https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.203

УДК 625.7/8

Онищенко А. М., *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Гаркуша М. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-5388-0561*
Клименко М. І., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-7967-5881*
Гаркуша І. Ю., *https://orcid.org/0009-0006-9765-3711*
Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА З ДОРОЖНІХ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ МЕТОДОМ ГІЛЬЗУВАННЯ

Анотація

Вступ. Гідротехнічні споруди транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб використовуються для пропускання води під проїзними частинами та іншими спорудами. Одним з способів збільшення довговічності та надійності дорожніх водопропускних труб є виконання ремонту методом гільзування. Запропонований метод передбачає влаштування нової дорожньої водопропускної труби у середині дефектної дорожньої водопропускної труби, а міжтрубний простір заповнюється будівельним розчином. Від розподілу суміші в подальшому буде визначатися ефективність застосовуваного методу відновлення та надійність відремонтованої споруди. Актуальність роботи полягає у визначенні ефективності заповнення будівельними розчинами міжтрубного простору.

Проблематика. Із літературного аналізу встановлено, що дорожні водопропускні труби перебувають у складних умовах експлуатації, що є причиною їх передчасного руйнування. Існуючі методи ремонту не забезпечують необхідної якості відновленої споруди, а існуючі світові підходи не в повній мірі вивчені.

Мета. Полягає в уточненні технології відновлення гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб методом гільзування, що забезпечує високу надійність та довговічність роботи конструкції у важких експлуатаційних умовах.

Результати. Проведено дослідження та аналіз технології відновлення гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб методом гільзування

Висновки. В роботі проведено аналіз існуючих пошкоджень дорожніх водопропускних труб та запропоновано відновлення за рахунок методом гільзування. Встановлено основні реологічні властивості будівельних розчинів від яких залежать фізико-механічні характеристики відновленої дорожньої водопропускної труби. Проведено аналіз реологічних властивостей будівельних розчинів. Від параметрів структури розчину та геометричних параметрів кільцевого зазору залежить вибір та характеристики робочого обладнання для подачі будівельного розчину. Виконані дослідження дозволяють зробити висновок про необхідність розроблення методики відновлення дорожніх водопропускних труб методом гільзування.

Ключові слова: автомобільні дороги, гідротехнічні споруди, довговічність, дорожні водопропускні труби, надійність, ремонт.

Актуальність роботи

Гідротехнічні споруди транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб є наймасовішими штучними спорудами та одними з найважливіших конструктивних елементів автомобільних і залізних доріг. Від їх належного функціонування залежить загальний стан дороги і забезпечення безпечного руху по ній транспорту [1].

В Україні незадовільний або аварійний стан мають понад 40 % всіх дорожніх водопропускних труб. На водотоках експлуатується велика кількість труб, багато з яких через свій фізичний стан, за водопропускної здатності або з інших причин потребують реконструкції (**рис. 1**, *а*) аж до перебудови на нові споруди [1]. Крім того, виникає розмивання нижнього б'єфу водопропускної труби [2] (**рис. 1**, *б*), зміщення секцій, утворення тріщин в конструкції [3], руйнування за рахунок абразивного впливу (**рис. 1**, *в*), окислення металу (корозії) (**рис. 1**, *д*), нанесення ґрунту та каменю, недостатньої міцності гофр дорожніх водопропускальних труб з металевих гофрованих конструкцій [3 – 6].

а) конструктивні недоліки водопропускної труби, пропускання води через шви;
б) розмивання нижнього б'єфу водопропускної труби;
в) руйнування стінок водопропускної труби від абразивного впливу;
д) руйнування стінок водопропускної труби від корозії.

Рисунок 1 – Типові пошкодження дорожніх водопропускних труб

Переважна більшість водопропускних труб у всьому світі була побудована в 50-х і 60-х роках, тому дорожні організації мають справу з великим запасом старих водопропускних труб [7].

Вивчення питання довговічності гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб наведено в багатьох роботах [8, 9 та інші], в проведених дослідженнях встановлено фактори, що впливають на їх довговічність та запропоновані методики розрахунку довговічності [10 – 12].

Одним з способів збільшення довговічності та надійності дорожніх водопропускних труб є виконання ремонту методом гільзування. Даний метод відновлення дорожніх водопропускних труб є не новим, однак від постійно вдосконалюється та розвивається [2].

Так, наприклад, у 1983-1984 роках Департамент транспорту Оклахоми (США) замінив понад 40 корозійних сталей труби методом гільзування [13]. У 2007 році Міністерство транспорту штату Делавер виявило недоліки залізобетонної труба під великою магістраллю у Вілмінгтоні, штат Делавер, без зупинки руху автомобілів було виконано ремонтні роботи, що дало можливість заощадити майже 1 000 000 доларів США порівняно з виконанням робіт по її заміні [14].

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Ремонт водопропускних труб автомобільних доріг повинен бути проведений у відповідності з проєктом, вимогами технічних регламентів та нормативних документів П-Г.1-218-113 [15], ДБН В.2.3-22 [16], для забезпечення захисту земляного полотна від негативного впливу пропускаючих через труби витрат води. Згідно з П-Г.1-218-113 [15] осідання або зсув ланок труб, дефектні шви зашпаровують, а лоток труби вирівнюють бетоном, що недає ефективної експлуатації гідротехнічної споруди. Варто зазначити, що нормативна база незабезпечує надання існуючих підходів з ремонту дорожніх водопропускних труб.

Навіть в роботі [17] не наведено особливостей проведення ремонтних робіт, запропоновані характеристики ремонтних розчинів мають складність застосування та не мають достатньої обгрунтованості.

Варто зазначити, що найбільш застосовуваним матеріалом, для заповнення міжтрубного простору є розчин сухої будівельної суміші (СБС) або дрібнозерниста самоущільнювальна бетонна суміш (Self-Compacting Concrete – SCC) [18, 19], особливістю яких є здатність ущільнюватися без механічного впливу, заповнювати форми під дією власної ваги без вібрації і сегрегації при самочинному виділенні повітря, що передбачає максимальне уникнення трудомістких, енергозатратних операцій їх вкладання та ущільнення, покращення санітарно-гігієнічних умов праці, а також забезпечення високої якості поверхні конструкції після розпалубки [20].

