УДК 625.745.1 DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.92

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНИХ РОЗЧИНІВ ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ ДОРОЖНІХ ВОДОПРОПУСКНИХ СПОРУД ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Гаркуша М. В.
Національний транспортний університет

Анотація. *На сьогодні процес відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням металевих гофрованих конструкцій є актуальним та необхідним, оскільки вони перебувають у складних умовах експлуатації, що є причиною їх передчасного руйнування. У роботі розглянуто найбільш поширені моделі, що описують течію звичайної цементобетонної суміші (цементно-піщаного розчину). Наведено підхід із визначення втрати тиску в процесі заповнення міжтрубного зазору. Подано аналіз застосування цементно-піщаних розчинів під час відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням металевих гофрованих конструкцій. На основі цього аналізу визначено залежність динамічної в'язкості від складу суміші та водоцементного співвідношення. У роботі запропоновано загальні положення відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням металевих гофрованих конструкцій зі встановленням вимог до цементно-піщаного розчину.*

Ключові слова: *відновлення, водоцементне співвідношення, динамічна в'язкість, дорожні водопропускні споруди, металева гофрована конструкція, цементно-піщаний розчин.*

Вступ

Відновлення несної здатності дефектної дорожньої водопропускної споруди способом встановлення в ній додаткової металевої гофрованої конструкції (МГК) максимально можливого діаметра та заповнення утворених порожнеч між МГК та дорожньою водопропускною спорудою цементобетонною чи розчинною сумішшю (метод «гільзування» – метод санації) є одним із найпростіших та найдешевших видів ремонту пошкоджених споруд.

Однак може бути значна втрата гідравлічних параметрів споруди, тому для запобігання втрати гідравлічних характеристик розмір МГК має бути максимально наближений до геометричних параметрів споруди.

У випадку досить суттєвого зазору між спорудами (наявною та новою) можливе застосування самоущільнювальної цементобетонної суміші, однак за умовно малого зазору необхідно застосовувати розчинну суміш (цементно-піщаний розчин).

Аналіз публікацій

Метод гільзування використовувався з 1940-х років та був одним із найперших методів відновлення трубопроводів [1]. Він складається з процесів перетягування нової труби безпосередньо до основного трубопроводу цементаційного зміцнення в кільцевому зазорі між двома трубопроводами. Згодом (починаючі з 1980-х років) цей підхід почали масово використовувати у відновленні дорожніх водопропускних споруд. Матеріали гільзування (матеріал нової труби) складалися з таких лементів: поліетилен (PE), поліетилен високої щільності (HDPE), полівінілхлорид (PVC), армований скловолокном пластик (GFRP) і металева гофрована конструкція (CSP). Застосування металевих гофрованих конструкцій у цьому методі відновлення є найпоширенішим [2]. Приклад застосування методу наведено на рис. 1 [3].

Рис. 1. Гільзування дорожньої водопропускної споруди

В Україні це питання досліджували І. П. Баб'як, П. М. Коваль [4, 5], В. В. Ковальчук [6], А. М. Онищенко [2], П. М. Сташук [4] та інші.

Відновлення дорожніх водопропускних споруд, якщо це можливо, може стати знач-

ним засобом економії ресурсів і часу [7].

Щоб мінімізувати зменшення площі поперечного перерізу, гільзуючий вкладиш зазвичай відповідає формі водопропускної труби та має найбільший доступний діаметр, який можна використати всередині водопропускної труби [8]. Гільзуючий вкладиш розміщується безпосередньо поверх наявної дорожньої водопропускної споруди, а простір між гільзуючим вкладишем і дорожньою водопропускною спорудою заливається цементно-піщаним розчином (рис. 2) [2].

