

Абрамов В. М., к.т.н., доцент, Оболонков Д. Ф., ст. викладач
(Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
м. Івано-Франківськ (на період воєнного стану), vr09@i.ua;
d.f.obolonkov@donnaba.edu.ua)

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ

Наведено загальні відомості і довідкові дані про дорожні споруди з металевих гофрованих конструкцій (водопропускні труби під дорожнім насипом, малі мости та тунелі), які вже порівняно давно використовуються в транспортному будівництві багатьох країн світу і в Україні.

Розглянуто стан справ щодо вивченості особливостей і переваг використання таких споруд, наявності і основних розрахункових положень нормативних документів з їхнього проєктування і будівництва як в минулі часи (на території колишнього СРСР), так нині в Україні.

На підставі результатів розрахунково-теоретичного аналізу показано, що основою ефективності споруд з металевих гофрованих конструкцій є їхня сумісна робота із ґрунтом дорожнього насипу. Це здійснюється за рахунок того, що гнучке склепіння (чи коло) передає частину вертикального навантаження від маси насипу і транспортних засобів на ґрунт при переміщеннях стінок в біг ґрунту. Наведено якісні і кількісні показники (графіки) збільшення несучої здатності споруди з гофрованого металу і зниження внутрішніх зусиль в її елементах в залежності від пружних властивостей ґрунту насипу.

Наведено дані зі схемами, рисунками і таблицею порівняння значень витрат матеріалів для різних варіантів споруд, які свідчать про ефективність використання склепіння з гофрованого металу замість масивних типових конструкцій при реконструкції мостів, зокрема за рахунок значного зниження матеріалоємності.

Ключові слова: металеві гофровані конструкції; ефективність; реконструкція; витрати матеріалів.

Вступ. Металеві гофровані конструкції (МГК) вже достатньо тривалий час і досить успішно використовуються у дорожньому будівництві у різних країнах світу. Вперше такі конструкції почали застосовувати ще наприкінці XIX століття при будівництві залізниць. Спочатку це були тільки водопропускні труби діаметром 1,0–1,5 м під дорожнім насипом [1]. Але вже тоді стало зрозуміло, що це досить раціональний тип дорожніх споруд внаслідок того, що ці гнучкі конструкції під переважаючим вертикальним тиском від маси ґрунту насипу дещо деформуються з переміщенням стінок у бік ґрунту і передають на ґрунт насипу значну частину навантаження, тобто працюють сумісно із ґрунтом насипу. Бічний опір ґрунту обмежує деформації гнучкої труби, що забезпечує статичну рівновагу і досить високу несучу здатність системи *конструкція – ґрунт* [2; 3]. Крім того, ці споруди досить прості за конструкцією, потребують значно менше витрат на монтаж і експлуатацію порівняно із дорожніми спорудами з типових конструкцій завдяки відносно малій вазі елементів склепіння та через відсутність складних деформаційних швів і опорних елементів, що потребують системного технічного обслуговування.

Стан питання і аналіз публікацій. Згодом такі споруди почали використовувати не тільки як труби під насипом, але і як мости, шляхопроводи (в США вони отримали назву ґрунто-сталеві) і тунелі з різною формою (круглі, аркові, коробчасті та ін.) і з різним розміром отвору (до 25 м і більше) переважно у США, Канаді, Японії та багатьох інших країнах світу.

Ефективність використання МГК під дорожнім насипом перевірено численними експериментальними і теоретичними дослідженнями та натурними випробуваннями, які проведено у різних країнах, починаючи з кінця XIX століття [1; 2; 3].

Використовують дорожні споруди з гофрованого металу і в Україні. Створено відповідну нормативну базу з проектування і будівництва таких споруд [4].