Від розподілу суміші в подальшому буде визначатися ефективність застосовуваного методу відновлення та надійність відремонтованої споруди.

Регулювання реологічних властивостей досягається за допомогою пластифікаторів та суперпластифікаторів, які розріджують розчинні суміші без підвищення вмісту у них води, що не приводить до зменшення міцності твердого розчину [21].

Кількісна характеристика реологічних властивостей є важливим показником для стійкості розчину [22]:

– працездатність свіжого розчину формує одну з основ проєктування бетонної суміші;
– текучість свіжого розчину впливає на якість затверділих властивостей бетону;
– на влаштування розчину, яке включає транспортування, перекачування, лиття та вібрацію, впливає пластична в’язкість і текучість розчину.

Ці приклади демонструють необхідність розроблення кількісної характеристики реологічних властивостей розчину, які можна вводити при проєктуванні та контролі розчинів.

Результати досліджень [23, 24] підтверджують, що одержання високих реологічних

характеристик розчину та високої міцності затверділого розчину (бетону) можливе при зменшенні розміру крупного заповнювача, що забезпечить найвищу міцність на одиницю маси цементу. Важливим фактором забезпечення стабільних характеристик бетону є щільність упакування заповнювачів.

Особливості виконання відновлювальних робіт

Виконання ремонтних робіт методом гільзування найчастіше виконують двома способами [25], перший спосіб полягає у монтажі труби, загальна довжина якої відповідає довжині об'єкту, що підлягає ремонту, чи є більшою при необхідності подовження існуючої водопропускної труби, а другий спосіб передбачає послідовне з'єднання ланок труби під час монтажу, у середині дефектної дорожньої водопропускної труби.

На етапі підготовчих робіт повинні бути виконані такі заходи [26]:

– ізолювання зони робіт від протікання води;

– очищення або, при необхідності, промивання ремонтованої труби від сміття і бруду, видалення з неї води, закладення тріщин, відкритих стиків і місць інфільтрації ґрунтових вод;

– створення умов для безперешкодного протягування ланок внутрішньої труби: влаштування настилу, направлення, вирівнювання дна труби відповідно до проєкту.

Монтаж ланок внутрішньої труби може виконуватися в такій технологічній послідовності:

1) встановлення в аварійній трубі напрямні для протягування монтованої труби (мінімальна висота 50 мм) відповідно до проєкту щодо осьової і висотної розбивки. Встановлення проєктного ухилу за допомогою нівеліра і клинів. Напрямні виготовити з дерева, полімерних труб або металопрокату. Закріплення напрямних допускається на ремонтованій трубі або гільзі (**рис. 2**). Забезпечити вільне проходження бетонної суміші через напрямні. При необхідності забезпечити захист покриву при проштовхуванні геотекстилем. У разі рівної лоткової частини труби (відсутні виступи, що перешкоджають просуванню гільзи) напрямні допускається не встановлювати;

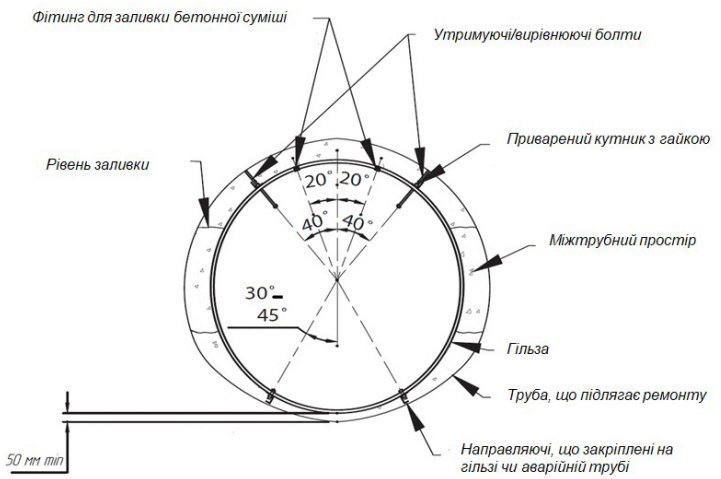

Рисунок 2 – Приклад розташування гільзи в ремонтованої трубі

2) протягнути в існуючій трубі трос для протягування ремонтної труби з розривним навантаженням не менше загальної маси ремонтних ланок;

3) протягнути в існуючій трубі канат з натуральних або штучних волокон, з розривним

навантаженням не менше ніж 500 кг, для подальшого протягування шланга для бетонування;

4) укласти першу секцію монтажної труби за допомогою автокрана біля входу існуючої труби;

5) закріпити на торці 1 секції ремонтної труби трос для протягування за допомогою струбцин або заздалегідь підготовлених вушок;

6) другий кінець троса підчепити до лебідки або іншому буксирувального засобу;

7) протягнути секцію залишивши зовні частину розміром не менше ніж 500 мм для установки бандажа;

8) улаштувати наступну секцію труби, яку монтують за допомогою автокрана;

9) з'єднати секції за допомогою бандажа.

Варто зазначити, що при відновленні конструкції гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб методом гільзування зменшується внутрішній діаметр труби. Найпоширенішим матеріалом для відновлення є дорожні водопропускні труби виготовлені з поліетилену та металу, які мають різні гідравлічні показники.

Оскільки гідравлічний опір поліетиленових труб вважається умовно ідентичним опору гідравлічно гладких труб [27, 28], однак беручі до уваги, що поліетиленові та металеві труби виготовляються у вигляді гофри, то при визначенні величини коефіцієнта опору по довжині можна використати залежність:

$$\lambda = \frac{0,01344}{d_p \cdot 0,226 \cdot v \cdot 0,226}, \tag{1}$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя на довжині;

d_p – розрахунковий діаметр труби, м;

v – середня швидкість води в в дорожній водопропускній трубі, м/с.

Тоді

$$i = 0,000685 \frac{v^{1,774}}{d_p^{\ 1,226}}, \tag{2}$$

де i – гідравлічний похил.

$$1000i = 0,685 \frac{v^{1,774}}{d_p^{\ 1,226}}. \tag{3}$$

Або

$$1000i = 1,052 \frac{Q^{1,774}}{d_p^{\ 4,774}}. \tag{4}$$

Для збереження пропускної здатності Q необхідно визначити діаметр дорожньої водопропускної труби:

$$d_{TP} = 1,01 \frac{Q^{0,372}}{(1000i)^{0,209}}, \tag{5}$$

де d_{TP} – діаметр труби.