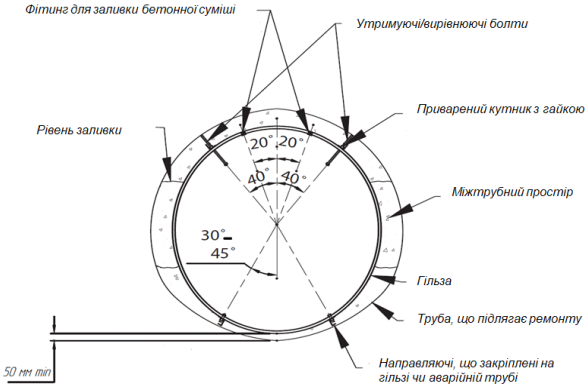

Рис. 2. Приклад розташування гільзи в ремонтованій трубі

Параметри цементно-піщаного розчину мають відповідати умовам здійснення ремонтних робіт. Варто зазначити, що одним із найважливіших параметрів є динамічна в'язкість цементно-піщаного розчину.

Дослідженням зміни динамічної в'язкості цементно-піщаних розчинів активно займалися D. Leonavičius [9], L. Abdalla [10], A. Mohammed [11], H. Raof [12], Л. Й. Дворкін [13], А. М. Плугін [14, 15], В. В. Коваленко [16] та інші.

Аналіз динамічної в'язкості цементно-піщаних розчинів під час відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням металевих гофрованих конструкцій є актуальним та необхідним для забезпечення міжтрубного простору цементно-піщаною сумішшю.

Мета та постановка завдання

Метою є аналіз динамічної в'язкості цементно-піщаних розчинів у процесі відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням металевих гофрованих конструкцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити аналіз гідравлічного опору руху цементно-піщаного розчину.

Виклад основного матеріалу

Текучість цементно-піщаних розчинів під час постійного зсуву може бути описана за допомогою моделей межі текучості, зокрема моделі Бінгема (рівняння 1), Кассона (рівняння 2) або Гершеля-Балклі (рівняння 3). Параметри моделі визначаються способом підгону кривої потоку до будь-якої з цих моделей [17, 18]. Найбільш поширеною є модель Бінгема, що описує течію звичайного цементно-піщаного розчину або цементобетонної суміші:

$$\tau = \tau_B + \eta_{pl}\dot{\gamma}, \qquad (1)$$

де τ – напруження зсуву (Па); τ_B – межа текучості; η_{pl} – пластична в'язкість (Па·с); $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву ($с^{-1}$).

$$\tau = \tau_0 + \eta_\infty\dot{\gamma} + 2(\sqrt{\tau_0\eta_\infty})\sqrt{\dot{\gamma}}, \qquad (2)$$

де τ_0 – межа текучості (Па); η_∞ – уявна в'язкість за дуже високої швидкості зсуву.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n, \qquad (3)$$

де K – консистенція; n – індекс поведінки, що є відхиленням від ньютонівської.

Межею текучості за Бінгемом є усадка цементно-піщаного розчину (цементобетонної суміші), що описана рівняннями, які можна використовувати для визначення межі текучості за значеннями усадки [18]. Межа текучості є одним з найважливіших реологічних параметрів, оскільки вона впливає на його здатність до оброблення та стабільності.

Під час здійснення технологічного процесу заповнення міжтрубного зазору цементно-піщаним розчином суміш рухається в кільцевому каналі, тому для розрахування параметрів процесу не можуть бути застосовані залежності, які визначають рух рідини в трубах круглого перерізу [19].

Для визначення втрати тиску під час заповнення міжтрубного зазору необхідно розглянути рух неньютонівських рідин в кільцевому каналі із застосуванням Закону Шведова-Бінгама і показників цементно-піщаних розчинів τ_0 і η. Схему кільцевого каналу наведено на рис. 3.

