

УДК 624.014:624.21

Абрамов В. М., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Івано-Франківськ (на період воєнного стану), Україна*

АНАЛІТИЧНІ І СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНІ РОЗРАХУНКИ ДОРОЖНІХ СПОРУД РІЗНИХ ФОРМ З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНИМ КРИТЕРІЄМ

Анотація

Вступ. Споруди з металевих гофрованих конструкцій (МГК) — водопропускні труби, малі та середні мости, шляхопроводи — є досить поширеними сучасними об'єктами транспортного і гідротехнічного будівництва у багатьох країнах світу. При належному рівні проєктування такі дорожні споруди за своїми техніко-економічними показниками значно ефективніші за споруди такого ж класу з масивних залізобетонних і металевих конструкцій. Тому важливо мати більше уявлень про роботу цих раціональних і специфічних об'єктів під дорожнім насипом в системі «споруда – ґрунт» та відповідну більш коректну методику їхнього розрахунку.

Проблематика. У частині розрахунків існуюча нормативно-методична документація з проєктування дорожніх споруд з МГК не достатньо повна і не відображає в потрібній мірі особливості роботи таких споруд різних форм перетину. Це певною мірою ускладнює проєктування і сповільнює поширення таких споруд з МГК у практиці дорожнього будівництва.

Мета і завдання. Показати можливості складання методики розрахунку дорожніх споруд з МГК за деформаційним критерієм, найбільш актуальним для гнучкого склепіння під насипом, з використанням простих зрозумілих розрахункових схем різних форм перетину і загальноприйнятих закономірностей будівельної механіки та механіки ґрунтів і підземних споруд — основна мета і завдання даної роботи.

Методи досліджень і результати. На основі розрахунково-теоретичного аналізу роботи дорожніх споруд з МГК в умовах взаємодії з ґрунтом насипу з використанням аналітичних методів і метода скінчених елементів (МСЕ) показано можливості складання методики їхнього практичного розрахунку, яка більш повно відображає дійсну роботу розглянутих споруд.

Висновки. Результати роботи показують, що є підстави для доповнення і удосконалення методики розрахунку дорожніх споруд різних форм перетину з МГК. Викладені у статті дані доповнюють уявлення про роботу дорожніх споруд такого типу. Показано можливі вихідні розрахункові положення і напрямки подальшої роботи з доповнення й удосконалення існуючої методики розрахунку розглянутих дорожніх споруд з МГК.

Ключові слова: деформаційний критерій, дорожній насип, несна здатність, споруди з МГК.

Вступ

Впродовж останніх десятиліть в науково-технічних виданнях України зростає чисельність публікацій про позитивний досвід використання транспортних споруд з МГК. Висвітлюються дані про умови і особливості роботи таких споруд під дорожнім насипом у складі системи «споруда – ґрунт», дані результатів їхнього обстеження і випробувань, дані про існуючі підходи до розрахунку споруд з МГК у різних країнах світу. Однак заяви стосовно потреби удосконалення методики розрахунку споруд з МГК, які містяться у цих публікаціях, поки ще не супроводжуються конкретними пропозиціями, що саме потрібно корегувати і як. При цьому, як правило, обмежуються посиланням на способи розрахунків, які розроблені і прийняті у США, Канаді, Швеції [1, 2]. Але ці способи не є такими, що базуються повністю на загальноприйнятих закономірностях будівельної механіки, механіки ґрунтів і підземних споруд. Певною мірою в них частково використовуються і

емпіричні залежності (наприклад, різні коефіцієнти обліку окремих факторів, що впливають на величини навантажень, в розділі 6 [1]), тому ці способи не є універсальними. Крім того, у більшості випадків це є способи розрахунку споруд у формі тільки круглих труб.

У нормативному документі з проектування дорожніх споруд з МГК наведено формулу визначення нормального зусилля N стиску стінки труби під дорожнім насипом [3]. Наприклад, для круглої труби діаметром $D = 4$ м, з товщиною стінки $\delta = 5$ мм, з модулем пружності і коефіцієнтом Пуассона металу, відповідно, $E = 2,1 \times 10^7$ т/м² і $\mu = 0,25$, під насипом висотою $h = 2$ м (над трубою) з ґрунту з модулем деформації $E_0 = 30$ МПа (3 000 т/м²) це зусилля N тільки від маси ґрунту над спорудою на 1 м її ширини дорівнює, за цією (скороченою) формулою:

$$N = \frac{\gamma D(h + \frac{D}{2})}{2 + \frac{E_0}{E} \times \frac{D}{\delta} (1 - \mu)}, \quad N = \frac{1,8 \times 4(2 + \frac{4}{2})}{2 + \frac{3000}{21000000} \times \frac{4}{0,005} (1 - 0,25^2)} = 13,65 \text{ тс (136,5 кН)}. \quad (1)$$

