

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.014.27-422.12/.13

В. В. КОВАЛЬЧУК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Рухомий склад і колія», Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (097) 223 72 43, ел. пошта kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0003-4350-1756

### ВПЛИВ ТОВЩИНИ ГОФРОВАНОГО ЕЛЕМЕНТА НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНІХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета.** В роботі передбачається проведення досліджень напружено-деформованого стану та розрахунку відносних деформацій вертикального та горизонтального діаметрів металевих гофрованих конструкцій (МГК) типу горизонтальний еліпс поперечного перерізу при їх взаємодії із ґрунтом засипки в залежності від товщини металевої гофрованої труби. Такі дослідження необхідні для оптимального проектування МГК, встановлення причин появи дефектів, своєчасного прийняття відповідних інженерних рішень із метою підвищення несучої здатності МГК та обґрунтованого використання коштів на їх будівництво або реконструкцію існуючих транспортних споруд із застосуванням металевих гофрованих труб. **Методика.** Розрахунки напружень та стійкості форми МГК проведено за допомогою розробленого математичного алгоритму в програмному середовищі Mathcad 14. У ході досліджень задавалися різні товщини металевої гофрованої труби; і подальші розрахунки проводилися при проектному значенні ступеня ущільнення ґрунтової засипки та величини динамічного навантаження від рухомого складу залізниць. **Результати.** Із проведених розрахунків встановлено, що найбільший вплив товщина металевої гофрованої труби має на міцність при розрахунку за нормальними напруженнями та на величину відносних вертикальних деформацій труби. Тому розрахунковими параметрами при проектуванні металевих гофрованих конструкцій із невеликими висотами засипки (від 1,2 м до 3 м) над її вершиною є розрахунок міцності за нормальними напруженнями та розрахунок із визначення відносних вертикальних деформацій труби. **Наукова новизна.** Вперше проведені розрахунки напружено-деформованого стану та відносних деформацій вертикального і горизонтального діаметрів МГК поперечного перерізу типу горизонтальний еліпс при взаємодії із ґрунтом засипки. При цьому було враховано комплекс факторів – ступінь ущільнення ґрунтової засипки, величина динамічного навантаження від рухомого складу залізниць та різна товщина металевої гофрованої труби. **Практична значимість.** Отримані результати напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій типу горизонтальний еліпс поперечного перетину можуть бути використані інженерами Мостовипробувальних станцій Укрзалізниці та Укравтодору, а також проектними організаціями, які займаються проектуванням металевих гофрованих конструкцій.

*Ключові слова:* металева гофрована конструкція; товщина металевої гофрованої труби; ступінь ущільнення ґрунтової засипки; динамічне навантаження; відносні деформації; напруження; міцність; стійкість

#### Вступ

Металеві гофровані конструкції є перспективними транспортними спорудами під час будівництва нових та реконструкції існуючих

транспортних споруд, таких як малі балочні мости, залізобетонні та кам'яні труби. А також вони є невід'ємною складовою при ліквідації паводкових наслідків підмиву залізничних та

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

автомобільних доріг. Перші гофровані конструкції почали застосовувати за кордоном, спочатку в Росії, а потім у США ще в позаминулому столітті. Зокрема, петербурзький металевий завод запропонував їх використання ще в 1875 році, як альтернативу дерев'яним водопропускним спорудам на залізницях [1–2].

До 1901 р. гофрований метал для труб отвори 0,64–1,07 м застосовували із сортаментів: 37x15 і 68x34 мм з товщиною листа 1,0 і 1,2 мм. З такого металу було побудовано 524 водопропускних споруди. Пізніше під час будівництва Оренбург-Ташкентської залізничної дороги для труб тих же отворів був застосований метал іншого сортаменту: 60x16 мм і 100x50 мм з товщиною листа в 1,2 і 1,6 мм. Всі металеві труби, укладені на залізницях Росії наприкінці XIX століття, мали круглий обрис.

У період з 1900 до 1912 рр. в Росії було укладено кілька тисяч металевих гофрованих труб [1–2]. Однак перший досвід експлуатації труб виявив їх низьку експлуатаційну надійність. Значна частина труб отримала пошкодження у вигляді випучування частини конструкції всередину труби. Це викликало необхідність масового обстеження стану гофрованих труб на залізницях Росії. Таке обстеження було виконано в 1913 р. [6]. При цьому було обстежено понад 60 000 пог. м водопропускних труб, побудованих у 1885–1913 рр., термін служби яких сягав 28 років. Найбільша кількість споруд з різними дефектами була виявлена на Оренбург-Ташкентській залізниці, де обстежено 13 300 пог. м труб. За порівняно короткий термін служби (14 років) до моменту обстеження дефектними виявилися 30 % труб, з них 21 % мали недопустимий прогин і просідання, а 9 % – сильно пошкоджені корозією.

