

Энергосбережение и энергоэффективность

УДК 628.144

© В. А. Орлов, д-р техн. наук, профессор
© С. П. Зоткин, канд. техн. наук, профессор
© А. И. Питель, аспирант
© М. А. Большакова, аспирант
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация)
E-mail: orlov950@yandex.ru, zotkinsp@mgsu.ru,
nasya.pitel.2000@mail.ru, haritonova_mariy@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-1-85-91

© V. A. Orlov, Dr. Sci. Tech., Professor
© S. P. Zotkin, PhD in Sci. Tech., Professor
© A. I. Pitel, post-graduate student
© M. A. Bolshakova, post-graduate student
(Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
Moscow, Russian Federation)
E-mail: orlov950@yandex.ru, zotkinsp@mgsu.ru,
nasya.pitel.2000@mail.ru, haritonova_mariy@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ ВОДЫ ПО НАПОРНОМУ ТРУБОПРОВОДУ ПРИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДАХ ЕГО РЕМОНТА

POSSIBILITIES OF ENERGY SAVING FOR TRANSPORTING WATER BY PRESSURE PIPELINE WITH ALTERNATIVE METHODS OF ITS REPAIR

Рассмотрены вопросы эффективности проведения работ по ремонту ветхих стальных напорных трубопроводов с помощью альтернативных бестраншейных технологий для определения наиболее эффективного варианта, обеспечивающего минимальные затраты электроэнергии при транспортировке воды. Рассмотрены четыре способа восстановления трубопровода: протягивание в него полимерной трубы, гибкого полимерного рукава, использование напыляемых покрытий Subcote FLP и Scotchkote 169HB. Представлены результаты расчетно-аналитических исследований по оценке экономии энергозатрат при транспортировке воды в период эксплуатации трубопровода после его реконструкции указанными методами, а также результаты поисковых исследований с помощью автоматизированных комплексов по возможности экономии электроэнергии в условиях изменения температуры транспортируемой воды.

Ключевые слова: напорные трубопроводы, реконструкция, бестраншейные методы, защитные покрытия, энергосбережение.

The paper considers the issues of work efficiency on repair of dilapidated steel pressure pipelines by alternative trenchless technologies in order to determine the most effective option providing minimum energy costs during water transportation. The authors analyze four methods of pipeline rehabilitation: pulling a polymer pipe into the pipeline, using a flexible polymer sleeve, using SubcoteFLP and Scotchkote 169HB sprayed coatings. The results of calculation and analytical studies on the assessment of energy savings during water transportation when operating the pipeline after its reconstruction by the specified methods are presented as well as the results of exploratory studies on the possibility of energy saving in conditions of changing the temperature of the transported water using automated complexes.

Keywords: pressure pipelines, reconstruction, trenchless methods, protective coatings, energy saving.

Введение

Значительный износ эксплуатируемых длительное время трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения городов и населенных пунктов требует активизации

проведения работ по их оперативной реновации и модернизации. К рекомендуемым методам эффективного восстановления ветхих инженерных сетей относят современные бестраншейные технологии, которые

позволяют не только нейтрализовать негативные процессы старения трубопроводов из-за электрохимической и биологической коррозии и других дефектов, но и обеспечить требуемый уровень несущей способности трубопроводных сетей и исключить утечки [1–3]. Также на повестке дня должны стоять актуальные вопросы надежности восстанавливаемого трубопровода, т. е. обеспечения ресурсо- и энергосбережения при транспортировке воды на длительный период времени [4–6].

Благодаря оперативно проводимым ремонтно-восстановительным работам с использованием бестраншейных технологий продлевается срок службы трубопроводного транспорта, а для напорных трубопроводов создаются дополнительные гарантии эффективного снижения энергозатрат на транспортировку жидкостей. Широкое использование бестраншейных технологий строительства и восстановления трубопроводов позволяет минимизировать возникающие риски от ущербов (экологического, социального и материального характера), повышая при этом надежность работы инженерных сетей и удешевляя их ремонт [7].

В бестраншейном ремонте используются материалы, которые выступают в роли защитных покрытий, наносимых на внутреннюю поверхность ветхих трубопроводных сетей, и которые классифицируют как набрызговые (напыляемые), сплошные в виде труб или полимерных рукавов, навивочные (намоточные) и местные (бандажи и т. д.) [8–11].