Гідравлічний опір поліетиленових гофрованих труб визначають згідно з [29], та становить:

$$i_w = \frac{Q^2}{576 d^{5,3333}}, \tag{6}$$

де Q – пропускна здатність, м^3/с;
d – діаметр труби, м.

За цих умов пропускну здатність напірної труби визначають як для короткого трубопроводу:

$$Q = \varphi_m \omega_m \sqrt{2g\left(H - h_m\right)}, \tag{7}$$

де Q – пропускна здатність, м^3/с;
ω_m, h_m – площа перерізу і висота основної ділянки труби, працюючої повним перерізом, для обтічного оголовка коефіцієнт швидкості $\varphi_н$ =0,95;
g – прискорення вільного падіння, м/с^2;
H – напір перед трубою, м.

У той час, витрата води, що пропускається безнапірною «короткою» непідтопленою спорудою із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах визначається [30]:

$$Q = m \cdot B_K \sqrt{2gH^{\frac{3}{2}}}, \tag{8}$$

де m – коефіцієнт витрати.
$B_K = \frac{W_K}{h_K}$ – середня ширина потоку в перерізу з критичної глибиною h_K;
W_K – площа поперечного перерізу потоку при глибині h_K;
h_K – критична глибина потоку в споруді.

При заданому типі вхідного оголовка розрахункові витрати круглих, еліптичних і овальних споруд визначають за параметром витрати $П_Q = \frac{Q}{D^2\sqrt{gD}}$.

Пропускну здатність «довгої» споруди визначають за формулою:

$$Q = m \cdot \sigma_n \cdot B_K \sqrt{2gH_0^{\frac{3}{2}}}, \tag{9}$$

де σ_n – коефіцієнт підтоплення, що визначається методом послідовного наближення, його значення — менше 1,0.

Для вибору необхідного діаметру дорожньої водопропускної труби потрібно знайти його значення для різних можливих значень Q і вибрати максимальне, що проводиться експериментально, або на основі статистичних даних.

Уточнення технологічних параметрів процесу заповнення міжтрубного кільцевого зазору

Для виконання технологічного процесу заповнення міжтрубного зазору розчином однією з найважливіших проблем є вивчення гідравлічного опору руху суміші. Величина гідравлічного

опору в значній мірі залежить від складу розчинів, технологічних факторів заповнення, а також конструктивних параметрів машин та установок [31].

Будівельні розчини представляють собою гетерогенні (складові з різних компонентів), неоднорідні дисперсні системи, в яких дисперсними фазами є активні в'яжучі речовини і інертний заповнювач, а дисперсним середовищем – вода. При цьому активна в'яжуча речовина утворює фізичний зв'язок з інертним заповнювачем за допомогою сольватних оболонок. За своєю фізичною природою будівельні речовини відносяться до неньютонівських рідин, які мають властивості колоїдно-дисперсних систем.

Основні математичні моделі, що показують зв'язок реологічних властивостей розчину із факторами складу та технології, а вирішення системи даних рівнянь дозволить розрахувати попередній склад розчину на повітряних в'яжучих із заданими реологічними показниками (**табл. 1**).

Таблиця 1

Математичні моделі реологічних властивостей розчинів

Назва моделі, автор	Математична модель	Параметри
Відносна в'язкість суміші [21]	$h_r = 1 + \dfrac{3}{\dfrac{1}{X^{n+1/0,52}}}$	X – спостерігаєма об'ємна концентрація молекул
Відносна в'язкість суміші [21]	$h_r = 1 + d_{ч}^{\frac{S_r}{\left(\frac{1}{X_V} - \frac{1}{X_{VC}}\right)/2}}$	$d_ч$ – середній діаметр частинок наповнювача; S_r – питома поверхня наповнювача; X_V – об'ємна концентрація наповнювача; X_{VC} – максимальна об'ємна концентрація наповнювача
Відносна в'язкість суміші [21]	$h_r = \left(1 - \dfrac{1}{c \cdot V}\right)^{-(A \cdot q + B)}$	c – фактичний об'єм твердих частинок; V – об'ємна концентрація твердих частинок; A, B – емпіричні коефіцієнти; q – модуль крупності твердих частинок
Динамічна в'язкість [21]	$\eta = \dfrac{1}{2} \cdot (W - W_a) \cdot \sqrt[3]{S_M - 1}$	W – вода / тверде (В/Т відношення); W_a – водопоглинення; S_M – питома поверхня суміші
Модель Ейнштейна для в'язкості суспензії [32]	$\eta = \eta_0 \cdot (1 + [\eta] \cdot \phi)$	η_0 — в'язкість рідини/середовища; ϕ — об'ємна частка твердої речовини; $[\eta]$ — характеристична в'язкість суспензії; *Відсутність взаємодії частинок, розбавлена суспензія*
Модель Роско для в'язкості суспензії [32]	$\eta = \eta_0 \cdot (1 - 1,35 \cdot \phi)^{-K}$	η_0 – в'язкість рідини/середовища; ϕ – об'ємна частка твердої речовини; K = constant *Розглядає взаємодію частинок*