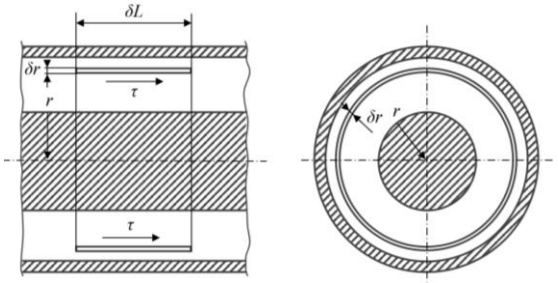

Рис. 3. Схема кільцевого каналу

Розгляд балансу сил, що діють на кільцевий елемент з довжиною δL між радіусами r і $r + \delta r$ можна записати так:

$$2\pi r\delta r\delta P = 2\pi\delta L\frac{d}{dr}(\tau r)\delta r, \tag{4}$$

де τ – напруження зсуву на радіусі r; δL – перепад тиску на довжині δL.

Проінтегрувавши вираз, (4) отримаємо

$$\tau r = \frac{1}{2}r^2\frac{dP}{dL} + const. \tag{5}$$

Якщо $\tau = 0$, коли $r = \lambda R$, тобто на радіусі, де швидкість максимальна, константа в (5) буде дорівнювати

$$-\frac{1}{2}(\lambda R)^2\frac{dP}{dL},\ тоді\ \tau = \frac{1}{2}\left(\frac{dP}{dL}\right)\left[r - \frac{(\lambda R)^2}{r}\right]. \tag{6}$$

Це рівняння необхідно розв'язати за граничних умов «прилипання», тобто рівності нулю швидкості на стінках, використовуючи закон Шведова-Бінгама ($\tau = f(\dot{\gamma})$).

Схема руху неньютонівських рідин в кільцевому каналі наведена на рис. 4.

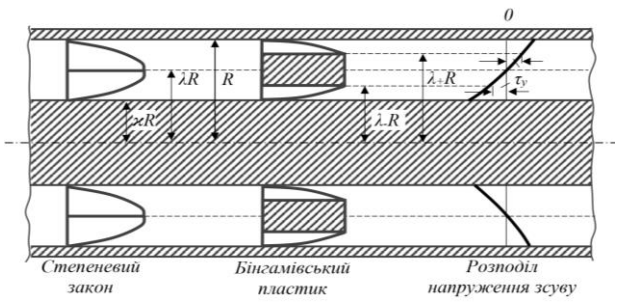

Рис. 4. Схема руху неньютонівських рідин в кільцевому каналі: λ_+R і λ_-R – зовнішній і внутрішній радіуси області стрижневого руху, $\varkappa R$ – радіус внутрішнього циліндра

Фредріксон і Бірд [19] розв'язали рівняння для бінгамівських пластичних рідин, використовуючи такі безрозмірні змінні:

$$T = \frac{2\tau}{R\dfrac{dP}{dL}} \text{ — } напруження\ зсуву; \tag{7}$$

$$T_0 = \frac{2\tau_y}{R\dfrac{dP}{dL}} \text{ — } межа\ текучості;$$

$$\varphi = \frac{2\eta}{R^2\dfrac{dP}{dL}}u \text{ — } швидкість;$$

$$\rho = \frac{r}{R} \text{ — } радіальна\ координата.$$

Безрозмірна швидкість між ядром течії і внутрішнім циліндром ($\varkappa \le \rho \le \lambda_-$) становить

$$\varphi_- = T_0(\dot{u} - \rho) - \frac{1}{2}(\rho^2 - \dot{u}^2) + \lambda^2\ln\left(\frac{\rho}{\dot{u}}\right). \tag{8}$$

Між твердим ядром і зовнішньою стінкою, тобто $\lambda_+ \le \rho \le 1$

$$\varphi_+ = T_0(\rho - 1) + \frac{1}{2}(1 - \rho^2) + \lambda^2\ln\rho. \tag{9}$$