Але зі звичайних умов рівноваги зусилля N у перерізах тієї ж труби дорівнює [1, 4] (рис. 1):

$$N = \gamma h \frac{D}{2}, \quad N = 1,8 \times 2 \times \frac{4}{2} = 7,2 \text{ тс (72,0 кН)}. \quad (2)$$

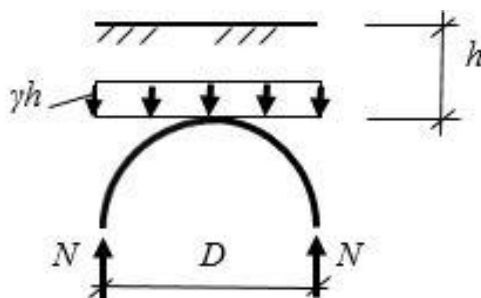


Рисунок 1 — Схема до визначення зусилля N у перерізах стінок труби за умови статичної рівноваги

Крім того, розглянута формула для визначення зусилля N у нормах [3] містить модуль деформації ґрунту засипки E_0 , тобто вважається, що пружність ґрунту засипки впливає на N , але опір ґрунту можливий при переміщеннях бічних стінок труби у бік ґрунту внаслідок роботи на згин, а не тільки на нормальну силу за формулою (1) пункту 2.2.1 документу [3] (що можливо тільки в окремому маловірогідному випадку — при дії рівномірного радіального стискання труби).

Допустима величина деформації перетину труби (відносна зміна вертикального або горизонтального діаметру) за цим документом визначається так само, як і у нормах 70-х років минулого століття — величиною 5 % від діаметра, не залежно від висотт насипу, без урахування того, що осідання насипу і дорожнього покриття над гнучкою трубою (з прогином) при різній висоті засипки буде різним [5].

Викладено вище свідчить про те, що є підстави доповнювати уявлення про роботу гнучкої труби чи склепіння під дорожнім насипом в системі «споруда – ґрунт» і удосконалювати методику розрахунку. І здається, що краще намагатися це робити використовуючи відомі загальноприйняті закономірності будівельної механіки, механіки ґрунтів і підземних споруд та відповідні зрозумілі розрахункові схеми.

Основна частина

Роботу з дослідження можливостей доповнення й удосконалювання методики практичного розрахунку споруд з МГК, відображену в цій статті, виконано виходячи з наступних основних положень (частково раніше викладених в [6, 7]):

— схема роботи і деформування (у відносно невеликих допустимих границях) споруди у формі арки чи кільця або еліпсу під дорожнім насипом при переважаючому вертикальному тиску ґрунту така сама (вертикальний розмір зменшується, горизонтальний збільшується), як і поза ґрунтом, наприклад схема роботи напівкруглої безшарнірної арки з МГК в ґрунті практично не відрізняється від роботи такої арки поза ґрунтом – максимальні переміщення у бік ґрунту виникають (як і поза ґрунтом [8]) в точках з кутовою координатою 34° від рівня п'ят (рис. 2) [9];



Рисунок 2 — Переміщення склепіння у формі напівкруглої арки з гофрованого металу під ґрунтовою засипкою від вертикального навантаження під час випробувань

— граничну допустиму величину прогину верху арки f_{zp} (кільця, еліпсу) слід визначати залежно від висоти h засипки над спорудою, від граничного допустимого (з умов безпеки руху) місцевого осідання дорожнього покриття над нею S_{zp} і від її горизонтального розміру r [5] (рис. 3);

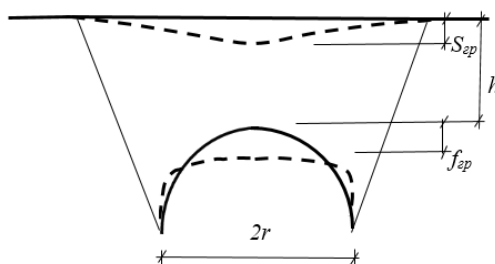


Рисунок 3 — Схема до визначення граничної допустимої величини прогину споруди

— несна здатність гнучкої споруди під насипом визначається як вертикальне рівномірно розподілене навантаження вздовж її проєкції з урахуванням опору ґрунту, пропорційного переміщенням її бічних стінок, за моделлю Фусса-Вінклера і формулою Б. Г. Галеркіна [4], у стані рівноваги системи «споруда – ґрунт» за допустимою величиною прогину [5], тобто за деформаційним критерієм (а не тільки за критерієм міцності);

— при розрахунку аркової споруди з МГК під насипом аналітичним способом вважається, що несна здатність складається з її власної несної здатності (поза ґрунтом), визначеної, наприклад, за критерієм появи напружень текучості металу і несної здатності схеми арки, як «механізму» з повними шарнірами у місцях найбільших напружень і переміщень (що йде «в запас», оскільки

насправді можуть бути пластичні шарніри, а не повні), а геометричну незмінність «механізму» забезпечує опір ґрунту, змодельований додатковими стрижнями і визначається несна здатність як вертикальне рівномірне навантаження на арку у стані рівноваги системи «споруда – ґрунт» при граничному прогині арки.