Кінець таблиці 1

Назва моделі, автор	Математична модель	Параметри
Модель Крігера-Догерті для в'язкості суспензії [33]	$\frac{\eta}{\eta_0}=\left(1-\frac{\varphi}{\varphi_{\max}}\right)-[\eta]\cdot\varphi_{\max}$	η_0 – в'язкість рідини/середовища; φ – об'ємна частка твердої речовини; φ_{max} – максимальний коефіцієнт упаковки; $[\eta]$ – характеристична в'язкість суспензії; *Зв'язок між в'язкістю та упаковкою частинок. Враховує максимальний коефіцієнт упаковки*
Модель Бінгема [22]	$\tau=\tau_0+\eta\cdot\gamma$	τ – напруження зсуву, Па; τ_0 – межа текучості, Па; η – пластична в'язкість, Па·с; γ – швидкість деформації зсуву (1/s).
Модель Ферраріса і де Лараррда [22]	$\eta=\exp\left\{26,75\cdot\left(\frac{\varphi}{\varphi_{\max}}-0,7448\right)\right\}$	φ – об'ємна частка твердої речовини; φ_{max} – максимальний коефіцієнт упаковки;
Модель Фаріса [34]	$\eta_r=H(\varphi_1)H(\varphi_2)...H(\varphi_N)$	φ_i – концентрація кожного розміру $H(\varphi_i)$ – пластична в'язкість рідини, що містить частинки класів розміру від 1 до i -1
Модель Муні для в'язкості суспензії [32]	$\eta=\eta_0\cdot\exp\cdot\left(\frac{[\eta]\cdot\phi}{1-\frac{\phi}{\phi_{\max}}}\right)$	η_0 – в'язкість рідини/середовища; ϕ – об'ємна частка твердої речовини; ϕ_{max} – максимальний коефіцієнт упаковки; $[\eta]$ – характеристична в'язкість суспензії; *Враховує максимальний коефіцієнт упаковки*
Динамічна в'язкість [42]	$\eta=\nu\cdot\rho\cdot10^{-3}$	ρ – щільність (за температури визначення кінематичної в'язкості), кг/м^3; ν – кінематична в'язкість, мм^2/с.

Розчин у складі частинок цементу, заповнювача, води та повітря, можна охарактеризувати як зважені тверді частинки (заповнювач) у в'язких середовищах (цементна паста) [22]. Було запропоновано численні основні рівняння охарактеризувати реологію свіжого розчину (бетону) як суспензії, але лише модель Бінгема та модель Гершеля і Балклі отримали широке визнання [22].

Для нормального розчину (бетону) експериментальні дані підтвердили, що потік свіжого бетону слідує за моделлю Бінгема (**табл. 1**), τ_0 і η називаються властивостями матеріалу Бінгема з першою властивістю забезпечення вимірювання напруження зсуву, необхідного для ініціювання потоку, а другий – міра опору матеріалу течії після того, як матеріал почне текти. Ці дві реологічні властивості необхідні для кількісної характеристики потоку свіжих розчинів [22].

Для моделювання текучості розчинів існує два різних підходи: феноменологічні моделі і фундаментальні моделі. Феноменологічні моделі засновані на спостереженнях. Найбільш

перспективна модель у цій категорії для розчину є запропонованим Феррарісом і де Ларардом [35] і Феррарісом [36] та ін.

Вони стверджували, що пластична в'язкість є лише функцією щільності упаковки до максимальної щільності упаковки цілої суміші (φ_{max}). Запропонована модель має ряд неточностей та залежить від отриманих експериментальних даних.

Фарріс [34] стверджував, що можна знехтувати взаємодією різних класів розміру частинок у ситуації, коли співвідношення розмірів сфер більше ніж 1/10.

У 1951 році Муні [37] висунув модель, яка дозволяє включення взаємодій частинок за допомогою теорії скупченості. Передбачалося, що взаємодія між частинками може бути охоплена простим геометричним фактором скупчення, але не забезпечувалося методологія розроблення таких функцій взаємодії.

Найбільш поширеним підходом для кількісного визначення реологічних властивостей свіжого бетону є експериментальне вимірювання напруження зсуву проти швидкості деформації зсуву за допомогою бетонного реометра, припускаючи, що потік розчину підкоряється моделі Бінгема.

Інші дослідники намагалися кількісно визначити пластичну в'язкість свіжого бетонного розчину на основі його складу, зокрема роботи Рошавелова [38] і Феррариса і де Ларрара [35]. Запропоновані моделі не розглядали взаємодію частинок розчину та потребували модель перевірки.

Фізичній суті явищ, які відбуваються при русі будівельних розчинів найкраще відповідає закон Шведова-Бінгама відповідно до якого [40]:

$$\tau = \eta \frac{d\upsilon}{d\gamma} + \tau_0 , \tag{10}$$

де τ – питома сила тертя, Н/м^2;
η – динамічний коефіцієнт в'язкості, Н·с/м^2;
$d\upsilon$ – приріст швидкості;
$d\gamma$ – приріст нормалі до швидкості;
τ_0 – граничне напруження зсуву, Н/м^2.

При дослідженні режимів і гідравлічного опору рухові будівельних розчинів були проаналізовані роботи різних авторів, які присвячені рухові ньютонівських і структурних рідин; їм рекомендовані для застосування загальноприйняті в гідромеханіці формули (швидкості руху, об'ємної витрати, гідравлічного нахилу). На основі експериментальних досліджень [27], було встановлено, що при рівномірному русі будівельних розчинів по трубах в межах дослідних швидкостей руху до 0,5 м/с і при рухомості розчинів від 4 см до 10 см по стандартному конусу спостерігається структурний режим протікання, на який поширюється закон Шведова-Бінгама. Для розрахунку втрат тиску на 1 пог.м була запропонована наступна формула, отримана із закону Шведова-Бінгама:

$$\Delta\rho = \frac{k_T \cdot k_M \cdot k_H}{100\,000}\left(\frac{32\eta v_{cp}}{d^2} + \frac{16\tau_0}{3d}\right), \text{ МПа} \tag{11}$$

де v_{cp} – середня швидкість руху розчину, м/с;
d – внутрішній діаметр водопропускної труби, м;
k_T – коефіцієнт, що враховує відхилення режиму руху від закону Шведова-Бінгама при $v_{cp} > 0{,}12$ м/с, $k_T = 1$ при $v_{cp} = 0{,}12$ м/с і $k_T = \frac{1}{1{,}8 \cdot v_{cp} + 0{,}85}$ при $v_{cp} > 0{,}12$ м/с;

k_M – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу, $k_M = 1$ для полімерних труб та $k_M = 1{,}8$ для металевих труб;

k_H – коефіцієнт, що враховує нерівномірність руху розчину: $k_H = 1$ для рівномірного руху, $k_H = 1{,}5$ для нерівномірного руху.

При незначних швидкостях руху суміші справедливий закон Шведова-Бінгама [39]:

$$\frac{dv}{d\rho} = \frac{1}{\mu}\left(\tau - \tau_0\right), \tag{12}$$

де τ – напруження зсуву;

μ – загальна в'язкість системи.