У самому ядрі, тобто $\lambda_- \le \rho \le \lambda_+$

$$\varphi_0 = \varphi_-(\lambda_-) = \varphi_+(\lambda_+) \tag{10}$$

Повна об'ємна витрата речовини визначається виразом

$$Q = 2\pi R^2\int_{\dot{u}}^{1} u\rho d\rho. \tag{11}$$

Після інтегрування отримуємо:

$$Q = \frac{2\pi R^2\dfrac{dP}{dL}}{8\eta}\left[\left(1-\dot{u}^4\right) - 2\lambda_+\left(\lambda_+ - T_0\right)\cdot\right. \tag{12}$$
$$\left.\cdot\left(1-\dot{u}^2\right) - \frac{4}{3}\left(1+\dot{u}^3\right)T_0 + \frac{1}{3}\left(2\lambda_+ - T_0\right)^3 T_0\right]$$

Вираз у квадратних дужках є функцією від $\varkappa$, і T_0, тобто

$$\frac{Q}{\left[\frac{\pi R^4\left(\frac{dP}{dL}\right)}{8\eta}\right]} = \Omega_B\left(\dot{u}_1 T_0\right)\cdot \qquad (13)$$

Фредріксон і Бірд [19] функцію Ω_B записали в графічному вигляді. Графік дає можливість знайти витрату Q, якщо відомі градієнти тиску, розміри кільцевого каналу та властивості рідини τ_y та η.

Недоліком цієї методики визначення параметрів руху неньютонівських рідин в кільцевому каналі є необхідність використання графіків.

Реологічні випробування

Випробування на реологію цементно-піщаного розчину здійснюють за допомогою віскозиметра [18, 20, 21]. Для кожної умови необхідно використати середнє значення трьох зразків.

Ситовий аналіз піску (збагаченого) здійснено згідно з [22]. Його модуль крупності становить: Мк = 2,22, цемент ПЦ I – 500 (Подільський цемент), суперпластифікуюча хімічна домішка на основі акрилового полімеру Dynamon SR3 (0,7 % від маси цементу).

Результати аналізу наведено на рис. 5, 6.

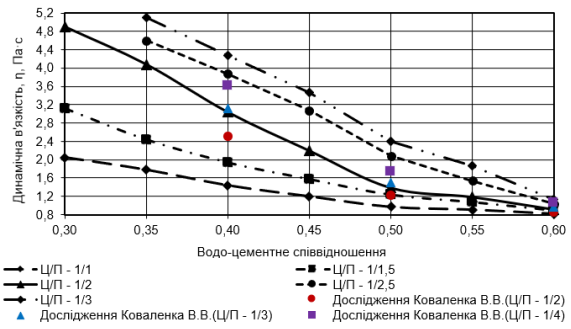

Рис. 5. Аналіз динамічної в'язкості

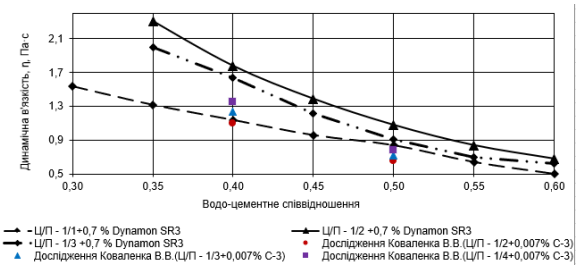

Рис. 6. Аналіз динамічної в'язкості

Порівняння прогнозів моделі

Для порівняння прогнозів моделі було використано статистичну кількісну оцінку, тобто коефіцієнт детермінації (R^2) і середньоквадратичну помилку (RMSE), яка кількісно визначена в такий спосіб [10]:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_i\left(x_i-\bar{x}\right)\left(y_i-\bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_i\left(x_i-\bar{x}\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_i\left(y_i-\bar{y}\right)^2}}\right)^2, \qquad (14)$$

де y_i – експериментальне значення; x_i – прогнозоване значення моделі; $\bar{y}$ – середнє фактичних значень випробування; $\bar{x}$ – середнє обчислених значень.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-x_i\right)^2}{N}}, \qquad (15)$$

де N – кількість даних.