Споруда аркової форми

Для споруди у формі напівкруглої арки з МГК в рамках цих вихідних положень складова несної здатності від дії опору ґрунту, за аналітичною методикою і уточненою (деформованою) схемою (рис. 4), визначається з умов рівноваги верхньої частини, згідно з [6], за формулою:

$$q_z = \frac{R(a - f_{zp} - \delta_z)}{0,5(l_2 + \delta_x)^2 - (0,5(l_1 - \delta_x)^2 + (l_1 - \delta_x)(l_2 + \delta_x)) \frac{a - f_{zp} - \delta_z}{d + \delta_z}}, \quad (3)$$

де R, f_{zp} — відповідно, рівнодіюча опору ґрунту з параметрами епюри h_1 і h_2 та граничний прогин, які визначають згідно з [5, 6, 7];

a, l_1, l_2, d — геометричні параметри зі схеми на рис. 4, або за формулами [6];

$\delta_x = 0,63 f_{zp}$ — горизонтальні переміщення стінки внаслідок прогину, за даними розрахунків;

$\delta_z = 0,28 \delta_x$

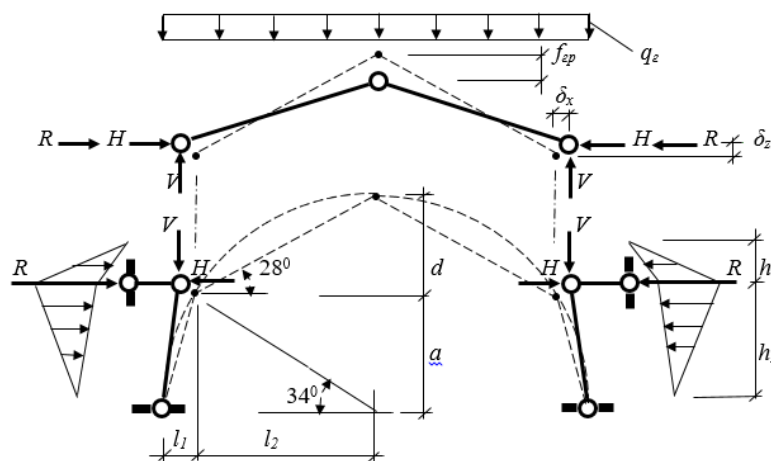
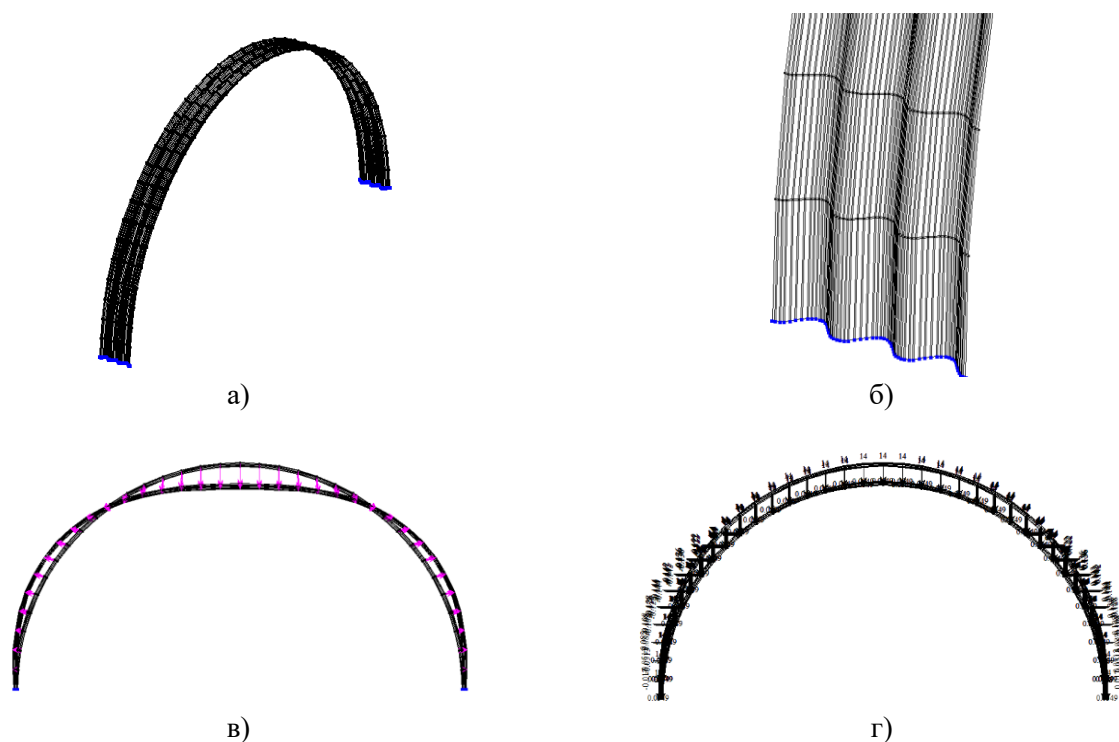