Необходимо отметить, что при применении различного типа внутренних защитных покрытий важно следить за возможным изменением санитарно-гигиенического состояния трубопроводов, где в первую очередь учитывать динамику изменения химического состава покрытий вследствие присутствия в воде дезинфектантов (например, хлора или его производных), которые при длительной

эксплуатации сетей могут оказывать негативное воздействие на внутренние стенки труб, что также может отразиться и на органолептических показателях транспортируемой воды.

В задачи проводимых исследований входило ознакомление с некоторыми перспективными типами внутренних защитных покрытий, позволяющих оперативно и экономично восстанавливать напорные трубопроводы, а также оценка эффективности энергосбережения с их использованием при транспортировке воды в напорных сетях [12].

Материалы и методы

Методом исследований является расчетно-аналитический анализ эффективности использования альтернативных внутренних защитных покрытий для проведения ремонтно-восстановительных работ на ветхих напорных трубопроводных сетях с оценкой достижения ресурсо- и энергосбережения при транспортировке воды по восстановленным напорным коммуникациям соответствующего материала изготовления, диаметра и протяженности.

В работе использованы результаты автоматизированных расчетов, полученных с применением разработанных авторами информационно-поисковых систем, в основе алгоритмов которых заложены формулы для определения искомым гидравлических параметров и экономии электроэнергии ΔE (1) [13], а также оценки потребления электроэнергии E при изменении температуры транспортируемой среды (2) [14]:

$$\Delta E = (9,81Q^3l(A_c - A_n)/\eta_n) \times 24 \cdot 365, \text{ кВт} \cdot \text{ч в год}, \quad (1)$$

где Q — расход воды, м³/с; l — протяженность трубопровода, м; A_c и A_n — соответственно удельные сопротивления старого и нового трубопроводов, с⁶/м²; η_n — КПД насосной установки; 24 и 365 — соответственно количество часов работы насосной установки и дней в году.

$$E = 0,81Q^3\lambda \cdot 24 \times \times 365/(d^5\eta_n), \text{ кВт} \cdot \text{ч в год}, \quad (2)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения, зависящий от температуры транспортирующей жидкости (определяемый на базе расчета соотношений динамической и кинематической вязкостей, значений числа Рейнольдса [15]); d — внутренний диаметр восстановленного трубопровода, м.

Работа состояла из анализа и интерпретации результатов так называемых базовых исследований и поисковых экспериментов.

В задачи базовых исследований входило определение наиболее эффективного ремонтного покрытия для ветхого стального трубопровода (протяженностью $l = 800$ мм и внутренним диаметром $d = 300$ мм), позволяющего обеспечить ресурсо- и энергосбережение после проведения восстановительных работ. Расход транспортируемой воды составлял $Q = 0,076$ м³/с, коэффициент полезного действия насосной установки $\eta_n = 0,9$.

В качестве исследуемых ремонтных материалов для бестраншейного восстановления трубопровода рассматривались следующие:

- полиэтиленовая труба ПЭ 100 наружным диаметром 280 и внутренним 268,8 мм (при толщине стенки трубы 5,6 мм), что соответствует показателю $SDR 50$ (т. е. величине отношения наружного диаметра трубы к толщине ее стенки) [16];

- полимерный рукав толщиной стенки 5 мм, которая определялась из условий применения рукава из полимерных волокон для трубопровода, залегающего на глубине 2 м от уровня грунтовых вод относительно лотковой части трубопровода 2,0 м, и с показателями по модулю эластичности рукава 1400 Н/мм² и предела прочности при изгибе 50 Н/мм² [1, 17–19];

- напыляемое покрытие *Subcote FLP* толщиной слоя 4 мм в виде быстро застывающей при разбрызгивании на внутреннюю поверхность трубопровода полиуретановой смолы;

- напыляемое покрытие *Scotchkote 169NB* толщиной слоя 3 мм в виде нерастворимого алифатического изоцианатного полиуретана, быстро застывающего при разбрызгивании на внутреннюю поверхность трубопровода.

Оба напыляемых покрытия имеют экспертное заключение о соответствии продукции «Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям» к товарам, что позволяет использовать покрытия в качестве ремонтного материала, наносимого на внутреннюю поверхность трубопроводов в системах хозяйственно-питьевого назначения.