Загальні положення з відновлення дорожніх водопропускних споруд

Відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням МГК здійснюється відповідно до проєкту, вимог технічних регламентів та нормативних документів для забезпечення довготривалого захисту земляного полотна від негативного впливу витрат води, що пропускаються крізь споруду. Ремонту методом гільзування піддаються споруди, звуження отвору яких не вплине на пропуск необхідного водного потоку, що не втратили несної здатності і мають такі дефекти:

– порушення гідроізоляції;

– відхилення геометричного положення елементів споруди більш ніж на 3 % від її діаметра;

– фізичне руйнування споруди.

Метод гільзування дозволяє:

– здійснювати ремонтні роботи без зупинки руху транспортних засобів автомобільною дорогою (без тимчасових об'їздів);

– здійснювати ремонт споруд у стиснених умовах;

– зменшити терміни ремонту (до двох робочих днів);

– зменшити вартість ремонту;

– збільшити міцнісні та експлуатаційні характеристики дефектної споруди;

– гарантувати термін експлуатації до 50 років згідно з ВБН В.2.3-218-198 [23];

– усунути протікання споруди;

– відновити водопропускну здатність дефектної споруди.

У процесі проведеної роботи рекомендовано, щоб цементно-піщаний розчин виготовлявся на основі дрібного заповнювача, вимоги наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Вимоги до цементно-піщаного розчину та затверділого матеріалу

Назва показника	Значення
Крупність заповнювача, мм, не більше ніж	2,5
Рухомість, см, не менше ніж	П4
Термін придатності, хв, не менше ніж	60
Межа міцності за стиском, МПа, не менше ніж	45
Морозостійкість, циклів	200

Висновки

У роботі здійснено аналіз застосування цементно-піщаних розчинів під час відновлення дорожніх водопропускних споруд із застосуванням металевих гофрованих конструкцій.

Визначено, що реологічна характеристика залежить від багатьох факторів, наприклад від співвідношення води до цементу, типу і концентрації хімічних і мінеральних домішок, виду і тонкості цементу і наповнювачів, форми та розміру частинок заповнювача, причин зсуву та часу випробувань після початкового замішування (внаслідок ранньої гідратації цементу).

Література

1. Bin Li, Wei Yu, Yongen Xie, Hongyuan Fang, Xueming Du, Niannian Wang, Kejie Zhai, Dianchang Wang, Xianming Chen, Mingrui Du, Mingming Sun, Xiaohua Zhao. (2023). Trenchless rehabilitation of sewage pipelines from the perspective of the whole technology chain: A state-of-the-art review, Tunnelling and Underground Space Technology. Volume 134. https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105022.
2. Дослідження та аналіз технології відновлення гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб методом гільзування / А. М. Онищенко та ін. Дороги і мости. 2023. Вип. 28. С. 203– 220. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.203.
3. Компанія HALL Contracting. URL: https://www.hallcontracting.com/ (дата звернення: 02.08.2024).
4. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007. Споруди транспорту. Проєктування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007.
5. Нормативне забезпечення проєктування і будівництва споруд з металевих гофрованих конструкцій / П. М. Коваль та ін. Дороги і мости. Київ, 2008. Вип. 8. С. 154–158. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/Uz_21.pdf
6. Ковальчук В. В. Несуча здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації: дис. ...д-ра техн. наук: 05.23.01. Одеса, 2019. 320 с.
7. Maine Department of Transportation, Fish Passage Policy and Design Guide. Augusta, ME. (2004). 84 pp.
8. Ballinger C. A., Drake P. G. (1995). Culvert Repair Practices Manual: Volume II, Rep. No. FHWA-RD-95-089. Federal Highway Administration (FHWA), McLean, VA 354 pp.
9. Leonavičius D & Pundiene, Ina & Girskas, Giedrius & Pranckevičienė, Jolanta & Kligys, Modestas & Sinica, M. (2017). The influence of carbon nanotubes on the properties of water solutions and fresh cement pastes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 251. 012023. 10.1088/1757-899X/251/1/012023.
10. Abdalla, Lajan & Ghafor, Kawan & Mohammed, Ahmed. (2020). Testing and Evaluation of Flowability, Viscosity and Long-Term Compressive Strength of Cement Modified with Polymeric Admixture WR Superplasticizer. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 737. 10.1088/1757-899X/737/1/012066.
11. Mohammed, Ahmed & Salih, Ali Mohammed & Raof, H. (2019). Vipulanandan Constitutive Models to Predict the Rheological Properties and Stress-Strain Behavior of Cement Grouts Modified with Metakaolin. Journal of Testing and Evaluation. 48. 10.1520/JTE20180271.
12. Raof H., Salih A., Mohammed A. Vipulanandan Constitutive Models to Predict the Rheological Properties and Stress-Strain Behavior of Cement Grouts Modified with Metakaolin. Journal of Testing and Evaluation. 2018. Dec 19. 48(5).
13. Дворкін Л. Й. Ефективні золовмісні цементи, бетони та розчини: монографія. Рівне: НУВГП, 2022. 419 с.
14. Модель проникнення ін'єкційних цементних розчинів у заобробкові тріщинуваті скельні породи / А. А. Плугін та ін. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2021. 196. С. 57–69. DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.241660.
15. Експериментальні дослідження проникної здатності тампонажних розчинів / А. М. Плугін та ін. Зб. наук. праць ХарДАЗТ. 2000. Вип. 37. С. 3–13.
16. Коваленко В. В. Лабораторні дослідження зміни динамічної в'язкості цементно-піщаних розчинів залежно від співвідношення вихідних компонентів. Форум гірників – 2012: матеріали Міжнар. конф., 3–6 жовтня 2012 р. Дніпропетровськ, 2012. Т. 2. С. 27–30. http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150239.