Аналогічна ситуація була під час будівництва МГК у США та Канаді [11, 16]. Перші труби малого діаметра з товщиною металевого листа біля 1 мм почали вкладатися в 1896 р. спочатку при будівництві залізниць, а потім автомобільних доріг. Поширення гофрованих труб в США і Канаді в якості водопропускних споруд супроводжувалося великою кількістю досліджень. Так, асоціація американських залізничних інженерів (AREA) в 1953 р. опублікувала дані за результатами обстеження стану 300 водопропускних металевих труб діаметром від 1,52 м і більше. За виконаними в США обстеженнями було встановлено, що

надійність і стійкості тонкостінних металевих труб забезпечується тільки у разі дотримання правил якісної рівномірної засипки і проектного ущільнення ґрунту засипки. Під час будівництва багатоочкових водопропускних труб були виявлені їх дефекти, які пояснювалися складністю ущільнення ґрунту між трубами. Через те в нормах США обмежена мінімальна відстань між трубами [5, 9, 11, 14].

Під час Другої світової війни і в наступні роки металеві гофровані труби знайшли своє застосування як тимчасові штучні споруди під час відновлення та будівництва транспортних споруд з обмеженим строком експлуатації.

В цей час у зв'язку з удосконаленням виготовлення самих гофрованих елементів і технології засипки з'явилася можливість використання подібних конструкцій в капітальному будівництві як для пропуску води (труби до 3 м), так і як альтернатива малим мостам (труби з прольотом 6 м і більше).

Таке розширення сфери застосування МГК не мало наукового і нормативного забезпечення. Наявні нормативні документи [1, 5] стосувалися тільки круглих труб діаметром до 3 м і засновані на розрахунковому аналізі деформацій труб при спрощених гіпотезах про тиск ґрунту на трубу.

В Україні МГК почали застосовувати, в основному, з середини 90-х років [5]. Такі конструкції використані під час будівництва транспортних розв'язок та перепуску водотоків в АР Крим на автомобільній дорозі Київ – Одеса, Харків – Сімферополь та ін.; на Укрзалізниці споруджено МГК на дільниці Вадул Сирет – Держкордон.

Таким чином, досвід застосування МГК в ґрунтовому середовищі переконливо показав, що розглянуті конструкції при їх позитивних властивостях характеризуються відносно низькою надійністю і довговічністю. У процесі експлуатації у багатьох випадках спостерігається зростання недопустимих деформацій, а саме збільшення горизонтального та зменшення вертикального діаметрів труби. Для виключення недопустимих деформацій труб необхідно у подальшому розвинути методи розрахунку МГК, які працюють спільно з ґрунтом засипки, що дозволяють прогнозувати міцність і довговічність МГК.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

**Мета**

Сучасні дослідження напружено-деформованого стану МГК, які здійснюються за кордоном (в Україні взагалі відсутні) спрямовані на встановлення причин появи дефектів МГК арочного типу залежно від ступеня ущільнення ґрунтової засипки. Однак вплив товщини металеві гофрованої труби на міцність та стійкість металевих гофрованих конструкцій овоїдального поперечного перерізу (типу горизонтальний еліпс) вивчений та досліджений недостатньо. Тому необхідно виконати дослідження впливу товщини металеві гофрованої труби на міцність та стійкість металеві гофрованої конструкції під час дії на неї рухомого складу залізниць.

**Методика**

У роботах [2, 3, 5, 6] зазначено, що для оптимального проектування металевих гофрованих конструкцій необхідно враховувати вплив товщини металеві гофрованого листа на міцність і стійкість всієї конструкції [7, 8]. У результаті виконаних досліджень міцності МГК арочного типу залежно від товщини металеві гофрованого листа встановлено, що найбільше впливає товщина металеві гофрованого листа на напружений стан конструкції та вертикальні деформації МГК.

