всі ці наукові дослідження мають прикладний аспект при розробці проєктно-технологічної документації.

Для досягнення заданої мети було досліджено робочий проєкт на реконструкцію аварійної ділянки другої лінії водоводу, який

з'єднає помпові станції другого та третього підйому, розташовані в Запорізькому регіоні.

Відповідно до [11] проєкт організації будівництва – це вид проєктно-технічної документації, яка містить загальні рішення з організації будівництва, що є підставою для розподілу фінансування і матеріально-технічного забезпечення [1]. Розробка проєкту організації будівництва базується на дотриманні вимог нормативних документів, передовому досвіді й новітніх досягненнях у будівельній галузі з урахуванням суміщення в часі виконання робіт поточними методами.

Для реконструкції аварійної ділянки передбачено виконання робіт в такій послідовності: санація водопроводу полімерним рукавом діаметром $D=1000$ мм, довжиною $L=149,0$ м; прокладання частини водопроводу трубами діаметром $D=800$ мм в траншеї загальною довжиною $L=6,0$ м; будівництво трьох водопровідних камер.

Протягом підготовчого періоду виконуються наступні роботи: огороження будівельного майданчика [12, п. 2.2]; встановлення тимчасових пересувних будівель та споруд; забезпечення будівельних майданчиків водою та електроенергією; заходи з організації відводу дощових вод з нагірних ділянок; встановлення біологічних туалетів.

На рис. 1 показана схема виконання робіт. До початку потрібно влаштувати водопровідні колодязі ВК1 та ВК2, які споруджуються відкритим способом в котловані. Котлован розробляється з природними укосами 1:1, розробка ґрунту при цьому здійснюється екскаватором та з доробкою вручну. В міру розробки ґрунту демонтується водопровідна камера. Розроблений ґрунт використовується для зворотної засипки траншеї після монтажу нової камери.

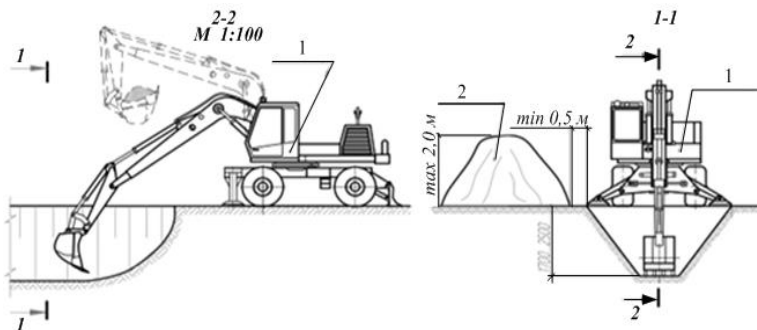


Рис. 1. Схема виконання робіт автомобільним краном типу КС-35715 в/п=16 т: 1 – екскаватор; 2 – відвал ґрунту

Організація робіт з реконструкції аварійної ділянки із застосуванням полімерного рукава є одним з найбільш ефективних способів безтраншейного ремонту. В процесі реконструкції, який являє собою систему підготовки до виконання окремих технологічних операцій, що регламентуються державними будівельними нормами та стандартами, встановлюються та забезпечуються послідовність, строки виконання робіт, постачання всіх необхідних ресурсів для забезпечення ефективності та якості їх виконання. Тому найважливіший етап з розробки проєкту організації будівництва розпочинається тільки після визначення та обґрунтування організаційних, технічних, технологічних та економічних рішень, які відображаються в проєктно-технологічній документації.

Схема санації водопроводу із застосуванням полімерного рукава показана на рис. 2.

Очищення внутрішньої поверхні виконується за допомогою гідравлічної промивки трубопроводу установкою високого тиску (рис. 1, фрагмент А). В трубопровід запускається інжектор, який під дією реактивної сили води, що виходить з нього під тиском, просувається вперед. Таким чином відбувається рівномірне очищення всіх відкладень на внутрішній поверхні трубопроводу, які потоком води вимиваються з нього в спеціальну камеру. Одночасно з цим вода з камери відкачується муловими помпами. Після промивки поверхня труби осушується (рис. 1, фрагмент Б) та виконується телеінспекція внутрішньої поверхні водопроводу. Після проведення телеінспекції в трубопровід затягується поліетиленова плівка, яка слугує напрямною для полімерного рукава та зменшує тертя рукава по внутрішній поверхні водопроводу (рис. 1, фрагмент В). Краї плівки, що виходять в камерах, фіксують на поверхні трубопроводу для запобігання стягування її рукавом з лоткової частини труби.