17. Rooki R, Ardejani FD, Moradzadeh A, Mirzaei H, Kelessidis V, Maglione R, Norouzi M. Optimal determination of rheological parameters for Herschel-Bulkley drilling fluids using genetic algorithms (GAs). Korea-Aust. Rheol. J. 24 (2012) 163–170.
18. ACI Committee 238: Report on measurements of workability and rheology of fresh concrete, Farmington Hills, Mich., American Concrete Institute. 2008.
19. Wilkinson W. L. (1960). Non-Newtonian Fluids: Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer Hardcover – Import. 138 pp.
20. ДСТУ EN ISO 10426-2:2022. Нафтова та газова промисловість. Цементи та матеріали для цементування свердловин. Частина 2. Випробування цементу для свердловин (EN ISO 10426-2:2003, IDT; ISO 10426-2:2003, IDT). Київ, 2022.
21. ДСТУ ISO 10414-1:2013. Нафтова та газова промисловість. Випробовування промивальних рідин в умовах експлуатування. Частина 1. Промивальні рідини на водній основі (ISO 10414-1:2008, IDT). Київ, 2013.
22. ДСТУ EN 933-1:2021. Методи випробування з визначення геометричних характеристик заповнювачів. Частина 1. Визначення зернового складу. Метод просіювання (EN 933-1:2012, IDT). Київ, 2021.
23. ВБН В.2.3-218-198:2007. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007.