Дослідження несучої здатності труб під насипом, з МГК діаметром 1–3 м з гофром 130x32,5x1,5-2,5 (відповідно довжина і висота хвилі, товщина стінки, мм), які було проведено у СРСР у 70-ті роки минулого століття, і розрахунково-теоретичний аналіз, який виконано у цій роботі, показують, що, за методикою [3], теоретичний коефіцієнт $K_{зб}$ збільшення несучої здатності труб з МГК, тобто відношення величин

несучої здатності труби в ґрунті, яка визначена за методом граничної рівноваги з допущенням виникнення пластичних шарнірів, до цього ж показника поза ґрунтом, наприклад для труби діаметром 2 м при товщині стінки 2 мм, може мати значення від 7,6 до 15,8, відповідно при модулі деформації ґрунту дорожнього насипу 10 МПа і 60 МПа.

Нормативний документ України з проектування МГК під дорожнім насипом містить методикку розрахунку міцності таких конструкцій також з урахуванням опору ґрунту, який обмежує деформації гнучкої споруди та забезпечує статичну рівновагу і потрібну несучу здатність системи «конструкція-ґрунт» [4]. Виконаний у нашій роботі аналіз свідчить, що за методикою документа [4] нормальне зусилля в стінці труби з гофрованого металу визначається за формулою (формула 7.2 у нормах [4]), в якій враховано характеристику властивості ґрунту надавати пружний опір бічним переміщенням стінок труби (модуль деформації E ґрунту).

Мета і завдання роботи. На підставі результатів аналізу і розрахунково-теоретичних досліджень, а також порівняння варіантів за показником матеріалоемності, заплановано показати ефективність використання дорожніх споруд з МГК замість споруд з типових масивних конструкцій.

Основна частина. Якщо вимірювати ефективність МГК, наприклад, труби діаметром 4 м із сучасним типорозміром гофрованих елементів (150x50x5, відповідно довжина хвилі, її висота і товщина стінки, мм) ступенем зниження нормального зусилля N в стінки гофрованої труби у поперечному перерізі за рахунок включення в роботу ґрунту насипу шляхом перекладання на нього бічними стінками труби частини вертикального навантаження, тобто як відношення зусилля N , визначене без урахування E ґрунту, до цього зусилля, визначеного з урахуванням E ґрунту (10 МПа; 30 МПа; 60 МПа) то, теоретично за методикою [4] коефіцієнт $K_{зн}$ зниження зусиль N складе відповідно 0,97; 0,91; 0,54.

Характер залежності $K_{зб}$ і $K_{зм}$ від величини модуля деформації ґрунту насипу, встановлений аналізом і розрахунково-теоретичними дослідженнями, показано на рис. 1.

Значну різницю показників ефективності МГК, які отримано за методикою [3] і за методикою норм [4], можна пояснити тим, що розрахунок за методикою [3] виконується методом граничної рівноваги з допущенням виникнення пластичних шарнірів. Це дає

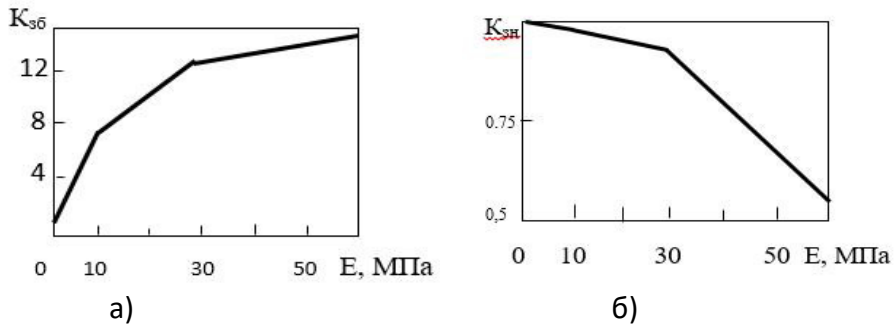


Рис. 1. Характер залежності коефіцієнта K_{36} збільшення несучої здатності гнучкої гофрованої труби в ґрунті (діаметр 2 м, гофр 130x32,5x2,0, мм) за методикою [3] (а) і коефіцієнта K_{3n} зменшення нормального зусилля в стінці труби (діаметр 4 м, гофр 150x50x5, мм) від модуля деформації E ґрунту насипу за методикою [4] (б)

більш економічний результат, але і можливий не контрольований значний прогін. За нормами [4], допускається статична робота матеріалу труби тільки у пружній стадії.