Рисунок 4 — Схема до визначення несної здатності арки від дії опору ґрунту (H і V — згідно з [6])

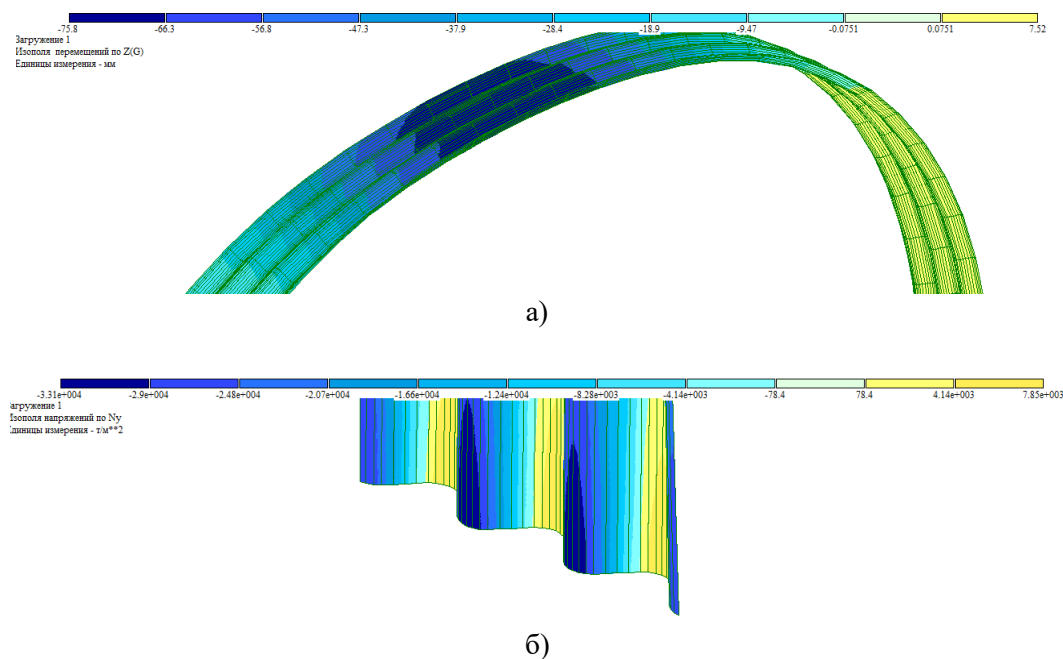
За аналітичною методикою [6], формулою (3) і деформованою розрахунковою схемою на рис. 4, для напівкруглої арки радіусом $r = 7,5$ м з МГК з гофрами $380 \times 140 \times 7$ (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу з границею текучості $\sigma_m = 345$ МПа, мм) шириною 1,14 м (елемент з трьох хвиль довжиною 380 мм) при граничному прогині $f_{zp} = 76$ мм [5], модулі деформацій $E = 35$ МПа і коефіцієнті Пуассона $\mu = 0,35$ ґрунту засипки, отриманих згідно з [6] геометричних параметрів $a = 3,300$ м; $l_1 = 1,275$ м; $l_2 = 6,225$ м; $d = 4,200$ м і рівнодіючої опору ґрунту $R = 42,415$ тс [6, 7], сумарна (власна p_0 згідно з [6] і від опору ґрунту q_z) несна здатність (граничне вертикальне навантаження) складає: $p_0 + q_z = 2,25 + 11,73 = 13,98$ тс/м = 139,8 кН/м.

За скінчено-елементним розрахунком (за МСЕ) тієї ж самої аркової споруди з гофрованою (не плоскою, еквівалентною за жорсткістю) стінкою з тими ж вихідними даними за методикою [7] встановлено звичайним підбором, що пружна стадія роботи металу арки закінчується з появою у опорних перерізах арки напружень (331,0 МПа), близьких до границі текучості, $\sigma_m = 345,0$ МПа, і величини прогину, $f = 75,8$ мм, близького до граничного ($f_{zp} = 76$ мм) при вертикальному рівномірному розподіленому навантаженні $14,0$ тс/м = 140,0 кН/м (рис. 5 і рис. 6), майже такому ж, як і при аналітичному розрахунку (139,8 кН/м), що відповідає висоті засипки 5 – 6 м.



- а) — розрахункова схема арки з МКЕ;
 б) — збільшене зображення опорного перерізу арки (фрагмент);
 в) — вектори переміщень арки від дії вертикального рівномірно розподіленого навантаження;
 г) — навантаження на арку (вертикальне і горизонтальне від опору ґрунту її переміщенням).