Величины коэффициентов удельного сопротивления A (с⁶/м²) для стальной трубы (ST) и альтернативных защитных покрытий из полиэтиленовой трубы (PE), полимерного рукава (PR), напыляемых покрытий *Subcote* (ST) и *Scotchkote* (SC) составляют следующие значения: $A_{ST} = 0,0017d^{-5,1359}$, $A_{PE} = 0,0004d^{-5,7276}$, $A_{PR} = 0,0007d^{-5,2791}$, $A_{ST} = 0,0008d^{-5,1883}$ и $A_{SC} = 0,00095d^{-5,19}$.

Целью поисковых экспериментов являлся анализ динамики изменения потребления электроэнергии E (тыс. кВт · ч в год) при транспортировке воды в зависимости от ее температуры в диапазоне 12–30 °С (с шагом 3 °С). При этом в задачи исследований входило определение наиболее приемлемого варианта реновации, обеспечивающего эффект энергосбережения при возможном изменении температуры транспортируемой воды, т. е. использования результатов в перспективе для ремонта трубопроводов горячего водоснабжения. В качестве исходных параметров рассматривались аналогичные данные по ветхому стальному трубопроводу диаметром 300 мм и перечню указанных выше альтернативных защитных покрытий.

Результаты исследования

В результате расчетов по формуле (1) с использованием автоматизированной программы получены искомые параметры, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные величины экономии электроэнергии ΔE при использовании альтернативных защитных покрытий для ремонта стального трубопровода диаметром 300 мм

Материалы защитных ремонтных покрытий				
Наименование защитных покрытий	Полиэтиленовая труба (PE)	Полимерный рукав (PR)	Scotchkote (SC)	Subcote (ST)
Экономия электроэнергии ΔE , тыс. кВт · ч в год	2,337	11,462	12,249	11,662

Как свидетельствуют расчетные данные табл. 1, наибольший эффект экономии электроэнергии для ремонта старого стального трубопровода достигается при использовании набрызгиваемого покрытия *Scotchkote* (12,249 тыс. кВт · ч в год). Применение для ремонта полимерного рукава и набрызгиваемого покрытия *Subcote* позволяет достичь экономии электроэнергии более 11 тыс. кВт · ч в год.

Меньший эффект достигается при использовании в период ремонта трубопровода технологии протаскивания в него полимерной трубы (2,337 тыс. кВт · ч в год). Тем не менее, в данном случае даже при значительном сужении проходного сечения (с 300 до 268 мм) возможна экономия энергозатрат на транспортировку воды за счет снижения коэффициента гидравлического трения, следовательно, данная технология также может рассматриваться как конкурентоспособная.

Результаты автоматизированного расчета искомых параметров по формуле (2) сведены в табл. 2, а выборочные данные по трем видам защитных покрытий для наглядности динамики изменения потребления электроэнергии E от температуры T представлены в графическом виде на рисунке.

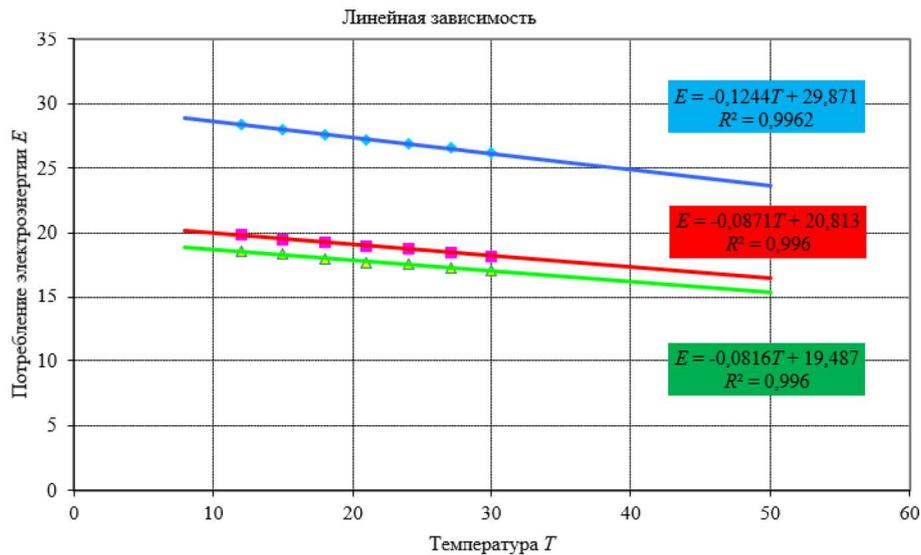
Согласно рисунку, зависимости $E = f(T)$ для трех типов покрытий имеют идентичный линейный характер и позволяют констатировать, что с увеличением температуры транспортируемой жидкости потребление электроэнергии снижается. На графиках иллюстрируется область тренда температурных условий до 50 °С, что в перспективе не исключает возможности изучения вопросов использования защитных покрытий для ремонта трубопроводов, транспортирующих горячую воду, при соответствующем обосновании.