Санація водопроводу виконується на ділянках, розташованих між камерами. На одній камері (стартовій) влаштовується полімерний рукав та обладнання для його полімеризації. На іншій камері (приймальній) влаштовується електролебідка. За допомогою лебідки полімерний рукав затягується в трубопровід (рис. 1, фрагмент Д). Потім на кінцях рукава в обох камерах влаштовуються пакери, через які нагнітається тиск з компресорної станції та контролюється його значення. Потім в середину рукава заводять ультрафіолетові лампи («гірлянди»). Полімеризація рукава здійснюється із застосуванням ультрафіолетового випромінювання

при робочому тиску з поступовим протягуванням джерела випромінювання (рис. 1, фрагмент Е).

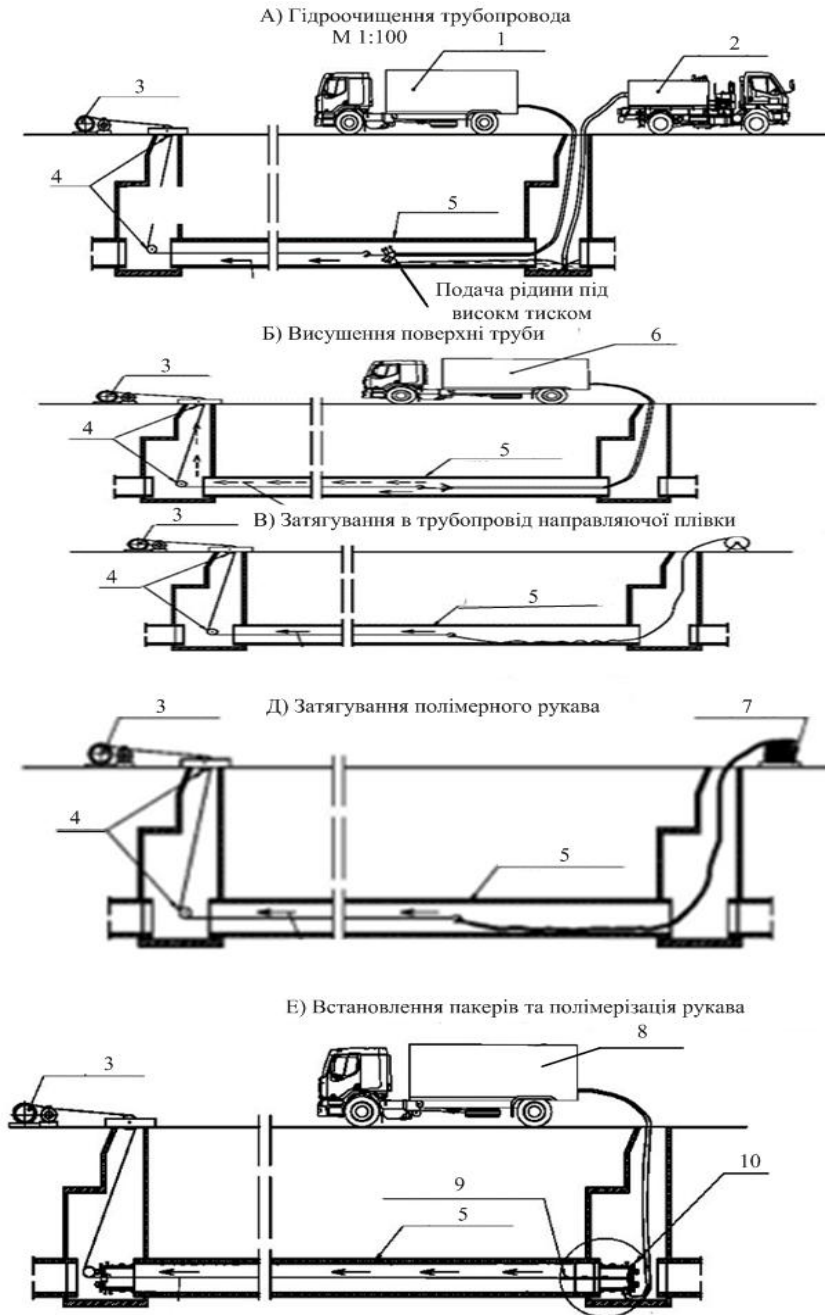


Рис. 2. Схема санації полімерним рукавом: 1 – гідроочисна машина; 2 – поглинач мулу; 3 – електрична лебідка; 4 – блок; 5 – водопровід діаметром $D=1000$ мм; 6 – компресор; 7 – полімерний рукав; 8 – робоча станція для полімеризації рукава; 9 – ультрафіолетова лампа; 10 – пакери

Будівництво шурфів виконується гірничопрохідницьким способом в дерево-металевому кріпленні. Проходка виконується за наступною технологією:

- 1 етап – влаштування опорної рами на поверхні землі;
- 2 етап – проходка першого ярусу, влаштування обв'язувального поясу (рами), заведення дерев'яного дощаного кріплення розміром 200×50 мм, довжиною $L=1,5$ м;
- 3 етап – проходка шурфа поярусно до проєктної відмітки.