Рисунок 5 — Схеми до скінчено-елементного розрахунку арки з МКЕ



- а) — прогин верхньої частини арки з максимальним значенням 75,8 мм (найтемніші зони гофрів);
 б) — розподіл напружень в опорному перерізі (максимальне значення 331,0 МПа).

Рисунок 6 — Результати скінчено-елементного розрахунку арки з МКЕ

Результати розрахунку близькі до даних [10], згідно з якими майже така ж аркова споруда (гофри $380 \times 140 \times 9$ мм, сталь з $\sigma_m = 235,0$ МПа) придатна для засипки висотою 4 – 5 м.

Споруда круглої форми

Скінчено-елементним розрахунком споруди круглої форми (шириною 1 м, змодельованої плоскими елементами еквівалентної жорсткості) — труби радіусом 2 м з МГК з гофрами $150 \times 50 \times 5$ зі сталі з границею текучості 345 МПа за наведеними вище вихідними положеннями і методикою [7] під дорожнім насипом висотою 9 м з тими ж характеристиками ґрунту, що і для арки, встановлено, що несна здатність труби у системі «споруда ґрунт» (граничне значення вертикального рівномірно розподіленого навантаження) складає $22,6 \text{ тс/м} = 226 \text{ кН/м}$ при прогині $f = 22,8 + 22,8 = 45,6$ мм (значно меншим за допустимий [5]) за критерієм появи в перерізах стінки від дії згинального моменту $M = 1,9 \text{ тсм} = 19,0 \text{ кНм}$ і нормального зусилля $N = 48,0 \text{ тс} = 480,0 \text{ кН}$, напружень (337,9 МПа), наближених до границі текучості (рис. 7 і рис. 8).

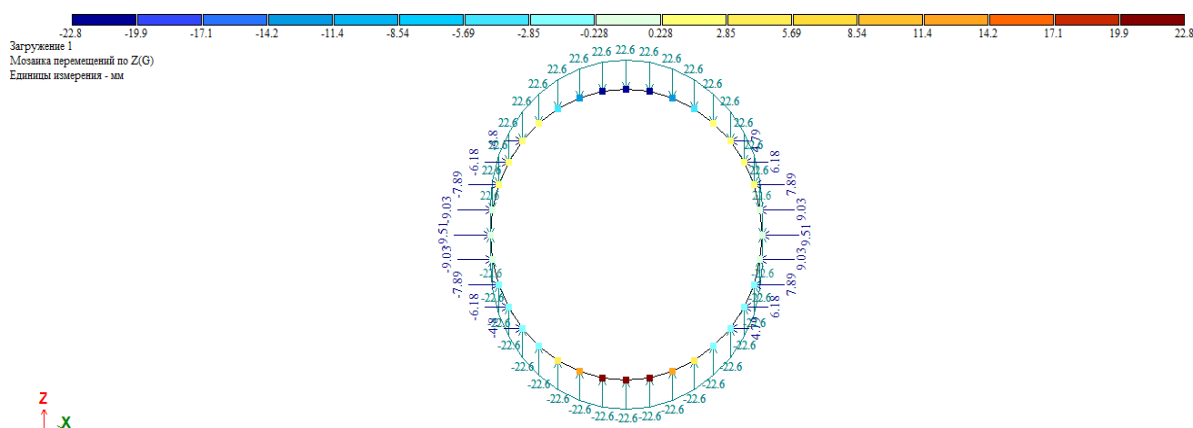


Рисунок 7 — Схема вертикального навантаження і опору ґрунту та дані про переміщення (величина прогину труби, $22,8 + 22,8 = 45,6$ мм)