Особливо помітна ефективність МГК при реконструкції старих мостів і шляхопроводів із заміною масивних типових конструкцій на склепіння (арку) з гофрованого металу під насипом. При такій реконструкції можна отримати значну економію за витратами матеріалів, витратами часу, а значить і фінансовими витратами. Навіть з простого схематичного порівняння за матеріалоємністю зрозуміло, що, наприклад, прольот склепіння (арки) під насипом може бути майже втричі меншим за довжину балкового мосту з типових конструкцій через необхідність перекривати балковими прогоновими будовами з опорами не тільки русло, а ще й конуси насипу (рис. 2).

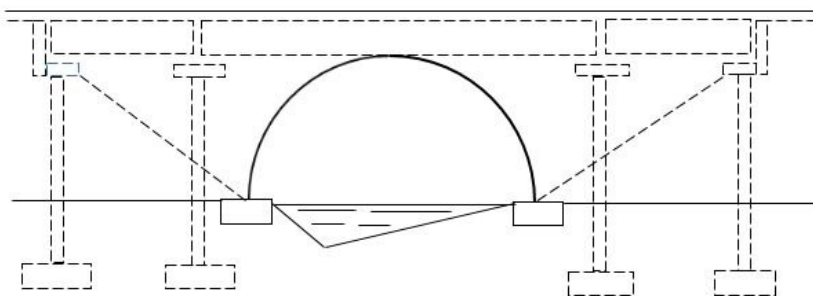


Рис. 2. Схема до порівняння матеріалоємності при реконструкції балкового автодорожнього моста (пунктирні лінії) із заміною типових конструкцій на склепіння з гофрованого металу під дорожнім насипом

На рис. 3 показано приклад (схема), (повздовжній і поперечний перерізи) технічного рішення із заміною залізничного моста з типовою балковою прогоновою будовою довжиною 9,0 м на склепінчасту споруду [5] з МГК з розміром отвору 3,0 м (приблизно як і отвір балкового місту, з урахуванням конусів насипу) [5].

У таблиці наведено (для порівняння) дані про витрати основних матеріалів на типовий балковий міст і мостову споруду з МГК (див. рис. 3), які свідчать про те, що тільки за витратою основних матеріалів можлива значна економія – бетону майже вдвічі, сталі приблизно у 1,6 раза.

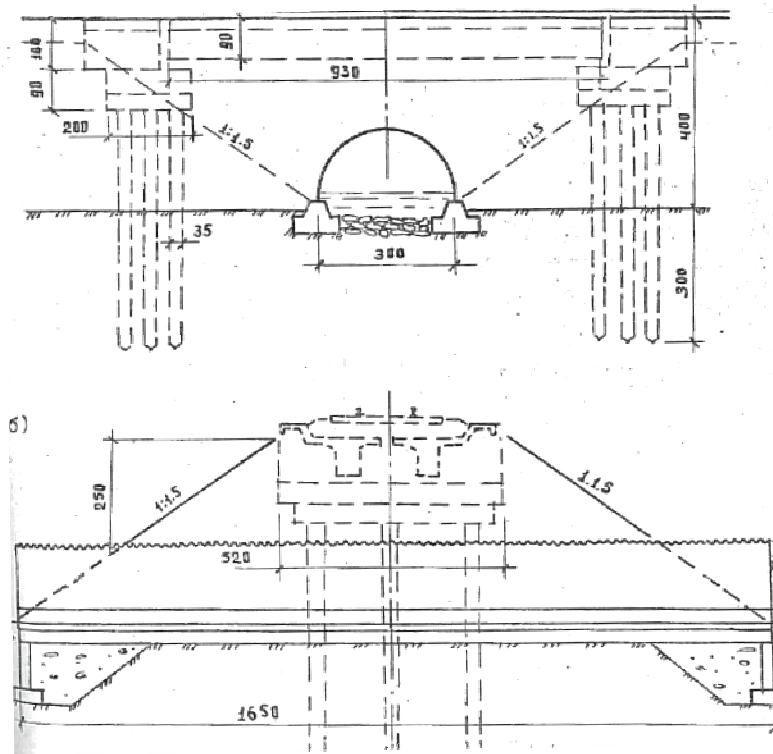


Рис. 3. Приклад (схема) технічного рішення (повздовжній і поперечний перерізи) заміни балкового залізничного моста з прогоновою будовою довжиною 9,3 м на склепінчасту споруду з МГК з отвором 3,0 м [5]