Для виконання досліджень, які зазначені у меті роботи, використовується металеві гофрована труба конструкції Multiplate MP 150 у формі горизонтального еліпсу (рис. 1) з такими

параметрами: внутрішнім вертикальним діаметром 6,20 м, внутрішнім горизонтальним діаметром 6,57 м, довжиною хвилі гофри 150 мм, висотою хвилі гофри 50 мм, питомою вагою ґрунтової засипки –  $\gamma=20$  кН/м<sup>3</sup>; модулем деформації ґрунтової засипки –  $E_0=33$  МПа; відстанню від підшови рейки до верху склепіння труби –  $h=1,88$  м; модулем пружності сталі –  $E=2,1 \cdot 10^5$  МПа; коефіцієнтом Пуассона матеріалу споруди –  $\nu=0,25$ ; питомою вагою матеріалу МГК –  $\gamma_{sh}=145,4$  кН/м<sup>2</sup>; площею перерізу однієї хвилі гофри –  $A=11,355$  см<sup>2</sup>; розрахунковим опором сталі за межею текучості –  $R_y=235$  МПа; коефіцієнтом умов роботи –  $m=0,9$ .

Товщини металеві гофрованих листів труби були прийнятими такими: 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм, 7 мм та 8 мм.

Розрахунки напружено-деформованого стану металеві гофрованої конструкції виконано за допомогою методу Петерсона [14] у програмному комплексі Matchad 11.

Навантаження на МГК змінювали таким чином: навантаження від власної ваги труби, засипки, шару щебеню та рейко-шпальної решітки залишали незмінними, показник RP (ступінь ущільнення ґрунтової засипки) приймали рівним 0,97. Динамічне навантаження на шпали від рухомого складу пропорційно збільшували і перераховували відповідні напруження у точках контуру перерізу труби. Розподіл навантажень по шпалах вздовж колії отримали із розрахунків колії на міцність [4, 9–19].

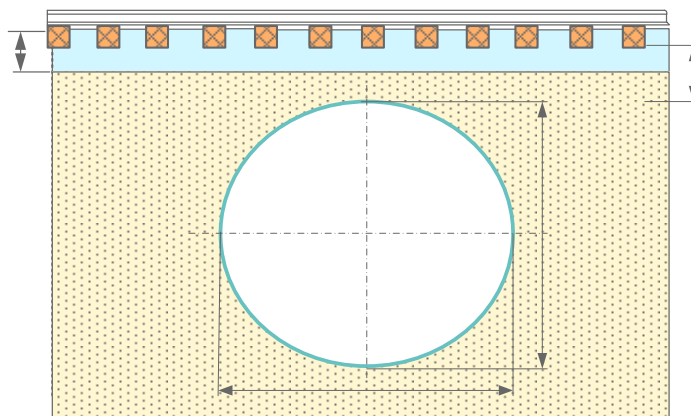


Рис. 1. Розрахункова схема до розрахунку міцності металевих гофрованих конструкцій поперечного перерізу типу горизонтальний еліпс

Fig. 1. Design model to calculate the strength of corrugated metal structures of horizontal cross-sectional ellipse

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

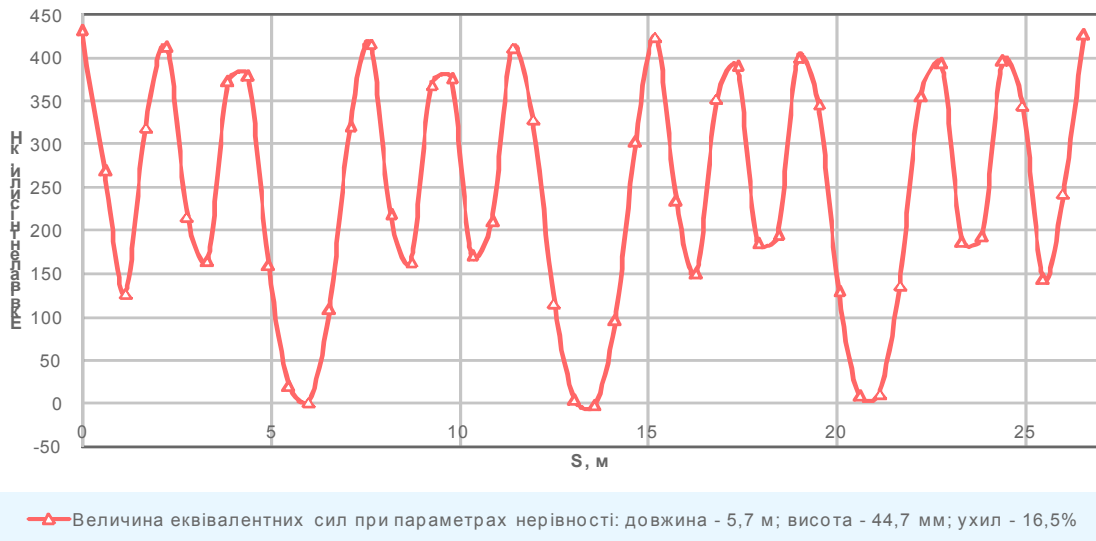


Рис. 2. Величина еквівалентних сил від локомотива 2М62 при значенні модуля пружності підрейкової основи 92,1 МПа

