

**Абрамов В. М., к.т.н., доцент** (Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ, [vr09@i.ua](mailto:vr09@i.ua) (на період воєнного стану))

## ГРАНИЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ ДОРОЖНІХ СПОРУД З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ

Наведено дані аналізу чинних будівельних норм з проєктування і монтажу дорожніх споруд з гофрованого металу в частині розрахунку, зокрема визначення граничних деформацій (прогину). Показано, що окремі положення цих норм стосовно розрахунків можуть бути використані тільки для окремих типів і розмірів споруд і тому є потреба вдосконалювання цих положень.

На підставі результатів аналізу і розрахунково-теоретичних досліджень показано, що є можливість уточнення окремих положень чинних норм. Зокрема надано пропозиції щодо визначення граничних деформацій гофрованих споруд у формі кола чи у формі аркового склепіння. Надано і обґрунтовано відповідні розрахункові залежності з урахуванням різних типів і параметрів споруд.

**Ключові слова:** споруди з гофрованого металу; дорожній насип; граничний прогин.

**Вступ.** Металеві гофровані конструкції вже порівняно давно і досить успішно використовуються у транспортному будівництві багатьох країн світу як водопропускні труби під дорожнім насипом, малі та середні мости, а також тунелі [1]. Існують різні методи і способи розрахунку міцності, стійкості і деформацій таких споруд. Накопичено досвід монтажу і експлуатації.

В Україні також є будівельні норми з проєктування і монтажу споруд з гофрованого металу, які містять і розділи з регламентування виконання розрахунків [2]. Окремі положення цих норм у частині розрахунків надають можливість отримати тільки приблизні результати і тільки для частини типів і розмірів споруд. Зважаючи на це, є підстави для вдосконалення цих положень.

**Аналіз публікацій.** У чинному нормативному документі [2] розрахунок гофрованих дорожніх споруд за другою групою

граничних станів складається з порівнювання деформацій (відносної зміни вертикального чи горизонтального діаметрів), які отримано розрахунком, з граничним значенням. Граничним значенням прогину прийнято величину 5% від діаметру, до речі саме так, як у аналогічних нормативних документах колишнього СРСР 70-х років з проєктування дорожніх металевих гофрованих труб в формі кола діаметром 1,5–3,0 м [3].

Однак визначення допустимої відносної деформації труб (до 5%) незалежно від висоти насипу, як це прийнято за методиками норм [2] і документа [3], при діаметрах труб більших ніж 3,0 м, може бути пов'язано із недопустимим локальним осіданням поверхні насипу (і дорожнього покриття) над трубою. Наприклад, для труби діаметром 8 м (норми [2] поширюються на споруди з таким максимальним діаметром) допустима абсолютна деформація (прогин) за такими умовами (5% від діаметру) складе 400 мм при висоті насипу над трубою як 1 м, так і 10–15 і більше м.

**Мета роботи і методика.** На підставі аналізу положень чинних норм стосовно розрахунків, зокрема у частині визначення граничних деформацій (прогину) дорожніх споруд з гофрованого металу і розрахунково-теоретичних досліджень надати пропозиції щодо вдосконалення відповідних положень чинних норм.

**Основна частина роботи.** Гранично допустима величина прогину труби під дорожнім насипом може бути визначена як величина, відповідна до величини допустимого осідання (місцевої нерівності) поверхні дорожнього покриття над трубою. Це можливо виконати за схемою, близькою до того, як визначається зв'язок осідання земної поверхні із деформаціями конструкцій міських підземних споруд, тунелів метрополітену і горизонтальних гірських виробок

Зв'язок між деформаціями верхньої частини підземних конструкцій, наприклад тунелів метрополітену, і осіданням земної поверхні визначають з урахуванням приблизної рівності об'ємів ґрунту на контакті з конструкцій (яка має прогин) тунелю метрополітену і ґрунту, який осідає на поверхні над тунелем [4; 5].

Аналогічно викладеному вище, об'єм ґрунту  $A$  (для плоскої задачі – площа), що осідає на поверхні дорожнього насипу над деформованою гнучкою трубою (чи склепінням у вигляді півколової арки), теоретично дорівнює об'єму (площі) ґрунту  $A_1$ , який осідає

сумісно зі склепінням. Якщо приблизно прийняти переріз мульди осідання поверхні насипу у формі трикутника (криволінійний насправді) і переріз форми осідання склепіння теж як трикутник, тоді площі  $A$  і  $A_1$  із звичайних геометричних рішень, згідно зі схемою на рис. 1, можна визначити за формулами (1) і (2).