Розчин і цементне тісто при $\tau < \tau_0$ ведуть себе, як пружне тісто; при τ дещо більшому ніж τ_0 – як пластично-в'язке тісто; при швидкостях руху, які обумовлюють повне руйнування структурних зв'язків, цементне тісто і розчин втрачають свої пластичні властивості і їх рух стає аналогічним рухові звичайної в'язкої рідини [39].

Процес руху цементно-піщаного розчину відбувається наступним чином: спочатку долається опір структури тіста, що призводить до значної втрати його властивості; зерна піску змішуються і сприймають дію зсувного зусилля, при цьому зсув супроводжується обертанням зерен і їх перекочуванням, тобто навіть при малих градієнтах швидкості розчин рухається турбулентно і обертання зерен піску сприяє повному руйнуванню структури тіста [39].

На основі експериментальних даних були встановлені основні вимоги до перекачування будівельних розчинів [40, 41]. При перекачуванні будівельних розчинів по трубопроводах суміш повинна мати підвищену в'язкість, однорідну структуру і забезпечувати необхідні фізико-механічні властивості розчину після твердіння. Склад суміші повинен бути підібраний таким чином, щоб при її русі в трубопроводі постійно зберігався змащувальний шар біля стінок трубопроводу, а тиск передавався по рідкій фазі. При цьому розчинна частина не повинна видавлюватись зі скелету заповнювача.

При виконанні технологічного процесу заповнення міжтрубного зазору розчином, суміш рухається в кільцевому каналі, тому для розрахунку параметрів процесу не можуть бути застосовані залежності [39], які розглядають рух рідини в трубах круглого перерізу.

Для визначення втрати тиску при заповненні міжтрубного зазору необхідно розглянути рух неньютонівських рідин в кільцевому каналі з застосуванням Закону Шведова-Бінгама і показників цементно-піщаних розчинів τ_0 і η [43].

Недоліком методики розрахунку параметрів руху неньютонівських рідин в кільцевому каналі є необхідність використання графіків [43].

Автори [44] вирішили задачу протікання рідини в кільцевому каналі для триконстрантної реологічної моделі, яка є узагальненням степеневого закону і лінійної моделі Шведова-Бінгама:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dV}{dr}\left|\frac{dV}{dr}\right|^{\frac{1}{m-1}}, \tag{13}$$

де m – показник не лінійності течії.

Для розрахунків втрат тиску при русі неньютонівських рідин по кільцевому каналу можна скористатися залежністю [44]:

$$\Delta\rho = 4C_f \cdot S\frac{V_0^2}{2}\cdot\frac{1}{d_{екв}}, \tag{14}$$

де $d_{екв} = 2\,(R - \chi R)$, м;

l – довжина кільцевого каналу, м;

V_0 – середня швидкість руху рідини в кільцевому каналі, м/с;

S – густина рідини, кг/м^3;

C_f – коефіцієнт гідравлічного опору:

$$C_f = C_{fH}\frac{(m+2)\cdot\frac{1}{m}\cdot\frac{1}{4m}}{12} + Bin\frac{19{,}5\chi^{0{,}16}}{m^{0{,}53}}, \tag{15}$$

де $C_{fH} = \dfrac{16-(1-\chi)^2}{1+\chi^2+\dfrac{1-\chi^2}{\ln\chi}}$ – відповідає неньютонівській рідині;

Bin – узагальнене число Бінгама, $Bin = \dfrac{\tau_0}{\eta}\left(\dfrac{d_{екв}}{2V_0}\right)^{\frac{1}{m}}$.

Величини η і τ_0 входять в теоретичні залежності для визначення гідравлічного опору рухові розчину в міжтрубному кільцевому зазорі за законом Пуазейля [44], вихідні дані для розрахунку попередньо визначаються на капілярному віскозиметрі шляхом вимірювання часу руху розчину в трубці при відомому тиску, що діє на нього.

Висновки

У роботі проведено аналіз та уточнено виконання ремонтних робіт методом гільзування. Досліджено теоретичні підходи із заповнення міжтрубного простору під час відновлення дорожніх водопропускних труб за рахунок методу гільзування.

Встановлено, що основні параметри руху будівельних розчинів в кільцевому зазорі між існуючою та ремонтною дорожньою водопропускною трубою визначаються на основі розрахунку витрат тиску залежно від геометричних параметрів кільцевого зазору та структури розчину. Суцільність заповнення міжтрубного зазору (кільцевого зазору) оцінюється параметрами швидкості руху розчину, а також характеристиками розчину (динамічним коефіцієнтом в'язкості та граничним напруженням зсуву). Структура розчину оцінюється величиною розшарування та числовим значенням усадки конуса.

При русі розчинів в трубах швидкість руху по всьому перерізу однакова, за виключенням області біля стінок труби, де швидкість змінна. В'язкість η і граничне напруження зсуву τ_0 є одними з основних фізико-механічних властивостей розчинів, які визначають їх поведінку при перекачуванні розчинонасосами. При русі розчинів з'являються сили тертя в'язко-пластичної рідини, величина яких залежить від градієнта швидкості, величини в'язкості η і граничного напруження зсуву τ_0.

Основними показниками, які визначають поведінку будівельних розчинів при перекачуванні є динамічний коефіцієнт в'язкості η і граничне напруження зсуву τ_0, які можуть бути визначені на віскозиметрах.

За невеликої швидкості руху (до 0,5 м/с) будівельні розчини поводять себе як структурні рідини і для них справедливий закон Шведова-Бінгама.

Від параметрів структури розчину та геометричних параметрів кільцевого зазору залежить вибір та характеристики робочого обладнання для подачі будівельної суміші.