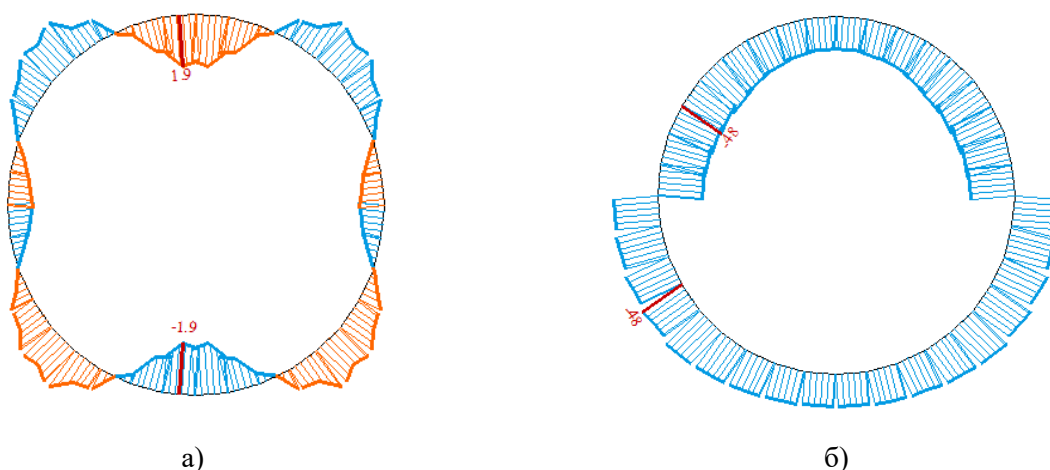


Рисунок 8 — Епюри внутрішніх зусиль в перерізах стінки труби – згинального моменту, максимальне значення $M = 1,9 \text{ тсм} = 19,0 \text{ кНм}$ (а) і нормального зусилля, максимальне значення $N = 48,0 \text{ тс} = 480,0 \text{ кН}$, (б), при дії вертикального рівномірного навантаження і опору ґрунту

Споруда еліптичної форми

За результатами скінчено-елементного розрахунку в рамках означених вище вихідних положень дорожня споруда у формі еліпса з горизонтальним розміром 13,0 м і вертикальним розміром 8,8 м з гофрами $380 \times 140 \times 7$ мм з металу з границею текучості 390 МПа при моделюванні її стінки як плоскої, еквівалентної за згинальною жорсткістю стінці з МГК, і при модулі деформації ґрунту засипки $E = 400$ МПа отримано, що несна здатність еліпса в системі «споруда – ґрунт» (граничне рівномірне вертикальне навантаження) за деформаційним критерієм (при граничному прогині $f_{\text{гр}} = 65$ мм) складає $3,42 \text{ тс/м} = 34,20 \text{ кН/м}$, що приблизно відповідає засипці висотою 1,5 – 2,0 м. Основні результати розрахунку на **рис. 9** і **рис. 10**.

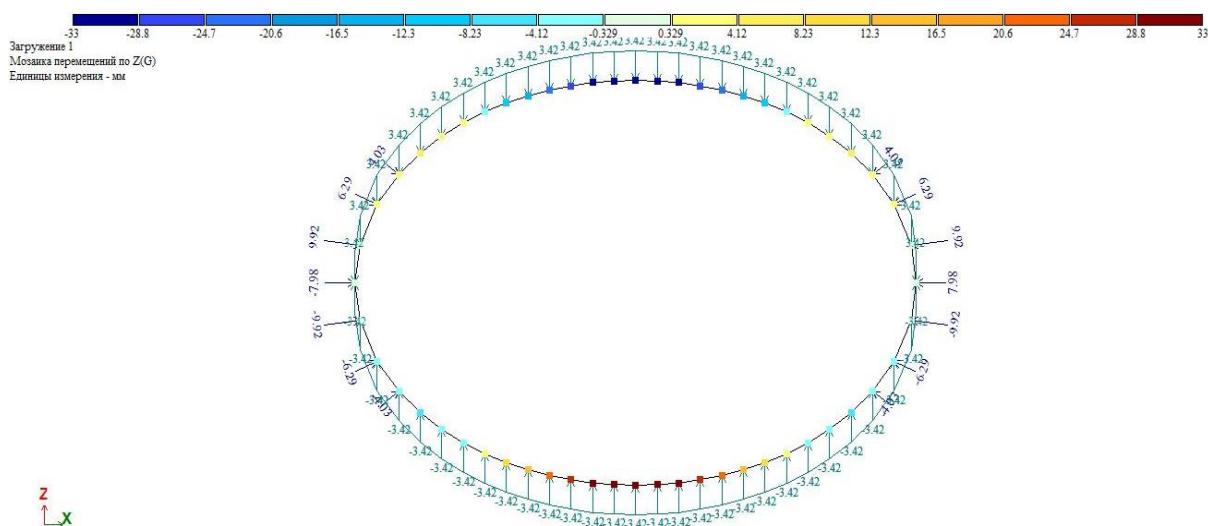


Рисунок 9 — Схема вертикального навантаження і опору ґрунту та дані про переміщення при величині прогину еліпса, приблизно рівному граничному, $33 + 33 = 66$ мм