Fig. 2. The value of the equivalent force from a locomotive 2M62 at the value of the elasticity modulus of under-rail bases of 92.1 MPa

### Результати

Результати еквівалентних сил, отриманих від локомотива 2М62, наведені на рис. 2.

Числові розрахунки еквівалентних сил показали, що максимальні сили досягають значення до 450 кН, при таких параметрах нерівності: довжині – 5,7 м, висоті – 44,7 мм та ухилі – 16,5 %.

Для отримання значень напружень та відносних деформацій вертикального та горизонтального діаметрів металевих гофрованих конструкцій залежно від товщини металеві гофрованої труби було розроблено програмне забезпечення із використанням математичного апарату Mathcad 14.

За отриманими значеннями еквівалентних сил розраховуємо максимальні напруження в стінці труби, використовуючи рівняння Нав'є:

$$\sigma = \frac{N_{d.s}}{A} + \frac{M_{d.s}}{W} < f_{yd}, \quad (1)$$

де  $N_{d.s}$ ,  $M_{d.s}$  – сили та моменти сил у стані нормальної експлуатації;  $A$  – площа поперечно-го перерізу та момент опору перерізу на одини-

цю довжини труби;  $f_{yd}$  – границя текучості сталі труби;  $W$  – момент опору одиниці довжини труби.

Відносні зміни вертикального та горизонтального діаметрів металеві гофрованої труби розраховуємо за формулою:

$$\zeta = \frac{\gamma \cdot (h + R)}{\frac{\delta}{R} + \frac{E_0}{E} (1 - \nu^2)}, \quad (2)$$

де  $R$  – радіус споруди;  $E_0$  – модуль деформації ґрунту засипки, Па;  $E$  – модуль пружності сталі, Па;  $\delta$  – товщина металеві гофрованої труби;  $\nu=0,25$  – коефіцієнт Пуассона матеріалу споруди;  $\gamma$  – питома вага матеріалу споруди, Н/м<sup>3</sup>,  $h$  – висота засипки над вершиною металеві гофрованої труби (починаючи вимір від підшви шпал, див. рис.1).

Результати розрахунків напружень та відносних вертикальних і горизонтальних деформацій МГК наведені у табл. 1 та рис. 3.

Таблиця 1

Table 1

**Результати розрахунку нормальних напружень та відносних деформацій МГК**  
**The calculation results of normal stresses and relative deformations in corrugated metal structures**

Розрахункові параметри	Товщина металевої гофрованої труби, мм						
	3	4	5	6	7	8	9
Напруження, МПа	186,509	173,364	161,707	151,807	143,416	136,25	130,072
Відносна вертикальна деформація МГК, %	3,7	2,78	2,24	1,86	1,6	1,4	1,24
Відносна горизонтальна деформація МГК, %	4,06	3,06	2,45	2,04	1,75	1,53	1,36