Согласно представленным графикам, наибольший эффект снижения потребления

Таблица 2

Сравнительные величины потребления электроэнергии E в динамике при вариантах использования альтернативных защитных покрытий

Материалы защитных ремонтных покрытий				
Наименование защитных покрытий	Полимерная труба	Полимерный рукав	Scotchkote	Subcote
Потребление электроэнергии E , тыс. кВт · ч в год				
Температура воды, °С				
12	28,449	19,818	18,555	19,174
15	28,001	19,504	18,260	18,870
18	27,589	19,215	17,989	18,590
21	27,206	18,946	17,738	18,330
24	26,850	18,697	17,504	18,089
27	26,518	18,464	17,285	17,863
30	26,201	18,246	17,081	17,665



Графики изменения потребляемой электроэнергии в зависимости от температуры воды $E = f(T)$ (полиэтиленовая труба, полимерный рукав и Scotchkote соответственно — синий, красный, зеленый цвета)

электроэнергии достигается при использовании защитных покрытий из полимерного рукава и Scotchkote.

Выводы

1. Рассмотрены вопросы эффективности применения альтернативных защитных покрытий (полиэтиленовой трубы, полимерного рукава и напыляемых ремонтных составов на основе органических смол), наносимых на внутреннюю поверхность ветхого напорного трубопровода в период его ремонта, на предмет возможного уменьшения затрат электроэнергии при транспортировке воды.

2. С использованием информационно-поисковых автоматизированных программ получены результаты, свидетельствующие, что рассматриваемые типы защитных покрытий в различной степени эффективности могут обеспечить ресурсо- и энергосбережение после проведения ремонтно-восстановительных работ на ветхом стальном напорном трубопроводе.

3. По результатам поисковых экспериментов отмечена возможность продолжения научных исследований по влиянию температу-

ры на динамику изменения затрат электроэнергии в системах горячего водоснабжения.

Библиографический список

1. Gunjan Shah, Pitroda J., Bhavsar J. J. Trenchless technology: a new era towards underground utility construction // Engineering: Issues, opportunities and Challenges for Development. International Conference. Umrakh, Bardoli, India, 2015. Pp. 1–8.
2. Храменков С. В. Стратегия модернизации водопроводной сети. М.: Стройиздат, 2005. 398 с.
3. Примин О. Г. Утечки воды. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2022. 167 с.
4. Романов Н. Р. Низкая надежность, отказы и реконструкция инженерных сетей // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2020. № 3. С. 54–58.
5. Степанов М. А., Примин О. Г. Проблемы надежности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения и пути их решения // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 10. С. 7–15.
6. Гринь В. Г., Пахомов А. А., Колобанова Н. А., Шишкин А. С. Антикоррозионные покрытия как фактор обеспечения прочностных показателей реконструируемых металлических трубопроводов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2021. № 3 (63). С. 404–415. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antikorroziynye-pokrytiya-kak-faktor-obespecheniya-prochnostnyh-pokazateley>

rekonstruiemykh-metallicheskih-truboprovodov (дата обращения: 25.08.2024).

7. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий. Теория и практика. М.: ПрессБюро № 1, 2005. 304 с.

8. Орлов В. А. Бестраншейные технологии строительства и восстановления трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. 228 с.

9. Бубнов Д. В., Волнушкина К. А., Брянская Ю. В. Гидравлические характеристики трубопроводов, восстановленных с помощью полимерных рукавов // Дни студенческой науки. Сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ. Москва, 27 февраля – 3 марта 2023 г. URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa>. М.: Изд-во НИУ МГСУ, 2023. С. 266–275.