References

1. Bin, Li, Wei, Yu, Yongen, Xie, Hongyuan, Fang, Xueming, Du, Niannian, Wang, Kejie, Zhai, Dianchang, Wang, Xianming, Chen, Mingrui, Du, Mingming, Sun, Xiaohua, Zhao (2023). Trenchless rehabilitation of sewage pipelines from the perspective of the whole technology chain: A state-of-the-art review, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 134. https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105022 [in English].
2. Onyshchenko, A. M., Harkusha, M. V., Klymenko, M. I., Harkusha, I. YU. Doslidzhennya ta analiz te-khnolohiyi vidnovlennya hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva z dorozhnikh vodop-ropusknykh trub metodom hil′zuvannya. Dorohy i mosty. Kyi'v, 2023. Vyp. 28. S. 203–220. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.203 [in Ukrainian].
3. Kompaniya HALL Contracting. URL: https://www.hallcontracting.com/ (data zvernennya: 02.08.2024) [in English].
4. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsiy na avtomobil′nykh dorohakh zahal′noho korystuvannya. Kyi'v, 2007 [in Ukrainian].
5. Koval′, P. M., Fal′, A. YE., Babyak, I. P., Sitdykova, T. M. Normatyvne zabezpechennya proek-tuvannya i budivnytstva sporud z metalevykh hofrovanykh konstruktsiy. Dorohy i mosty. Kyi'v, 2008. Vyp. 8. S. 154–158. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/Uz_21.pdf [in Ukrainian].
6. Koval′chuk, V. V. Nesucha zdatnist′ transportnykh sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsiy v umovakh ekspluatatsiyi: dys. ...d-ra tekhn. nauk: 05.23.01. Odesa, 2019. 320 s. [in Ukrainian].
7. Maine Department of Transportation, Fish Passage Policy and Design Guide. Augusta, ME. (2004). 84 pp. [in English].
8. Ballinger, C. A., Drake, P. G. (1995). Culvert Repair Practices Manual: Volume II, Rep. No. FHWA-RD-95-089. Federal Highway Administration (FHWA), McLean, VA. 354 pp. [in English].
9. Leonavičius, D & Pundiene, Ina & Girskas, Giedrius & Pranckevičienė, Jolanta & Kligys, Modestas & Sinica, M. (2017). The influence of carbon nanotubes on the properties of water solutions and fresh cement pastes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 251. 012023. 10.1088/1757-899X/251/1/012023 [in English].
10. Abdalla, Lajan & Ghafor, Kawan & Mohammed, Ahmed. (2020). Testing and Evaluation of Flowability, Viscosity and Long-Term Compressive Strength of Cement Modified with Polymeric Admixture WR Superplasticizer. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 737. 10.1088/1757-899X/737/1/012066 [in English].
11. Mohammed, Ahmed & Salih, Ali Mohammed & Raof, H. (2019). Vipulanandan Constitutive Models to Predict the Rheological Properties and Stress-Strain Behavior of Cement Grouts Modified with Metakaolin. Journal of Testing and Evaluation. 48. 10.1520/JTE20180271 [in English].
12. Raof, H, Salih, A, Mohammed, A. Vipulanandan Constitutive Models to Predict the Rheological Properties and Stress-Strain Behavior of Cement Grouts Modified with Metakaolin. Journal of Testing and Evaluation. 2018 Dec 19;48(5) [in English].
13. Dvorkin, L. Y. Efektyvni zolovmisni tsemen-ty, betony ta rozchyny: monohrafiya. Rivne: NUVHP, 2022. 419 s. [in Ukrainian].
14. Pluhin, A. A., Kalinin, O. A., Miroshnichenko, S. V., Zvyeryeva, A. S., Holiney, V. M., Lyakhov, M. S. Model′ pronyknennya in″yektsiynykh tsementnykh rozchyniv u zaobrobkovi trishchynuvati skel′ni porody. Zbirnyk naukovykh prats′ UkrDUZT. 196. (2021). 57–69. DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.241660 [in Ukrainian].