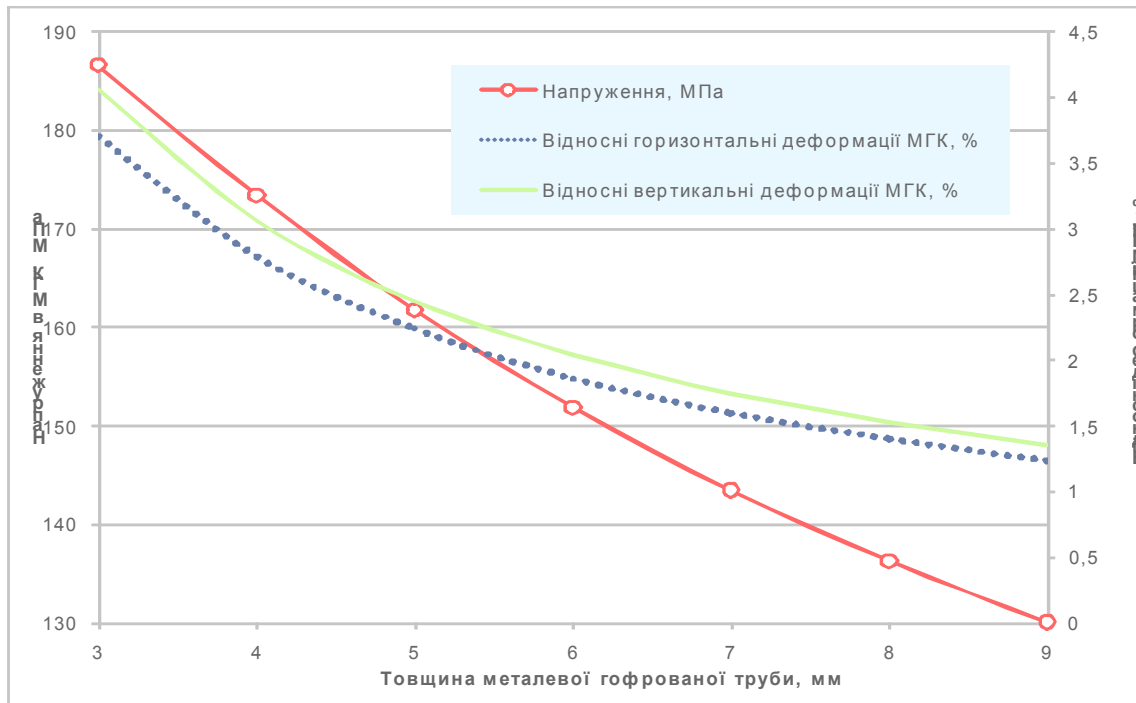


Рис. 3. Графік нормальних напружень та відносних деформацій МГК

Fig. 3. Graph of the normal stress and relative deformations of corrugated metal structures

Отримані результати напружень показали (див. табл. 1 та рис. 3), що міцність елементів металевої гофрованої конструкції, яка виконана із гофрованої структури Multiplate MP150 із розміром хвилі гофри 150x50 мм, забезпечена при всіх досліджуваних товщинах металевої гофрованої труби при дії найбільш несприятливого навантаження від рухомого складу залізниць.

Умова обмеження граничних відносних деформацій вертикального та горизонтального діаметрів труби виконується при всіх товщинах

металевої гофрованої труби, тобто не перевищує 5 %.

#### Наукова новизна та практична значимість

Автором вперше виконані аналітичні дослідження напружено-деформованого стану та відносних деформацій вертикального і горизонтального діаметрів МГК поперечного перерізу типу горизонтальний еліпс при взаємодії з ґрунтом засипки із врахуванням комплексу факторів – ступеня ущільнення ґрунтової засипки,

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

величини динамічного навантаження від рухомого складу залізниць та різній товщині металевої гофрованої труби. У результаті виконаних досліджень встановлено, що при проектному ущільненні ґрунтової засипки, яке становить 97 % по методу Проктора, критерій міцність та відносні вертикальні деформації металевої гофрованої труби забезпечуються навіть при товщині металу 3 мм.

Отримані результати напружено-деформованого стану та відносних деформацій горизонтального та вертикального діаметрів металевих гофрованих конструкцій типу горизонтальний еліпс поперечного перерізу, можуть бути використані інженерами Мостовипробувних станцій Укрзалізниці та Укравтодору та проектними організаціями, які займаються проектуванням металевих гофрованих конструкцій.