10. Орлов В. А., Зоткин С. П., Петербургский Д. А. Бестраншейные технологии разрушения ветхих инженерных сетей и протаскивание в освободившееся пространство новых труб // Сантехника, отопление и кондиционирование. 2022. № 9. С. 28–33.

11. Юдина А. Ф., Кобелев Е. А. Инновационные технологии бестраншейной прокладки новых и ремонта старых инженерных сетей // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 101–108.

12. Николенко И. В., Крымов Р. С., Жилин К. А. Анализ отказов трубопроводных сетей систем водоснабжения городов Крыма с целью обоснования параметров реконструкции // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 7 (59). С. 61–72. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-otkazov-truboprovodnykh-setey-sistem-vodosnabzheniya-gorodov-kryma-s-tselyu-obosnovaniya-parametrov-rekonstruktsii> (дата обращения: 25.08.2024).

13. Орлов В. А., Зоткин С. П., Иншакова М. А., Герасимов В. А. Анализ потребления электроэнергии при транспортировке воды по напорным трубопроводам из альтернативных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615221 от 06.04.2021.

14. Орлов В. А., Зоткин С. П., Иншакова М. А., Петербургский Д. А. Программа расчёта гидравлических параметров напорных труб при изменении температурных режимов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661754 от 30.09.2020.

15. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1970. 216 с.

16. Tarakanov D. I. Plastic pipes and their use in rainwater drainage systems // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988 (5). 052032.

17. Захаров Ю. С., Орлов В. А. Ремонт и восстановление самотечных водоотводящих сетей. М.: АСВ, 2023. 265 с.

18. Орлов В. А., Зоткин С. П., Пелипенко А. А. Расчет толщины стенки гибкого полимерного рукава при реновации трубопроводов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615864 от 30.05.2017.

19. Kuliczowski A. Renowacja czy rekonstrukcja na przykładzie przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych // Instal. Teoria i praktyka w instalacjach. 2012. Vol. 1. Pp. 46–49.

References

1. Gunjan Shah, Pitroda J., Bhavsar J. J. *Trenchless technology: a new era towards underground utility construction. Engineering: Issues, Opportunities and Challenges for Development. Proceedings of the International Conference Umrakh*, Bardoli, India, 2015, pp. 1–8.

2. Khramenkov S. V. *Strategiya modernizatsii vodoprovodnoy seti* [Strategy of modernization of water supply network]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2005, 398 p.

3. Primin O. G. *Utechki vody* [Leakages of water]. Moscow, MISI-MGSU Publ., 2022, 167 p.

4. Romanov N. R. *Nizkaya nadezhnost', otkazy i rekonstruktsiya inzhenernykh setey* [Low reliability, failures and reconstruction of engineering networks]. *Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy Integral – International journal of applied sciences and technologies Integral*, 2020, no. 3, pp. 54–58.

5. Stepanov M. A., Primin O. G. *Problemy nadezhnosti truboprovodov sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya i puti ikh resheniya* [Problems of reliability of pipelines of water supply and water disposal systems and ways of their solution]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary engineering*, 2021, no. 10, pp. 7–15.

6. Grin' V. G., Pakhomov A. A., Kolobanova N. A., Shishkin A. S. *Antikorrozionnye pokrytiya kak faktor obespecheniya prochnostnykh pokazateley rekonstruiemykh metallicheskih truboprovodov* [Anticorrosive coatings as a factor of maintenance of strength indices of reconstructed metal pipelines]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agro-university complex – Bulletin of Nizhnevolzhsk Agro-University Complex*, 2021, no. 3 (63), pp. 404–415. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/antikorroziyenne-pokrytiya-kak-faktor-obespecheniya-prochnostnykh-pokazateley-rekonstruiemykh-metallicheskih-truboprovodov> (accessed: 25.08.2024).

7. Rybakov A. P. *Osnovy bestransheynykh tekhnologiy. Teoriya i praktika* [Fundamentals of trenchless

technologies. Theory and practice]. Moscow, Press Byuro no. 1 Publ., 2005, 304 p.

8. Orlov V. A. *Bestransheyne tekhnologii stroitel'stva i vosstanovleniya truboprovodov sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Trenchless technologies of construction and restoration of pipelines of water supply and water disposal systems]. Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2024, 228 p.