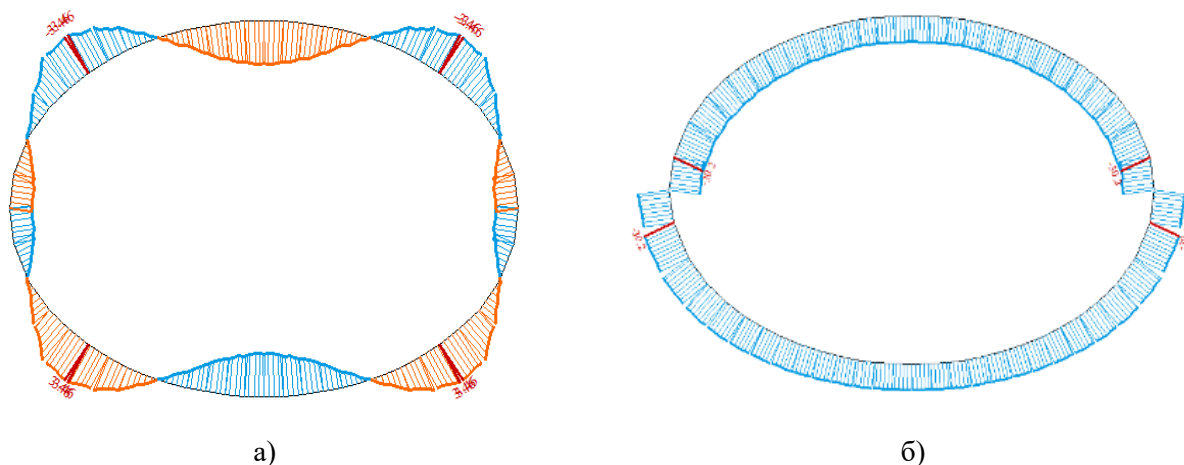


Рисунок 10 — Епюри внутрішніх зусиль в перерізах стінок еліпса – згинального моменту, максимальне значення $M = 3,46$ тсм (а) і нормального зусилля, максимальне значення $N = 30,2$ тсм (б), при дії вертикального рівномірного навантаження і опору ґрунту

За отриманим розрахунком максимальними значеннями внутрішніх зусиль у перерізах еліпса шириною 1 м (згинальний момент $M_y = 3,46$ тсм, поздовжнє, нормальне зусилля $N = 30,2$ тс) встановлено, що сумарні напруження складають $1382,0 \text{ кгс/см}^2 = 138,2 \text{ МПа}$, що значно менше за розрахунковий опір металу еліпса ($390,0 \text{ МПа}$). Це означає те, що граничний прогин еліпса $f_{\text{гр}}$ і, відповідно, дорожнього покриття (за умов безпеки руху транспортних засобів), настає значно раніше за вичерпання несної здатності саме еліпса і те, що важливо використовувати деформаційний критерій розрахунку системи «споруда – ґрунт».

Дані розрахунку цієї споруди близькі до даних реальної споруди з такими ж параметрами — шляхопроводу у формі еліпса під насипом висотою 2 м над спорудою, який побудовано на км 228 + 160 автомобільної дороги Київ – Харків – Довжанський [11].

Висновки

Результати роботи показують, що є підстави для удосконалення методики розрахунку дорожніх споруд різних форм перетину з МГК з використанням загальноприйнятих закономірностей будівельної механіки та механіки ґрунтів і підземних споруд, і простих та зрозумілих розрахункових схем, і є також підстави оцінювати несну здатність гнучкого склепіння за деформаційним критерієм.

Викладені дані доповнюють уявлення про роботу дорожніх споруд розглянутих форм з гофрованого металу в умовах, подібних їхній роботі під ґрунтовым насипом і можуть бути корисними під час розроблення пропозицій для удосконалення методики розрахунку.

Доцільним вважається розроблення пропозицій щодо доповнення та вдосконалення методики розрахунку дорожніх споруд різних типів з використанням МГК, з урахуванням такого:

- втрата міцності гнучкої споруди під насипом або її понаднормативний прогин внаслідок активного вертикального тиску ґрунту проявляється шляхом або повного обрушення засипки разом з дорожнім покриттям всередину отвору споруди, або шляхом їхнього значного осідання, тому важливо оцінювати несну здатність споруд такого типу в допустимому деформованому стані (при якому реалізується пасивний пружний опір ґрунту, який посилює споруду, але не виникає небезпечного осідання дорожнього покриття), тобто за деформаційним критерієм (а не тільки за критерієм міцності);

- прості аналітичні залежності (спрощені формули) для практичних розрахунків дорожніх споруд різних типів із використанням МГК можуть бути сформовані на основі досліджень, що передбачають аналіз результатів великої кількості розрахунків конструкцій різних форм, розмірів і характеристик ґрунтів із застосуванням числових методів, зокрема МСЕ та інших методів у відповідних програмних комплексах.

Список літератури

1. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. American Iron and Steel Institute. Canadian Edition. Corrugated Steel Pipe Institute, 2007. 470 p.
2. Petterson L., Sundquist H. Design of Soil-Steel Composite Bridge. Stockholm: KTN Royal Institute of Technology, 2007. 98 p.
3. ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2007. 49 с. (Інформація та документація).
4. Колоколов Н. М., Янковський О. Я., Щербіна К. Б., Черняхівська С. Е. Металеві гофровані труби під насипами. Транспорт. 1973. 117 с.
5. Абрамов В. М. Граничні деформації дорожніх споруд з гофрованого металу. *Вісник НУВГП. Технічні науки*: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП. 2023. Вип. 1(101). С. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202312>.
6. Абрамов В. М. Розрахунок несної здатності аркової дорожньої споруди з гофрованого металу аналітичним способом. *Дороги і мости*. Київ, 2024. Вип. 30. С. 345–351. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345>.