**Висновки**

Із виконаних досліджень випливає, що розрахунковими параметрами під час проектування металевих гофрованих труб з невеликими висотами засипки (від 1,2 до 3,0 м) над вершиною металевої гофрованої труби є розрахунок міцності за нормальними напруженнями і розрахунок із визначення відносних вертикальних деформацій труби.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. ВСН 176-78. Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб : [утв. Минтрансстроем СССР и МПС СССР от 15 авг. 1978 г.]. – Москва : Оргтрансстрой, 1979. – 131 с.
2. Герцог, А. А. Гофрированные трубы на автомобильных дорогах / А. А. Герцог. – Москва : Гущосдор, 1939. – 112 с.
3. Гнедовский, В. Н. Трубы под железнодорожными насыпями / В. Н. Гнедовский. – Москва : Трансжелдориздат, 1938. – 267 с.
4. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість : ЦП-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – Київ : Трансп. України, 2006. – 168 с.
5. Коваль, П. М. Нормування при проектуванні і будівництві споруд з металевих гофрованих конструкцій / П. М. Коваль, І. П. Баб'як, Т. М. Сітдикова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту зал. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 114–117.
6. Металлические гофрированные трубы под насыпями / Н. М. Колоколов, О. А. Янковский, К. Б. Щербина, С. Э. Черняховская. – Москва : Транспорт, 1973. – 120 с.
7. Новодзинский, А. Л. Учет влияния толщины гофрированного элемента на прочность и устойчивость металлической водопропускной трубы / А. Л. Новодзинский, В. И. Клевко // Вестн. ПНИПУ. Стр-во и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 81–94.
8. Esmaeili, M. Minimum depth of soil cover above long-span soil-steel railway bridges / M. Esmaeili, J. Ali Zakeri, P. H. Abdulrazagh // Intern. J. of Advanced Structural Engineering. – 2013. – Vol. 5. – Iss. 1. – P. 1–7. doi:10.1186/2008-6695-5-7.
9. Handbook of steel drainage and highway construction products. – Ontario : Corrugated Steel Pipe Inst., 2002. – 470 p.
10. Kunecki, B. Zachowanie sie ortotropowych powlok walcowych w osrodku gruntowym pod statycznym i dynamicznym obciazeniem zewnetrznym : Rozprawa doktorska / B. Kunecki. – Wrocław : Instytut budownictwa Politechniki Wroclawskiej. Raport serii PRE. – 2006. – № 14. – 199 p.
11. Long-term behavior of large-span culverts in cohesive soils / M. C. McVay, P. Papadopoulos, D. Bloomquist, F. C. Townsend // Transportation Research Board. – 1993. – № 1415. – P. 40–46.
12. Machelski, Cz. Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych / Cz. Machelski – Wrocław : Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2008. – 208 p.
13. Modeling the Dynamic Failure of Railroad tank cars using a physically motivated internal state variable plasticity/damage nonlocal model / F. R. Ahad, K. Enakoutsu, K. N. Solanki [et al.] // Modelling and Simulation in Engineering. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–11. doi: 10.1155/2013-/815158.
14. Pettersson, L. Design of soil steel composite bridges / L. Pettersson, H. Sundquist. – Stockholm : KTH Royal Institute of Technology, 2007. – 98 p.
15. Saat, M. R. Generalized railway tank car safety design optimization for hazardous materials transport: Addressing the trade-off between transportation efficiency and safety / M. R. Saat, C. P. L. Barkan // J. of Hazardous Materials. – 2011. – № 189 (1–2). – P. 62–68. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.01.136.
16. Scientific evidence for walls fastening technologies of working trench by the special method «Slurry wall» for shallow subways stations / S. V. Borchevskiy, V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin [et. all] // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- залізн. трансп. – 2014. – № 6 (54). – С. 154–163. doi: 10.15802/stp2014/33740.
17. Sharma, S. Evaluation of culvert deformations using the finite element method / S. Sharma, J. H. Hardcastle // Transportation Research Board. – 1993. – № 1415. – P. 32–39.
18. Weltschev, M. Comparison of the operating life of tank containers, tank vehicles and rail tank cars for the carriage of dangerous goods in practice, analysis of causes of damage / M. Weltschev, S. Schwarzer, F. Otremba // Chem. Engineering Transactions. – 2013. – № 31. – P. 559–564.
19. Wysokowski, A. Mostowe konstrukcje gruntowo – powlokowe. Laboratoryjne badania niszczone. Awary w czasie budowy i eksploatacji / A. Wysokowski, L. Janusz // Zapobieganie-Diagnostyka-Naprawy-Rekonstrukcje : XXIII Konferencja Naukowa-Techniczna Awary Budowlane (23.05.–26.05.2007). – Szczecin-Międzyzdroje, 2007. – P. 541–550.

В. В. КОВАЛЬЧУК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Подвижной состав и путь», Львовський філіал Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Україна, 79052, тел. +38 (097) 223 72 43, ел. почта kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0003-4350-1756