Список літератури

1. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І. Аналіз проєктування та будівництва гідротехнічних споруд транспортного будівництва у вигляді водопропускних труб з полімерних матеріалів на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2021. Вип. 24. С. 112–133. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.112.
2. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Клименко М. І. Аналіз проблем забезпечення надійності та довговічності гідротехнічних споруд транспортного будівництва з дорожніх водопропускних труб в умовах експлуатації. *Дороги і мости*. Київ, 2022. Вип. 25. С. 190–202. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.190.
3. Piratla, K. R., W. Pang, H. Jin, and M. Stoner. Best practices for assessing culvert health and determining appropriate rehabilitation methods : a research project in support of operational requirements for the South Carolina Department of Transportation : final report.. Accessed December 25, 2021. URL: https://www.scdot.scltap.org/wp-content/uploads/2017/04/SPR-718-Final-Report-Revised.pdf (дата звернення: 12.09.2013).
4. Assessment and rehabilitation of existing culverts: A synthesis of highway practice. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 303. Transportation Research Board, 2002.
5. Mathews, J.C., Decision analysis guide for corrugated metal culvert rehabilitation and replacement using trenchless technology. 2012: United States Department of Agriculture, Forest Service.
6. CSP Durability Guide / National Corrugated Steel Pipe Association. Washington, 2000.
7. Reza Haghani, Jincheng Yang (2016). *Application of FRP Materials for Construction of Culvert Bridges.Presented at IABSE Congress: Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment*, Stockholm, Sweden, 21-23 September 2016, published in Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment. P. 1312–1319.
8. Drainage Handbook Optional Pipe Materials. State of Florida Department of Transportation. Tallahassee, Florida, 2014. 38 p.
9. Hydraulic design of highway culverts. U.S. Department of Transportation. Hydraulic design series number 5. Third edition. Publication No. FHWA-HIF-12-026. April, 2012. 326 p.
10. Handbook of steel drainage and highway construction products. Published by Corrugated Steel Pipe Institute, American Iron and Steel Institute. 2002. 470 p.
11. Pettersson L., Sundquist H. Design of soil steel composite bridges. *Structural Desing and Bridges*. Stockholm, 2007. 84 p.
12. AASHTO: Standart Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St., N. W., Ste. 249. Washington, D. C., 2001.
13. James D. Schall, Philip L. Thompson, Steve M. Zerges, Roger T. Kilgore and Johnny L. Morris. Hydrualic design of highway culverts. 2nd ed. FHWA-NHI-01-020. HDS No. 5. 2001. URL: https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/12026/hif12026.pdf (дата звернення: 12.09.2023).
14. Thomas S. Walsh (2011). Journal of ASTM International Selected Technical Papers STP 1528 Plastic Pipe and Fittings: Past, Present, and Future. ASTM International 100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken. 404 p.

15. П-Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ, 2009. 45 с. (Інформація та документація).

16. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ. 2009. 65 с. (Інформація та документація).

17. ТТК 37641918/03450778-210:2016 Типова технологічна карта на ремонт водопропускних труб методом релайнінгу на автомобільних дорогах. Київ, 2016. 54 с. (Інформація та документація).

18. ДСТУ EN 206:2018 Бетон. Технічні вимоги, експлуатаційні характеристики, виробництво та критерії відповідності (EN 206:2013 + A1:2016, IDT). Київ, 2018. 71 с. (Інформація та документація).

19. ACI PRC-237-07 Self-Consolidating Concrete (Reapproved 2019).

20. Саницький М. А., Марущак У. Д., Кіракевич І. І., Стечишин М. С. Високоміцні самоущільнювальні бетони на основі дисперсноармованих цементуючих систем. *Будівельні матеріали і вироби*. 2015. № 1. С. 6–9.

21. Теліцина Н., Скіданова Г., & Суруп І. (2010). Алгоритм підбору СБС на повітряних в'яжучих із заданими реологічними показниками. *Восточно-Європейський журнал передових технологій*. 2(10(44). С. 71–74. URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2010.2785 (дата звернення: 12.09.2023).

22. Chidiac S.E. & Mahmoodzadeh F. (2009). Plastic viscosity of fresh concrete – A critical review of predictions methods. *Cement & Concrete Composites - CEMENT CONCRETE COMPOSITES*. 31. P. 535–544. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.02.004.

23. Bonen D. Fresh and hardened properties of self-consolidating concrete. *Prog. Struct. Eng. Materiuals*. 2005. № 7. P. 14–26.

24. Scnachinger J. (2002). Early-Age Creaking Risk and Relaxation by Restrained Autogenous Deformation of Ultra High Performance Concrete. *Proc. of the 6 International Symposium on Utilization of High Strength High Performance Concrete*, Leipzig. 16-20 June, 2002. P. 1341–1354.

25. Study of the Stress-Strain State in Defective Railway Reinforced-Concrete Pipes Restored with Corrugated Metal Structures. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. N 5 (1–89). P. 37–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109611.

26. Онищенко А. М. Аналіз перспективи застосування ремонту, методом гільзування, водопропускних труб, як різновиду гідротехнічних споруд транспортного будівництва. *Збірник наукових праць за підсумками щорічної Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії»*. Херсон, 2021. Вип. 3. С. 147–150.

27. Войтович І. В., Ковтунович І. В., Герасімов Є. Г., Пінчук, О. Л. (2012) Перспективи відновлення сталевих трубопроводів систем зрошення безтраншейним способом. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування* (4(60)). P. 27–32.

28. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ, пособие. - 6-е изд., доп. и перераб. Москва, 1984. 116 с.

29. СОУ 45.2-00018112-045:2010 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з пластикових труб на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2010. 45 с. (Інформація та документація).

30. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2009. 45 с. (Інформація та документація).

31. Avijit Chaubey (2020). Practical Concrete Mix Design. CRC Press. 185 p.

32. Quemada D. Models for Rheological Behavior of Concentrated Disperse Media under Shear. *Proc IX Intl Cong on Rheology*. Mexico, 1984.

33. Struble L.J., Sun G.K. Viscosity of Portland Cement Paste as a Function of Concentration. Adv Cement Based Mat. 1994.

34. Farris R.J. Prediction of the viscosity of multimodal suspensions from unimodal viscosity data. *Trans Soc Rheol*. 1968. 12(2). P. 281–301.

35. Ferraris C.F., deLarrard F. Testing and modeling of fresh concrete rheology. Maryland: Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg. 1998.

36. Ferraris C., deLarrard F., Martys N. Fresh concrete rheology-recent developments. *Materials science of concrete VI*. Sidney Mindess and Jan Skalny, (Eds.). Westerville, OH, 2001. P. 215–41.

37. Mooney M. The viscosity of a concentrated suspension of spherical particles. *J Colloids Sci* 1951. 6.162–70.

38. Roshavelov T. Prediction of fresh concrete flow behavior based on analytical model for mixture proportioning. *Cem Concr Res*. 2005. 35:831–5.

39. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. Москва, 1981. 464 с.

40. Jamrozy Z. Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa-Krakow, 2000. 484 p.

41. E. Koniewski, Z. Orlowski I. Concrete mix transportation modelling. *Journal of civil engineering and management*. 2003. Vol IX No I. P. 52–58.

42. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в`язкості і розрахунок динамічної в`язкості (ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), IDT). Київ, 2003. 112 с. (Інформація та документація).

43. W. L. Wilkinson, Non-Newtonian Fluids. Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer. London, 1960. 138 p.

44. Фройштетер Г.Б. Течение и теплообмен неньютоновских жидкостей в трубах. Киев, 1990. 216 с.

References

1. Artur Onyshchenko, Mykola Harkusha, Mykola Klymenko. Analysis of design and construction of hydrotechnical structures of transport construction in the form of water pipes made of polymer matters. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. 2021. Iss. 24. P. 112–133 DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.112 [in Ukrainian].

2. Artur Onyshchenko, Mykola Harkusha, Mykola Klymenko. Analysis of problems of ensuring reliability and durability of hydraulic structures of transport construction from road waterways. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. Kyiv, 2022. Iss. 25. P. 190–202. DOI: https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.190 [in Ukrainian].

3. Piratla K. R., W. Pang, H. Jin, and M. Stoner (2016). Best practices for assessing culvert health and determining appropriate rehabilitation methods : a research project in support of operational requirements for the South Carolina Department of Transportation : final report.. Accessed December 25, 2021. URL: https://www.scdot.scltap.org/wp-content/uploads/2017/04/SPR-718-Final-Report-Revised.pdf (Last accessed: 12.09.2023) [in English].

4. Assessment and rehabilitation of existing culverts: A synthesis of highway practice. National

Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 303. Transportation Research Board, 2002. [in English].

5. Mathews, J.C., Decision analysis guide for corrugated metal culvert rehabilitation and replacement using trenchless technology. 2012: United States Department of Agriculture, Forest Service [in English].

6. CSP Durability Guide / National Corrugated Steel Pipe Association. Washington, 2000. [in English].

7. Reza Haghani, Jincheng Yang (2016). Application of FRP Materials for Construction of Culvert Bridges.Presented at IABSE *Congress: Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment*, Stockholm, Sweden, 21-23 September 2016, published in Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment. P. 1312–1319 [in English].

8. Drainage Handbook Optional Pipe Materials / State of Florida Department of Transportation. Tallahassee, Florida. 2014. 38 p. [in English].

9. Hydraulic design of highway culverts. U.S. Department of Transportation. Hydraulic design series number 5. Third edition. Publication No. FHWA-HIF-12-026. April, 2012. 326 p. [in English].

10. Handbook of steel drainage and highway construction products. Published by Corrugated Steel Pipe Institute, American Iron and Steel Institute. 2002. 470 p. [in English].

11. Pettersson L., Sundquist H. Design of soil steel composite bridges. *Structural Desing and Bridges*. Stockholm, 2007. 84 p. [in English].

12. AASHTO: Standart Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St., N. W., Ste. 249, Washington, D. C., 2001 [in English].

13. James D. Schall, Philip L. Thompson, Steve M. Zerges, Roger T. Kilgore and Johnny L. Morris. Hydrualic design of highway culverts. 2nd ed. FHWA-NHI-01-020. HDS No. 5. 2001. URL: https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/12026/hif12026.pdf (Last accessed: 12.09.2023) [in English].

14. Thomas S. Walsh (2011). Journal of ASTM International Selected Technical Papers STP 1528 Plastic Pipe and Fittings: Past, Present, and Future. ASTM International 100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken. 404 p. [in English].

15. P-H.1-218-113:2009 Tekhnichni pravyla remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia [Technical rules for the repair and maintenance of highways in general use]. Kyiv. 2009. 45 p. (Information and documantation) [in Ukrainian].

16. DBN V.2.3-22:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia (State Building Norms (DBN V.2.3-22:2009) Transport facilities. Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv, 2009. 65 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

17. TTK 37641918/03450778-210:2016 Typova tekhnolohichna karta na remont vodopropusknykh trub metodom relaininhu na avtomobilnykh dorohakh [Typical technological map for the repair of culverts by the relaying method on highways}. Kyiv. 2016. 54 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

18. DSTU EN 206:2018 Beton. Tekhnichni vymohy, ekspluatatsiini kharakterystyky, vyrobnytstvo ta kryterii vidpovidnosti [State Standard of Ukraine (DSTU EN 206:2018) Concrete. Technical requirements, operational characteristics, reliability and compliance criteria (EN 206:2013 + A1:2016, IDT)]. Kyiv. 2018. 71 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

19. ACI PRC-237-07 Self-Consolidating Concrete (Reapproved 2019) [in English].

20. Sanytskyi M. A., Marushchak U. D., Kirakevych I. I., Stechyshyn M. S. Vysokomitsni samoushchilniuvalni betony na osnovi dyspersnoarmovanykh tsementuiuchykh system [High-strength self-compacting concrete based on dispersed reinforced cementitious systems]. *Budivelni materialy i vyroby*. 2015, № 1. P. 6–9. [in Ukrainian].

21. Telitsyna N., Skidanova H., & Surup I. (2010). Alhorytm pidboru SBS na povitryanykh vyazhuchykh iz zadanymy reolohichnymy pokaznykamy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2(10(44). P. 71–74. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2010.2785 [in Russian].

22. Chidiac S.E. & Mahmoodzadeh F. (2009). Plastic viscosity of fresh concrete – A critical review of predictions methods. *Cement & Concrete Composites - CEMENT CONCRETE COMPOSITES*. 31. P. 535–544. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.02.004. [in English].

23. Bonen D. Fresh and hardened properties of self-consolidating. Prog. Struct. Eng. Materiuals, 2005. № 7. P. 14–26 [in English].

24. Scnachinger J. (2002). Early-Age Creaking Risk and Relaxation by Restrained Autogenous Deformation of Ultra High Performance Concrete. *Proc. of the 6 International Symposium on Utilization of High Strength High Performance Concrete*, Leipzig. 16-20 June, 2002. P. 1341–1354 [in English].