Таблиця

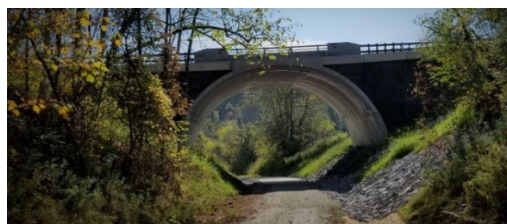
Витрати основних матеріалів на міст з типових конструкцій
і на мостову споруду з МГ

Тип споруди	Елемент споруди	Витрати основних матеріалів, бетон, м ³ /сталь, т
Балковий міст	Прогонова будова	16,30/5,48
	Стояни:	
	- палі фундаменту	13,23/1,20
	- ригелі	18,00/1,26
	- шафні блоки	3,6/0,46
	- всього на стояни	31,59/2,92
	Всього на споруду	47,89/8,40
Склеписта споруда з МГК	Склепіння з МГК	- /2,04
	Блоки фундаменту	24,00/3,20
	Всього на споруду	24,00/5,24

Таке рішення реконструкції старих переважно балкових мостів і шляхопроводів із заміною типових масивних конструкцій склепінням з гофрованого металу поширено, наприклад, в США, про що свідчать численні публікації, зокрема [6] (рис. 4, рис. 5).



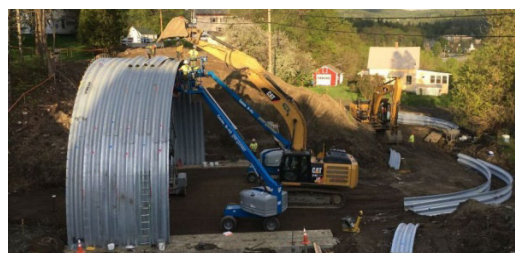
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Приклад реконструкції старого шляхопроводу довжиною 42,4 м, побудованого у 1936 р. (а), із заміною масивних конструкцій на склепіння з гофрованого металу (б) з прольотом 14,34 м та початкова (в) і проміжна (г)

стадії монтажу склепіння (США, шт. Вермонт) [6]



Рис. 5. Приклад реконструкції старого моста із заміною масивних конструкцій на склепіння з гофрованого металу, яке змонтовано без перерви руху старим мостом (США, шт. Огайо) [6]

Висновки. Виконаний розрахунково-теоретичний аналіз ефективності використання МГК під дорожнім насипом дає підстави для наступних висновків:

- завдяки роботі склепіння з МГК сумісно із ґрунтом насипу, який сприймає частину навантаження, обмежує деформації склепіння і забезпечує рівновагу системи *конструкція – ґрунт*, несуча здатність таких споруд суттєво збільшується, відповідно зменшуються витрати матеріалів;

- особливо помітна ефективність склепінчастих споруд з МГК при їх використанні замість балкових мостів і шляхопроводів з масивних типових конструкцій, при реконструкції старих транспортних споруд, за рахунок значно меншої матеріалоємності, меншої ваги конструкцій, а значить спрощення і прискорення монтажу, зменшення загальних витрат на будівництво і експлуатацію, зокрема через відсутність складних деформаційних швів між прогонами і опорних елементів, які потребують системного технічного догляду.