Розробка ґрунту у шурфі виконується вручну, окремими захватами, кратними відстані (кроку) кріплення шурфа. Ґрунт розробляється в напрямку від центру шурфа до його країв. Кріпильні рами підвішуються до конструкції опорної рами. Підйом ґрунту здійснюється баддями, що чіпляються на гак крана. Подавання матеріалів у шурф проводиться цим же краном у баддях, або за допомогою спеціальних захватів. В міру розробки ґрунту шурфа поступово демонтується наявна водопровідна камера.

Відповідно до [11, додаток К] на основі розроблених організаційно-технологічних рішень розробляється будівельний план (рис. 3), відповідно до [13, п. 4.2, п. 4.3] розраховується тривалість виконання робіт, визначається потреба в кадрах будівельників, транспортних засобах та основних будівельних дорожніх машинах і механізмах, об'єми тимчасового водопостачання та електропостачання, способи й порядок збирання відходів, заходи щодо охорони праці, оцінка впливу на навколишнього середовища в процесі будівництва.

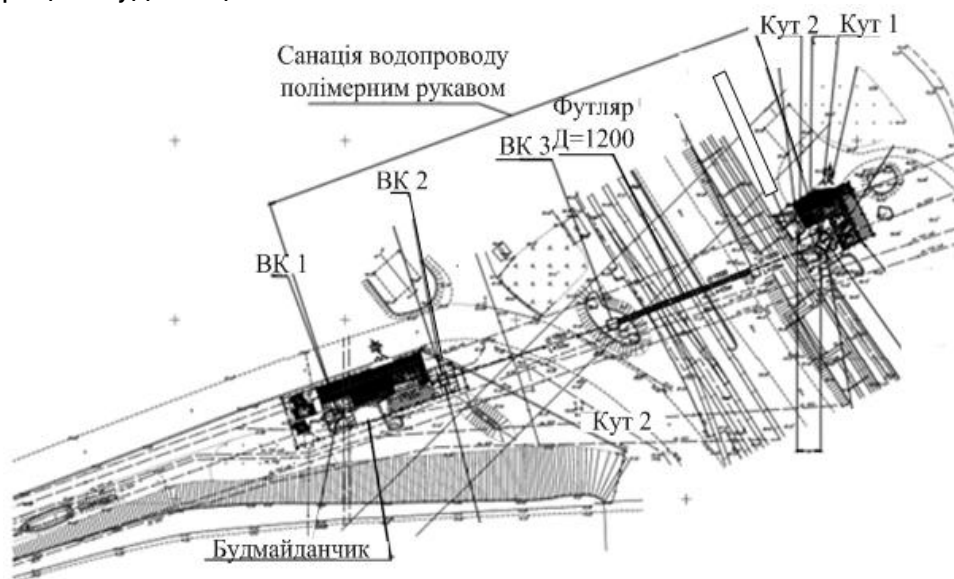


Рис. 3. Будівельний план

Розв'язання проблеми реконструкції інженерних мереж традиційними методами на сучасному етапі розвитку та відновлення міст і селищ в Україні, завдання з їхньої трансформації стає складним у виконанні через високі витрати та зазвичай, практично недосяжним. Застосування інноваційних методів для розробки проєктно-технологічної документації істотно скорочує час на підготовчі роботи та узгодження перекриття руху на ділянці, що ремонтується; фінансові витрати на відновлення трубопроводу полімерним рукавом знижуються приблизно на третину в порівнянні з традиційними способами ремонту, суттєво скорочується термін відновлення пошкодженої ділянки трубопроводу, не відбувається руйнування ні природного ландшафту, ні наземних комунікацій, як це буває під час ремонту відкритим способом із застосуванням важкої техніки.