25. Study of the Stress-Strain State in Defective Railway Reinforced-Concrete Pipes Restored with Corrugated Metal Structures. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. N 5 (1–89). P. 37–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109611 [in English].

26. Onyshchenko A. M. Analiz perspektyvy zastosuvannia remontu, metodom hilzuvannia, vodopropusknykh trub, yak riznovydu hidrotekhnichnykh sporud transportnoho budivnytstva [Analysis of the prospects for the use of repair, by the method of sheathing, of culverts as a type of hydraulic structures of transport construction]. *Zbirnyk naukovykh prats za pidsumkamy shchorichnoi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii ta dosiahnennia inzhenernykh nauk v haluzi hidrotekhnichnoho budivnytstva ta vodnoi inzhenerii»*. Kherson. 2021. Iss. 3. P. 147 – 150 [in Ukrainian].

27. Voitovych I. V., Kovtunovych I. V., Herasimov Ye. H., Pinchuk O. L. (2012) Perspektyvy vidnovlennia stalevykh truboprovodiv system zroshennia beztransheinym sposobom [Prospects of restoration of steel pipelines of irrigation systems using a trenchless method]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia* (4(60)). P. 27–32. [in Ukrainian].

28. Tablytsy dlia hydravlycheskoho rascheta vodoprovodnykh trub [Tables for the hydraulic calculation of water pipes]. 6-e yzd., dop. y pererab. Moscow, 1984. 116 p. [in Ukrainian].

29. SOU 45.2-00018112-045:2010 Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud z plastykovykh trub na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia [Transport facilities. Designing and construction of structures made of plastic pipes on highways with extensive use]. Kyiv. 2010. 45 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

30. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007 Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia [Manual to VBN V.2.3-218-198:2007 Transport facilities. Designing and construction of structures made of metal corrugated structures on highways with extensive use]. Kyiv. 2009. 45 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

31. Avijit Chaubey (2020). Practical Concrete Mix Design. CRC Press. P.185. [in English].

32. Quemada D. Models for Rheological Behavior of Concentrated Disperse Media under Shear. *Proc IX Intl Cong on Rheology*. Mexico, 1984 [in English].

33. Struble L.J., Sun G.K. Viscosity of Portland Cement Paste as a Function of Concentration. Adv Cement Based Mat. 1994 [in English].

34. Farris R.J. Prediction of the viscosity of multimodal suspensions from unimodal viscosity data. *Trans Soc Rheol*. 1968. 12(2). P. 281–301 [in English].

35. Ferraris C.F., deLarrard F. Testing and modeling of fresh concrete rheology. Maryland: Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg. 1998 [in English].

36. Ferraris C., deLarrard F., Martys N. Fresh concrete rheology-recent developments. *Materials science of concrete VI*. Sidney Mindess and Jan Skalny, (Eds.). Westerville, OH, 2001. P. 215–41 [in English].

37. Mooney M. The viscosity of a concentrated suspension of spherical particles. *J Colloids Sci* 1951. 6.162–70 [in English].

38. Roshavelov T. Prediction of fresh concrete flow behavior based on analytical model for mixture proportioning. *Cem Concr Res*. 2005. 35:831–5 [in English].

39. Akhverdov Y.N. Osnovи fyzyky betona [Basics of concrete physics]. Moscow, 1981. 464 p. [in Russian].

40. Jamrozy Z. Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa-Krakow, 2000. 484 p. [in English].

41. E. Koniewski, Z. Orlowski I. Concrete mix transportation modelling. *Journal of civil engineering and management*. 2003. Vol IX No I. P. 52–58 [in English].

42. DSTU HOST 33-2003 Naftoprodukty. Prozori i neprozori ridyny. Vyznachennia kinematychnoi v`iazkosti i rozrakhunok dynamichnoi v`iazkosti [State Standard of Ukraine Oil products. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (HOST 33-2000 (YSO 3104-94), IDT)]. Kyiv. 2003. 112 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

43. W. L. Wilkinson, Non-Newtonian Fluids. Fluid Mechanics, Mixing and Heat Transfer. London, 1960. 138 p. [in English].

44. Froishteter, H.B. Techenye y teploobmen neniutonovskykh zhydkostei v trubakh [Flow and heat exchange of non-Newtonian liquids in pipes]. Kyiv, 1990. 216 p. [in Russian].

Artur Onyshchenko, *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Mykola Harkusha, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-5388-0561*
Mykola Klymenko, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-7967-5881*
Inna Harkusha, *https://orcid.org/0009-0006-9765-3711*

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF RESTORATION OF HYDRO-TECHNICAL STRUCTURES OF TRANSPORTATION BUILDING FROM CULVERTS BY THE SLEATHING METHOD

Abstract

Introduction. Hydrotechnical structures of transport construction from road culverts are used to pass water under roadways and other structures. One of the ways to increase the durability and reliability of road culverts is to carry out repairs by the sleeve method. The proposed method involves the installation of a new road culvert in the middle of a defective road culvert, and the space between the pipes is filled with mortar. The distribution of the mixture will further determine the effectiveness of the applied restoration method and the reliability of the repaired structure. The relevance of the work consists in determining the efficiency of filling the inter-pipe space with mortar.

Problem Statement. From the literature analysis, it was established that road culverts are in difficult operating conditions, which is the reason for their premature destruction. The existing methods of repair do not provide the necessary quality of the restored building, and the existing global approaches are not fully studied.

Purpose. It consists in refining the technology of restoration of hydraulic structures of transport construction from road culverts by the sleeve method, which ensures high reliability and durability of the structure in difficult operating conditions.

Results. The research and analysis of the technology of restoration of hydraulic structures of transport construction from road culverts using the sleathing method was carried out

Conclusions. In the work, an analysis of the existing damage to road culverts was carried out and restoration was proposed using the sleathing method. The main rheological properties of construction solutions, which depend on the physical and mechanical characteristics of the restored road culvert, have been established. An analysis of the rheological properties of construction mortars was carried out. The choice and characteristics of working equipment for supplying construction mortar depends on the parameters of the mortar structure and the geometric parameters of the annular gap. The conducted studies allow us to draw a conclusion about the need to develop a method of restoring road culverts by the sleathing method.

Keywords: highways, hydraulic structures, durability, road culverts, reliability, repair.