9. Bubnov D. V., Volnushkina K. A., Bryanskaya Yu. V. *Gidravlicheskie kharakteristiki truboprovodov, vosstanovlenykh s pomoshch'yu polimernykh rukavov* [Hydraulic characteristics of pipelines restored with polymer sleeves]. *Dni studencheskoy nauki. Trudy nauch.-tekhn. konf. po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov instituta gidrotekhnicheskogo i energeticheskogo stroitel'stva NIU MGSU. Moskva, 27 fevralya – 3 marta 2023 g.* [Days of Student Science. Proceedings of scientific and technical conference on the results of research works of students of the Institute of Hydraulic and Power Engineering Construction of the National Research University of Moscow State University of Civil Engineering and Architecture. Moscow, February 27 – March 3, 2023]. Available at: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa>. Moscow, NIU MGSU Publ., 2023, pp. 266–275.

10. Orlov V. A., Zotkin S. P., Peterburgskiy D. A. *Bestransheyne tekhnologii razrusheniya vetkhikh inzhenernykh setey i protaskivaniya v osvobodivsheesya prostranstvo novykh trub* [Trenchless technologies of destruction of the dilapidated engineering networks and dragging new pipes into the vacated space]. *Santekhnika, otoplenie i konditsionirovanie – Plumbing, Heating and Air Conditioning*, 2022, no. 9, pp. 28–33.

11. Yudina A. E., Kobelev E. A. *Innovatsionnye tekhnologii bestransheynoy prokladki novykh i remonta starykh inzhenernykh setey* [Innovative technologies of trenchless laying of new and repair of old engineering networks]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 3 (62), pp. 101–108.

12. Nikolenko I. V., Krymov R. S., Zhilin K. A. *Analiz otkazov truboprovodnykh setey sistem vodosnabzheniya gorodov Kryma s tselyu obosnovaniya parametrov rekonstruktsii* [Analysis of failures of pipeline networks of water supply systems of Crimean cities in order to justify the parameters of reconstruction]. *Stroitel'stvo*

i tekhnogen'naya bezopasnost' – Construction and Technogenic Safety, 2017, no. 7 (59), pp. 61–72. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-otkazov-truboprovodnykh-setey-sistem-vodosnabzheniya-gorodov-kryma-s-tselyu-obosnovaniya-parametrov-rekonstruktsii> (accessed: 25.08.2024).

13. Orlov V. A., Zotkin S. P., Inshakova M. A., Gerasimov V. A. *Analiz potrebleniya elektroenergii pri transportirovke vody po napornym truboprovodam iz al'ternativnykh materialov* [Analysis of electric power consumption during water transportation by pressure pipelines from alternative materials]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM, no. 2021615221 ot 06.04.2021* [Certificate of state registration of computer program, no. 2021615221 from 06.04.2021].

14. Orlov V. A., Zotkin S. P., Inshakova M. A., Peterburgskiy D. A. *Programma raschyota gidravlicheskiykh parametrov napornykh trub pri izmenenii temperaturnykh rezhimov* [Program for calculation of hydraulic parameters of pressure pipes at change of temperature regimes]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM, no. 2020661754 ot 30.09.2020* [Certificate of state registration of computer program, no. 2020661754 from 30.09.2020].

15. Al'tshul' A. D. *Gidravlicheskie soprotivleniya* [Hydraulic resistances]. Moscow, Nedra Publ., 1970, 216 p.

16. Tarakanov D. I. Plastic pipes and their use in rainwater drainage systems. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 988 (5), 052032.

17. Zakharov Yu. S., Orlov V. A. *Remont i vosstanovlenie samotechnykh vodootvodyashchikh setey* [Repair and restoration of gravity drainage networks]. Moscow, ASV Publ., 2023, 265 p.

18. Orlov V. A., Zotkin S. P., Pelipenko A. A. *Raschet tolshchiny stenki gibkogo polimernogo rukava pri renovatsii truboprovodov* [Calculation of the wall thickness of a flexible polymer sleeve at renovation of pipelines]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM, no. 2017615864 ot 30.05.2017* [Certificate of state registration of computer program, no. 2017615864 from 30.05.2017].

19. Kuliczowski A. Renowacja czy rekonstrukcja na przykladzie przewodow wodociagowych i kanalizacyjnych. *Instal. Teoria i praktyka w instalacjach*, 2012, vol. 1, pp. 46–49.