1. Tkachuk O. A., Novytska O. S. Reconstruction and modernization of urban water networks. *Water Supply and Wastewater Removal*. Lublin : Lublin University of Technology, 2016. P. 205–216. URL: https://bc.pollub.pl/Content/12819/PDF/water_suply.pdf. (дата звернення: 10.07.2024).
2. Ткачук О. А. Гідравлічні розрахунки трубопровідних систем водопостачання та водовідведення : монографія. Рівне : НУВГП, 2022. 183 с.
3. Ткачук О. А., Шевчук А. Ю. Визначення показників функціональної надійності споруд водопостачання. *Науковий вісник будівництва*. Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2019. Вип. 3(97). С. 126–134. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/416/406>. (дата звернення: 10.07.2024).
4. Добровольська О. Г., Чудновський П. Б. Застосування ефективних технологій відновлення мереж транспортування води у післявоєнний період. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2023. № 19. С. 58–67. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/1077/1011>. (дата звернення: 10.07.2024).
5. Chin Woo Seok, Lee Dai Gil. Development of the trenchless rehabilitation process for underground pipes based on RTM. *Composite Structures*. Vol. 68, Issue 3. P. 267–283. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822304000765?via%3Dihub>. (дата звернення: 10.07.2024).
6. Goertzen W. K., Kessler M. R. Dynamic mechanical analysis of carbon/epoxy composites for structural pipeline repair. *Composites Part B: Engineering*. 2007. Vol. 38. Issue 1. P. 1–9. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836806000825?via%3Dihub>. (дата звернення: 10.07.2024).
7. Fang Hongyuan, Su Zhan, Li Xinxin, Wang Fuming, Fu Yingchun. Interfacial bond performance between self-expansion polymer and concrete. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 270. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820334632?via%3Dihub> (дата звернення: 10.07.2024).
8. Сердюк В. Р., Косаківський О. В.

Забудова підземного простору сучасних міст для поліпшення стану довкілля. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. № 2. С. 14–24. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/3005/278> (дата звернення: 10.07.2024). **19.** Гончаренко Д. Ф., Галушко П. Г., Сорокін Б. С., Бондаренко Д. О. Розрахунок несучих елементів кріплення для ремонтно-відновлювальних робіт на мережах водовідведення в складних геологічних умовах. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 143. С. 145–154. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/RASCET_NESUSIH_ELEMENTOV_KREPI_DLA_PROIZVODSTVA_RE.pdf (дата звернення: 10.07.2024). **10.** Новохатній В. Г., Усенко В. Г., Матяш О. В., Садовий С. М. Вдосконалення магістральної водопровідної мережі середнього міста. *Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб.* Вип. 170. Том 3. Харків : ХНУМГ, 2022. С. 286–290. **11.** ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 49 с. URL: <https://tehnadzor.cc/pages/dbn-a-3-1-5-2016-organizaciya-budivelnogo-virobnictva.php> (дата звернення: 10.07.2024). **12.** ДСТУ Б В.2.8-43:2011. Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. 12 с. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/ogorodzhennya_inventarni_budivel-3-477164.pdf (дата звернення: 10.07.2024). **13.** ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. 34 с. URL: https://ukrstone.org/files/DSTU/DSTU_B_A.3.1.22_2013.pdf (дата звернення: 10.07.2024).

REFERENCES:

1. Tkachuk O. A., Novytska O. S. Reconstruction and modernization of urban water networks. *Water Supply and Wastewater Removal*. Lublin : Lublin University of Technology, 2016. R. 205–216. URL: https://bc.pollub.pl/Content/12819/PDF/water_suply.pdf. (data zvernennia: 10.07.2024). **2.** Tkachuk O. A. Hidravlichni rozrakhunky truboprovodnykh system vodopostachannia ta vodovidvedennia : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2022. 183 s. **3.** Tkachuk O. A., Shevchuk A. Yu. Vyznachennia pokaznykiv funktsionalnoi nadiinosti sporud vodopostachannia. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv : KhNUBA, KhOTV ABU, 2019. Vyp. 3(97). S. 126–134. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/416/406>. (data zvernennia: 10.07.2024). **4.** Dobrovolska O. H., Chudnovskyi P. B. Zastosuvannia efektyvnykh tekhnolohii vidnovlennia merezh transportuvannia vody u pisliavoiennyi period. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. 2023. № 19. S. 58–67. URL: 28