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ГОФРИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Цель.** В работе предусматривается проведение исследований напряженно-деформированного состояния и расчета относительных деформаций вертикального и горизонтального диаметров металлических гофрированных конструкций (МГК) типа горизонтальный эллипс поперечного сечения при их взаимодействии с почвой засыпки в зависимости от толщины металлической гофрированной трубы. Такие исследования необходимы для оптимального проектирования МГК, установления причин появления дефектов, своевременного принятия соответствующих инженерных решений с целью повышения несущей способности МГК и обоснованного использования средств на их строительство или реконструкцию существующих транспортных сооружений с применением металлических гофрированных труб. **Методика.** Расчеты напряжений и устойчивости формы МГК проведены с помощью разработанного математического алгоритма в программной среде Mathcad 14. В ходе исследований задавались различные толщины металлической гофрированной трубы; и дальнейшие расчеты проводились при проектном значении степени уплотнения грунтовой засыпки и величины динамической нагрузки от подвижного состава железных дорог. **Результаты.** Из проведенных расчетов установлено, что наибольшее влияние толщина металлической гофрированной трубы имеет на прочность при расчете по нормальным напряжениям и на величину относительных вертикальных деформаций трубы. Поэтому расчетными параметрами при проектировании металлических гофрированных конструкций с небольшими высотами засыпки (от 1,2 м до 3 м) над ее вершиной является расчет прочности по нормальным напряжениям и расчет по определению относительных вертикальных деформаций трубы. **Научная новизна.** Впервые проведены расчеты напряженно-деформированного состояния и относительных деформаций вертикального и горизонтального диаметров МГК поперечного сечения типа горизонтальный эллипс при взаимодействии с почвой засыпки. При этом был учтен комплекс факторов – степень уплотнения грунтовой засыпки, величина динамической нагрузки от подвижного состава железных дорог и разная толщина металлической гофрированной трубы. **Практическая значимость.** Полученные результаты напряженно-деформированного состояния металлических гофрированных конструкций типа горизонтальный эллипс поперечного сечения могут быть использованы инженерами Мостоисследовательских станций Укрзалізнички и Укравтодора, а также проектными организациями, которые занимаются проектированием металлических гофрированных конструкций.

**Ключевые слова:** металлическая гофрированная конструкция; толщина металлической гофрированной трубы; степень уплотнения почвенной засыпки; динамическая нагрузка; относительные деформации; напряжение; прочность; устойчивость

V. V. KOVALCHUK<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Rolling Stock and Track», Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, I. Blazhkevych St., 12a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (097) 223 72 43, e-mail kovalchuk.diit@mail.ru, ORCID 0000-0003-4350-1756

## THE EFFECT OF CORRUGATED ELEMENTS THICKNESS ON THE DEFLECTED MODE OF CORRUGATED METAL STRUCTURES

**Purpose.** The work provides research the deflected mode and calculation the relative deformation of vertical and horizontal diameters of corrugated metal structures (CMS), horizontal ellipse type, and cross section in their interaction with soil backfill depending on the thickness of corrugated metal pipe. Such studies are required for optimal design of CMS, establishing the causes of defects timely, appropriate engineering solutions to improve the bearing capacity of the CMS and reasonable use of funds for their construction or rehabilitation of existing transportation facilities using corrugated metal pipes. **Methodology.** Stresses and stability calculations of CMS form are conducted using the developed mathematical algorithm in program environment Mathcad 14. In these studies different thickness of corrugated metal pipe were assigned, and further calculations were carried out at the design value of backfill soil compaction degree and magnitude of dynamic loading of railway transport. **Findings.** From the calculations is determined that the most influence the thickness of the corrugated metal pipe has on the strength in the calculation of the normal stresses and value of the vertical pipe strains. Therefore, the calculated parameters in the design of corrugated metal structures with small filling heights (from 1.2 m to 3 m) above its peak is calculation of the strength by the normal stresses and determination of the vertical deformation of the pipe. **Originality.** For the first time, calculations of the deflected mode and relative deformations of vertical and horizontal cross-sectional diameters of CMS, horizontal ellipse type in the interaction with soil backfill. The factors complex was taken into account – the backfill soil compaction degree, the value of dynamic loading of railway transport and different thickness of corrugated metal pipe. **Practical value.** The results of the deflected mode of corrugated metal structures such as horizontal ellipse of cross sections can be used by engineers in the bridge probation stations of Railways of Ukraine and Ukravtodor, in the project organizations involved in the design of corrugated metal structures.