1. Герцог А. А. Гофрированные трубы на автомобильных дорогах. М. : Гушосдор, 1939. 112 с. **2.** Водопропускные трубы под насыпями / Е. А. Артамонов, Г. Я. Волченков, Р. С. Клейнер, Р. Е. Подвальный, А. С. Потапов, К. Б. Щербина, О. Я. Янковский ; под ред. О. А. Янковского. М. : Транспорт, 1982. 232 с. **3.** Металлические гофрированные трубы под насыпями / Н. М. Колоколов, О. А. Янковский, К. Б. Щербина,

С. Э. Черняховская. М. : Транспорт, 1973. 117 с. **4.** ВБН В.2.3 – 218 – 198: 2007. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з листових гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Відомчі будівельні норми України. Київ : Укравтодор, 2007. 49 с. **5.** Абрамов В. М. Металлические гофрированные своды под грунтовой засыпкой : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Л. : ЛИИЖТ, 1989. 20 с. **6.** Transportation research board (TRB). TRB Webinar: Using Buried Bridge Technologies to Accelerate Bridge Construction Processes. March, 14, 2022. URL: [//stj2bbridge.vtransportojets.Vemont.gov/index.html](https://stj2bbridge.vtransportojets.Vemont.gov/index.html). (дата звернення: 10.08.2023).

REFERENCES:

1. Hertsoh A. A. Hofryrovannye truby na avtomobylnykh dorohakh. М. : Hushosdor, 1939. 112 с. **2.** Vodopropusknye truby pod nasypami / E. A. Artamonov, H. Ya. Volchenkov, R. S. Kleiner, R. E. Podvalnyi, A. S. Potapov, K. B. Shcherbyna, O. Ya. Yankovskyi ; pod red. O. A. Yankovskoho. М. : Transport, 1982. 232 с. **3.** Metallicheskie hofrirovannye truby pod nasypami / N. M. Kolokolov, O. A. Yankovskyi, K. B. Shcherbyna, S. E. Cherniakhovskaia. М. : Transport, 1973. 117 с. **4.** VBN V.2.3 – 218 – 198: 2007. Sporudy transportu. Proiektuvannia ta budivnytstvo sporud z lystovykh hofrovanykh konstruktsii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia. Vidomchi budivelni normy Ukrainy. Kyiv : Ukravtodor, 2007. 49 с. **5.** Abramov V. M. Metallicheskie hofrirovannye svody pod gruntovoi zasypkoi : avtoref. dyss. ... kand. tekhn. nauk. L. : LYYZhT, 1989. 20 с. **6.** Transportation research board (TRB). TRB Webinar: Using Buried Bridge Technologies to Accelerate Bridge Construction Processes. March, 14, 2022. URL: [//stj2bbridge.vtransportojets.Vemont.gov/index.html](https://stj2bbridge.vtransportojets.Vemont.gov/index.html). (data zvernennia: 10.08.2023).

Abramov V. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Obolonkov D. F., Senior Lecturer (Donbas National Academy of
Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (for the period of martial
law)

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING METAL CORRUGATED STRUCTURES IN THE RECONSTRUCTION OF BRIDGES

General information and reference data about road structures made
of corrugated metal structures (culverts under the road embankment,

small bridges and tunnels) are given, which have been used for transport construction in many countries of the world and in Ukraine for a relatively long time.

The state of affairs regarding the study of the features and advantages of using such structures, the availability and basic calculation provisions of normative documents for their design and construction both in the past (on the territory of the former USSR) and in the present time, in Ukraine, is considered.

Based on the results of theoretical calculation analysis, it is shown that the basis of the effectiveness of structures made of metal corrugated structures is their joint work with the soil of the road embankment. This is done due to the fact that the flexible arch (or circle culvert) transfers part of the vertical load from the mass of the embankment and vehicles to the ground when the walls are moved into the running ground. Qualitative and quantitative indicators (graphs) of the increase in the bearing capacity of a structure made of corrugated metal and the reduction of internal stresses in its elements depending on the elastic properties of the embankment soil are presented.

Data with diagrams, figures and a table comparing the values of material consumption for various construction options are presented, which testify to the effectiveness of using a arch made of corrugated metal instead of massive typical structures in the reconstruction of bridges, in particular due to a significant reduction in material consumption.

Keywords: metal corrugated structures; efficiency; reconstruction; consumption of materials.