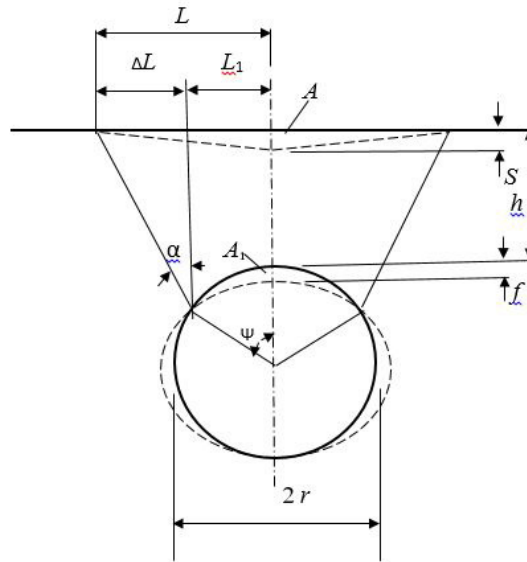


Рис. 1. Схема до визначення допустимого прогину гнучкої труби під дорожнім насипом

$$A = SL = S(L_1 + \Delta L) = S((r \sin \psi) + (h + r(1 - \cos \psi)) \operatorname{tg} \alpha), \quad (1)$$

$$A_1 = fL_1 = fr \sin \psi, \quad (2)$$

де  $\psi$  – половина куту зони, в якій склепіння зміщується всередину, який визначається, як прийнято при проектуванні тунелів [8];

$\alpha$  – кут, що визначає зону зсуву (осідань) ґрунту поверхні над гнучкою спорудою, який приблизно дорівнює  $34^\circ$  [5];

$S$  – найбільше допустиме осідання поверхні дороги над склепінням;

$h$  – висота насипу над склепінням.

Виходячи з того, що  $A = A_1$ , можна отримати значення найбільшого допустимого осідання (прогину)  $f_{cp}$  гнучкої труби (чи склепіння у вигляді півколової арки), використовуючи граничне значення осідання дорожньої поверхні  $S_{cp}$ , яке допустиме,

наприклад, з умов забезпечення безпеки дорожнього руху, згідно з чинними нормами [6], за формулою:

$$f_{zp} = \frac{S_{zp} ((r \sin \psi) + (h + r(1 - \cos \psi)) \operatorname{tg} \alpha)}{r \sin \psi}. \quad (3)$$

Якщо за величину  $S_{zp}$  прийняти граничну глибину окремих осідань дорожнього покриття, регламентовану у нормативному документі [6], яка, наприклад для дороги другої категорії, дорівнює 4 см, то залежність граничного прогину склепіння  $f_{zp}$  від висоти насипу  $h$  (від 1 до 10 м) над трубою чи арковим склепінням різного радіусу (1–4 м), згідно з схемою на рис. 1 і формулою (3), виглядає, як показано на рис. 2.

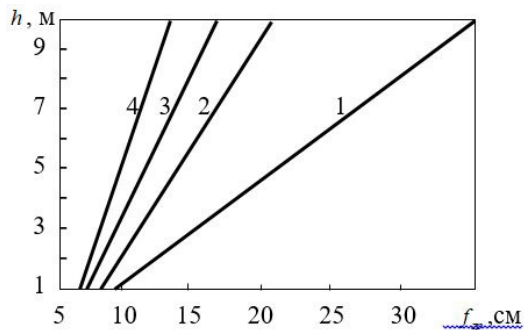


Рис. 2. Залежність граничного прогину  $f_{zp}$  від висоти насипу  $h$  для труб радіусом: 1 м (лінія 1); 2 м (лінія 2); 3 м (лінія 3); 4 м (лінія 4)

Аналіз прийнятого в нормах [2] значення граничного прогину гофрованих труб (5% від діаметру) показує, що це має бути пов'язано з прогином, при якому починається руйнування верхньої частини склепіння в безопорній зоні, при  $2\psi = 120^\circ$ . І це значення прийнято з понижуючим коефіцієнтом  $k$ .

Наприклад, для труби радіусом 1 м при  $2\psi = 120^\circ$  початку руйнування з розміщенням трьох точок верхньої частини склепіння на одній прямій відповідає прогин  $f = 100 - 100 \cos 60^\circ = 50$  см. Прогин 5% від діаметру складе  $f = 10$  см, значить дійсне руйнівне значення прогину (50 см) прийнято в нормах [2] з понижуючим коефіцієнтом  $k = 10/50 = 0,2$ . Прогин за формулою (3) чи за даними на рис. 2 складе 35 см, що значно відрізняється від 10 см.