<https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/1077/1011>. (data zvernennia: 10.07.2024). **5.** Chin Woo Seok, Lee Dai Gil. Development of the trenchless rehabilitation process for underground pipes based on RTM. *Composite Structures*. Vol. 68, Issue 3. P. 267–283. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822304000765?via%3Dihub>. (data zvernennia: 10.07.2024). **6.** Goertzen W. K., Kessler M. R. Dynamic mechanical analysis of carbon/epoxy composites for structural pipeline repair. *Composites Part B: Engineering*. 2007. Vol. 38. Issue 1. P. 1–9. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836806000825?via%3Dihub>. (data zvernennia: 10.07.2024). **7.** Fang Hongyuan, Su Zhan, Li Xinxin, Wang Fuming, Fu Yingchun. Interfacial bond performance between self-expansion polymer and concrete. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 270. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820334632?via%3Dihub> (data zvernennia: 10.07.2024). **8.** Serdiuk V. R., Kosakivskiy O. V. Zabudova pidzemnoho prostoru suchasnykh mist dlia polipshennia stanu dovkillia. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 2024. № 2. S. 14–24. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/3005/278> (data zvernennia: 10.07.2024). **19.** Honcharenko D. F., Halushko P. H., Sorokin B. S., Bondarenko D. O. Rozrakhunok nesuchykh elementiv kriplennia dlia remontno-vidnovliuvalnykh robit na merezhakh vodovidvedennia v skladnykh heolohichnykh umovakh. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*. 2014. Vyp. 143. S. 145–154. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/RASCET_NESUSIH_ELEMENTOV_KREPI_DLA_PROIZVODSTVA_RE.pdf (data zvernennia: 10.07.2024). **10.** Novokhatnii V. H., Usenko V. H., Matiash O. V., Sadovyi S. M. Vdoskonalennia mahistralnoi vodoprovodnoi merezhi serednoho mista. *Komunalne hospodarstvo mist* : nauk.-tekhn. zb. Vyp. 170. Tom 3. Kharkiv : KhNUMH, 2022. S. 286–290. **11.** DBN A.3.1-5:2016. Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2016. 49 s. URL: <https://tehnadzor.cc/pages/dbn-a-3-1-5-2016-organizaciya-budivelnogo-virobnictva.php> (data zvernennia: 10.07.2024). **12.** DSTU B V.2.8-43:2011. Ohorodzhennia inventarni budivelnykh maidanchykyv ta dilianok vykonannia budivelno-montazhnykh robit. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2012. 12 s. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/ogorodzhennya_inventarni_budivel-3-477164.pdf (data zvernennia: 10.07.2024). **13.** DSTU B A.3.1-22:2013. Vyznachennia tryvalosti budivnytstva obektiv. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2014. 34 s. URL: https://ukrstone.org/files/DSTU/DSTU_B_A.3.1.22_2013.pdf (data zvernennia: 10.07.2024).

Dankevych N. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Dobrovolska O. H., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Dankevych S. Yu., Master (Zaporizhzhia National University)

ANALYSIS OF THE STATE OF ENGINEERING NETWORKS AND THE USE OF MODERN TECHNOLOGIES FOR THEIR RECONSTRUCTION IN THE DEVELOPMENT OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION

The main approaches to the reconstruction of engineering networks using modern innovative methods are considered, the stages of the development of the network reconstruction project are determined. The urgency of reconstruction and restoration of engineering networks is explained by daily damage to critical infrastructure and large-scale accidents on networks. In such conditions, shortening the duration of emergency restoration works significantly increases the reliability of water supply.

The purpose of the work is to determine the most effective and safe methods of performing work on the renovation of engineering networks, which reduce labor costs and save energy resources, and their implementation during the development of project and technological documentation. For the reconstruction of the accident site, it is planned to carry out works in the following sequence: rehabilitation of the water pipe with a polymer sleeve with a diameter of $D=1000$ mm, length $L=149.0$ m; laying part of the water pipeline with pipes with a diameter of $D=800$ mm in a trench with a total length of $L=6.0$ m; construction of three water chambers.

The main organizational and technological solutions of the trenchless method of laying and repairing engineering networks with the use of a polymer sleeve were determined: a) hydraulic flushing of the pipeline with a high-pressure installation; b) teleinspection of the water pipe surface; c) tightening the polyethylene film, which reduces the friction of the sleeve on the inner surface of the water pipe; d) tightening of the polymer sleeve; e) polymerization of the sleeve, which is carried out using ultraviolet radiation.

The use of innovative methods for the development of design and technological documentation significantly reduces the time for preparatory work and coordination of traffic closures in the area being repaired; financial costs for pipeline restoration with a polymer sleeve are reduced by a third compared to traditional repair methods.

Keywords: engineering networks; reconstruction; regulatory framework; trenchless technologies.