15. Pluhin, A. M., Kalinin, O. A., Pluhin, A. M. Eksperymental′ni doslidzhennya pronyknoyi zdatnosti tamponazhnykh rozchyniv. Zb. na-uk. prats′ KharDAZT. 2000. Vyp. 37. S. 3–13 [in Ukrainian].
16. Kovalenko, V. V. Laboratorni doslidzhennya zminy dynamichnoyi v'yazkosti tsementno-pishchanykh rozchyniv zalezhno vid spivvidnoshennya vykhidnykh komponentiv. Forum hirnykiv – 2012: materialy Mizhnar. konf., 3–6 zhovtnya 2012 r. Dnipropetrovs′k, 2012. T. 2. S. 27–30. http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150239 [in russian].
17. Rooki, R., Ardejani, FD, Moradzadeh, A., Mirzaei, H., Kelessidis, V., Maglione, R., Norouzi M. Optimal determination of rheological parameters for Herschel-Bulkley drilling fluids using genetic algorithms (GAs). Korea-Aust. Rheol. J. 24 (2012) 163–170 [in English].
18. ACI Committee 238: Report on measurements of workability and rheology of fresh concrete, Farmington Hills, Mich., American Concrete Institute. (2008) [in English].
19. Wilkinson, W. L. (1960). Non-Newtonian Fluids: Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer Hardcover – Import. 138 pp. [in English].
20. DSTU EN ISO 10426-2:2022. Naftova ta hazova promyslovist′. Tsementy ta materialy dlya tsementuvannya sverdlovyn. Chastyna 2. Vyprobuvannya tsementu dlya sverdlovyn (EN ISO 10426-2:2003, IDT; ISO 10426-2:2003, IDT). Kyi'v, 2022 [in Ukrainian].
21. DSTU ISO 10414-1:2013. Naftova ta hazova promyslovist′. Vyprobovuvannya promyval′nykh ridyn v umovakh ekspluatuvannya. Chastyna 1. Promyval′ni ridyny na vodniy osnovi (ISO 10414-1:2008, IDT). Kyi'v, 2013 [in Ukrainian].
22. DSTU EN 933-1:2021. Metody vyprobuvan-nya z vyznachennya heometrychnykh kharakterystyk zapovnyuvachiv. Chastyna 1. Vyznachennya zernovoho skladu. Metod prosiyuvannya (EN 933-1:2012, IDT). Kyi'v, 2021 [in Ukrainian].
23. VBN V.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsiy na avtomobil′nykh dorohakh zahal′noho korystuvannya. Kyi'v, 2007 [in Ukrainian].

Гаркуша Микола Васильович, к.т.н., доц. каф. мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, mykola.harkusha@ntu.edu.ua,
тел. +38 096-628-79-05,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5388-0561
Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна.

Analysis of Application of Cement-Sand Solutions During the Renovation of Road Water-Draining Structures Using Metal Corrugated Structures

Abstract. Problem. *Today, the restoration of road culverts using metal corrugated structures is relevant and necessary, as they are in difficult operating conditions, which is the reason for their premature destruction.* ***Goal.*** *Conducting an analysis of the dynamic viscosity of cement-sand solutions during the restoration of road culverts using metal corrugated constructions.* ***Methodology****. The hydraulic resistance analysis of the cement-sand solution during fogging of the inter-pipe gap and the dynamic viscosity analysis of the cement-sand solution were carried out.* ***Results.*** *Based on the conducted research, the need to improve the existing cement-sand solutions for inter-pipe clogging was established.* ***Originality****. The work considers the most common approaches to determining the hydraulic resistance to the movement of cement-sand mortar. The dynamic viscosity analysis of the cement-sand solution was performed.* ***Practical value.*** *The work considers the most common models describing the flow of an ordinary cement-concrete mixture (cement-sand mortar). An approach to determining the pressure loss when filling the inter-pipe gap is presented. The paper provides an analysis of the use of cement-sand mortars during the restoration of road culverts using metal corrugated structures. Based on the conducted analysis, the dependence of dynamic viscosity on the composition of the mixture and the water-cement ratio was established. The paper proposes general provisions for the restoration of road culverts using metal corrugated structures with the establishment of requirements for cement-sand mortar.*

Key words: *restoration, water-cement ratio, dynamic viscosity, road culverts, metal corrugated construction, cement-sand mortar.*

Harkusha Mykola, Ph.D., Associate Professor, Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures, mykola.harkusha@ntu.edu.ua, tel. +38 093-889-56-46, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5388-0561
National Transport University, 01010, Ukraine, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenka Street, 1.