Враховуючи ці розбіжності, є підстави у практичних розрахунках граничний прогин приймати як найменше зі значень за

формулою (4) і формулою (5), перетвореною з формули (3) для  $2\psi = 120^\circ$ :

$$f_{ep} = 0,1r; \quad (4)$$

$$f_{ep} = 1,15S_{ep} \left( 0,87 + \left( \frac{h}{r} + 0,5 \right) 0,67 \right). \quad (5)$$

**Висновки.** Встановлено, що при визначенні за чинними нормами величини граничної деформації (прогину) металевих гофрованих труб (чи півколового склепіння) не враховуються висота насипу і зміщення ґрунту і над спорудою при її прогині.

Запропоновано і обґрунтовано, що граничні деформації таких споруд слід визначати як величину, найменшу із значення, яке дорівнює 5% від діаметру, і значення, обчисленого з урахуванням зв'язку прогину труби (чи склепіння) з можливими локальними осіданнями дорожнього покриття над гнучкою конструкцією.

1. Handbook of steel drainage end highway construction on products. Ontario : Corrugated Steel Pipe Inst., 2002. 470 p. 2. 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. 3. ВСН 176–78. Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб : утв. Минтрансстроем СССР и МПС СССР от 15 авг. 1978 г. М. : Оргтрансстрой, 1979. 131 с. 4. Карпюк В. М., Карпюк И. А. Расчет обделок тоннелей и горизонтальных выработок : монографія. Одесса : ОГАСА. 2016. 147 с. URL: [http:// mx.ogasa. org.ua /bitstream / 123456789/11.pdf](http://mx.ogasa.org.ua/bitstream/123456789/11.pdf). (дата звернення: 05.03.2023). 5. Peck R. B. Deep excavations and tunnelling in soft ground. In: Proc. 7th ICSMFE. State-of-the-art Volume 1969. Mexico City. Mexico : Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Pp. 225–290. 6. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Державний стандарт України. Київ : Держстандарт України, 1997. 23 с.

## REFERENCES:

1. Handbook of steel drainage end highway construction on products. Ontario : Corrugated Steel Pipe Inst., 2002. 470 p. 2. VBN V.2.3–218–198: 2007. Sporudy transportu. Proiektuvannia ta budivnytstvo sporud z lystovykh hofrovanykh konstruktсии na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia. Vidomchi budivelni normy Ukrainy. Kyiv : Ukravtodor, 2007. 49 s. 3. VSN 176–78.

Instruktsiya po proektirovaniyu i postroyke metallicheskih gofirovannyih vodopropusknyih trub : utv. Mintransstroem SSSR i MPS SSSR ot 15 avg. 1978 g. M. : Orgtransstroy, 1979. 131 s. **4.** Karpyuk V. M., Karpyuk I. A. Raschet obdelok tonneley i gorizontalnyh vyirabotok : monografiya. Odessa : OGASA. 2016. 147 s. URL: [http:// mx.ogasa. org.ua /bitstream / 123456789/1/](http://mx.ogasa.org.ua/bitstream/123456789/1/).pdf. (data zvernennia: 05.03.2023). **5.** Peck R. B. Deep excavations and tunnelling in soft ground. In: *Proc. 7th ICSMFE. State-of-the-art Volume 1969.* Mexico City. Mexico : Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Pp. 225–290. **6.** DSTU 3587–97. Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy, vulytsi ta zaliznychni pereizdy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu. Derzhavnyi standart Ukrainy. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy, 1997. 23 s.

---

**Abramov V. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor**  
(Donbas National Academy of Construction and Architecture,  
Ivano-Frankivsk, vr09@i.ua) (for the period of martial law)

### **LIMIT DEFORMATIONS OF ROAD BUILDINGS FROM CORRUGATED METAL**

**Data from the analysis of the current construction standards for the design and installation of road structures made of corrugated metal in the calculation part are given, in particular, the determination of limit deformations (deflection). It is shown that certain provisions of these norms regarding calculations can be used only for certain types and sizes of buildings, and therefore there is a need to improve these provisions.**

**For example, determining the limit values of deformations (deflection) of a metal corrugated and semicircular vault or pipe only as a value equal to 5% of the diameter, i.e. without taking into account the height and deformations of the embankment, does not allow taking into account the relationship between the deflection of the structure and subsidence of the soil in contact with the structure with the subsidence of the soil of the embankment and the surface of the road surface.**

**Based on the results of the analysis and calculation-theoretical studies, it is shown that there is a possibility of clarifying certain provisions of the current norms. In particular, suggestions are provided for determining the limit deformations of corrugated structures in the shape of a circle or in the shape of an arched vault,**



**taking into account the height and deformations of the embankment. The relevant calculated dependencies for determining the limit deformations of metal corrugated structures are given and justified, taking into account the possible influence of these deformations on the state (local subsidence) of the road surface.**

***Keywords:* structures made of corrugated metal; road embankment; limit deflection.**

---