**Keywords:** corrugated metal construction; corrugated metal pipe thickness; backfill soil compaction degree; dynamic loading; relative deformations; strain; stress; strength; stability

### REFERENCE

1. VSN 176-78. *Instruktsiya po proyektirovaniyu i postroyke metallicheskih gofrirovannykh vodopropusknykh trub* [VSN 176-78. Instructions for design and construction of corrugated metal pipe culverts]. Moscow, Orgtransstroy Publ., 1979. 131 p.
2. Gertsog A.A. *Gofrirovannyye truby na avtomobilnykh dorogakh* [Corrugated pipes on the roads]. Moscow, Gushosdor Publ., 1939. 112 p.
3. Gnedovskiy V.N. *Truby pod zheleznodorozhnymi nasypnyami* [Pipes under the railway embankments]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1938. 267 p.
4. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist. TsP-0117* [Terms of railway line calculations for strength and stability. TsP -0117]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2006. 168 p.
5. Koval P.M., Babyak I.P., Sitydikova T.M. Normuvannia pry proektuvanni i budivnytstvi sporud z metalevykh hofrovanykh konstruktsii [Normalization of the design and construction of buildings of corrugated metal structures]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, no. 33, pp. 114-117.
6. Kolokolov N.M., Yankovskiy O.A., Shcherbina K.B., Chernyakhovskaya S.E. *Metallicheskiye gofrirovannyye truby pod nasypnyami* [Metal corrugated pipes under the embankment]. Moscow, Transport Publ., 1973. 120 p.
7. Novodzinskiy A.L., Kleveko V.I. Uchet vliyaniya tolschiny gofrorovannogo elementa na prochnost i ustoychivost metallicheskoj vodopropusknoy truby [Consideration of the influence of the corrugated element thickness on the strength and stability of metal culverts]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of Perm State National Research Polytechnic University. Construction and Architecture], 2012, no. 1, pp. 81-94.



## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

8. Esmaeili M., Ali Zakeri J., Abdulrazagh P.H. Minimum depth of soil cover above long-span soil-steel railway bridges. *Intern. Journal of Advanced Structural Engineering*, 2013, vol. 5, issue 1, pp. 1-7. doi:10.1186/2008-6695-5-7.
9. Handbook of steel drainage and highway construction products. American Iron and Steel Institute. Canada, CSPI Publ., 2002. 470 p.
10. Kunecki B. *Zachowanie sie ortotropowych powlok walcowych w osrodku gruntowym pod statycznym i dynamicznym obciazeniem zewnetrznym: Rozprawa doktorska*. Instytut budownictwa Politechniki Wroclawskiej. Raport serii PRE № 14/2006, Wroclaw, 2006. 199 p.
11. McVay M.C., Papadopoulos P., Bloomquist D., Townsend F.C. Long-term behavior of large-span culverts in cohesive soils. *Transportation Research Board*, 1993, no. 1415, pp. 40-46.
12. Machelski Cz. Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych. Wroclaw, Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne Publ., 2008. 208 p.
13. Ahad F.R., Enakoutsu K., Solanki K.N., Tjiptowidjojo Y., Bammann D.J. Modeling the Dynamic Failure of Railroad tank cars using a physically motivated internal state variable plasticity/damage nonlocal model. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2013, vol. 2013, pp. 1-11. doi: 10.1155/2013/815158.
14. Pettersson L., Sundquist H. Design of soil steel composite bridges. Stockholm, KTH Royal Institute of Technology Publ., 2007. 98 p.
15. Saat M.R., Barkan C.P.L. Generalized railway tank car safety design optimization for hazardous materials transport: Addressing the trade-off between transportation efficiency and safety. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, no. 189 (1-2), pp. 62-68. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.01.136.
16. Borschevskiy S.V., Petrenko V.D., Tiutkin O.L., Kulazhenko Ye.Yu., Kulazhenko O.M. Scientific evidence for walls fastening technologies of working trench by the special method «Slurry wall» for shallow subways stations. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 6 (54), pp. 154-163. doi 10.15802/stp2014/33740.
17. Sharma S., Hardcastle J.H. Evaluation of culvert deformations using the finite element method. *Transportation Research Board*. Washington, 1993, no. 1415, pp. 32-39.
18. Weltshev M., Schwarzer S., Otremba F. Comparison of the operating life of tank containers, tank vehicles and rail tank cars for the carriage of dangerous goods in practice, analysis of causes of damage. *Chem. Engineering Transactions*, 2013, no. 31, pp. 559-564.
19. Wysokowski A., Janusz L. Mostowe konstrukcje gruntowo – powlokowe. Laboratoryjne badania niszczone. Awary w czasie budowy i eksploatacji. *Zapobieganie-Diagnostyka-Naprawy-Rekonstrukcje XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna (23.05.–26.05.2007)*. Szczecin-Międzyzdroje, 2007, pp. 541-550.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Й. Й. Лучком (Україна); д.фіз.-мат.н., проф. М. І. Стоділкою (Україна)

Надійшла до редколегії 20.03.2015

Прийнята до друку 11.06.2015