7. Абрамов В. М. Про методику розрахунку аркових мостових споруд з гофрованого металу. *Вісник НУВГП. Технічні науки*: зб. наук. проць. Рівне: НУВГП. 2024. Вип. 1(105). С. 149–158. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202411>.
8. Клейн Г. К. Посібник з практичних занять з курсу будівельної механіки (статика стрижневих систем). Вища школа. 1980. 348 с.
9. Абрамов В. М. Металеві гофровані склепіння під ґрунтовою засипкою: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.15 / Абрамов Володимир Миколайович; ЛІІЖТ. 1989. 21 с.
10. Hengshui Yitong Pipe Industry Co., Ltd (China). URL: <https://www.corrugatedmetalculvert.com/application-in-highway-construction/> (дата звернення 29.10.2024).
11. Ковальчук В. В., Коваль П. М., Коваль М. П. Методи обстеження та випробування тунельного шляхопроводу з металевих гофрованих конструкцій на км 228 + 160 автомобільної дороги Київ-Харків-Довжанський. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 21 (2020). С. 250–269. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.250>.

References

1. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. American Iron and Steel Institute. Canadian Edition. Corrugated Steel Pipe Institute, 2007. 470 p. [in English].
2. Petterson L., Sundquist H. Design of Soil-Steel Composite Bridge. Stockholm: KTN Royal Institute of Technology, 2007. 98 p. [in English].
3. VBN B.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnyctvo sporud z metalevykh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya (Transport facilities. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways), Kyiv, 2007. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. Kolokolov N. M., Yankovskyi O. A., Shcherbyna K. B., Cherniakhivska S.E. Metalevi hofrovani truby pid nasypamy (Metal corrugated pipes under embankments). Transport. 1973. 117 p. [in Ukrainian].
5. Abramov V. M. Hranyichni deformatsiyi dorozhnykh sporud z hofrovanoho metalu (Boundary deformation of road structures made of corrugated metal). *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*: zб. nauk. prats. Rivne: NUVHP, 2023. Vyp. 1(101). P. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202312> [in Ukrainian].
6. Abramov V. M. Rozrakhunok nesnoyi zdatnosti arkovoyi dorozhnoyi sporudy z hofrovanoho metalu analytychnym sposobom (Calculation of the load capacity of an arched road structure from corrugated metal by analytical method). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2024. Issue 30. P. 345–351. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.345> [in Ukrainian].
7. Abramov V. M. Pro metodyku rozrakhunku arkovykh mostovykh sporud z hofrovanoho metalu (On the calculation methodology of arch bridge structures from corrugated metal). *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*: zб. nauk. prats. Rivne: NUVHP, 2024. Vyp. 1(105). P. 149–149. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt12202411> [in Ukrainian].
8. Kleyn H. K. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po kursu stroitelnoy mekhaniki (statika sterzhnevyykh system) (Guide to practical lessons on the construction mechanics course (statics of rod systems). Vysshaya shkola. 1980. 348 p.) [in Ukrainian].
9. Abramov V. M. Metalevi hofrovani sclepinnya pid gruntovoyu zasypkoyu (Corrugated metal structures under a soil embankment): avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk.: 05.23.15 // Abramov Volodymyr Mykolayovych; LIIZT. 1989. 21 p. [in Ukrainian].
10. Hengshui Yitong Pipe Industry Co., Ltd (China). URL: <https://www.corrugatedmetalculvert.com/application-in-highway-construction/> (data zvernennya 29.10.2024) [in English].
11. Kovalchuk V. V., Koval P. M., Koval M. P. Metody obstezhennya ta vyprovovannya tunelnogo shlyakhoprovodu z metalevykh hofrovanykh konstrukcij na km 228 + 160 avtomobilnoyi dorogy Kyiv-Kharkiv-Dovzhanskyj (Methods of examination and testing of the tunnel overpass made of metal corrugated structures on km 228 + 160 of the Kyiv-Kharkiv-Dovzhansky highway). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2020. Issue 21. P. 250–269. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.250> [in Ukrainian].

Volodymyr Abramov, *Ph.D., Assoc. Prof.*, <https://orcid.org/0000-0002-6911-5178>

Academy of Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (on period mortal law), Ukraine

ANALYTICAL AND FINITE ELEMENT CALCULATIONS OF ROAD STRUCTURES OF DIFFERENT FORMS FROM CORRUGATED METAL ACCORDING TO THE DEFORMATION CRITERION

Abstract

Introduction. Structures made of metal corrugated structures (MCS) — culverts, small and medium-sized bridges, overpasses — are quite common modern objects of transport and hydraulic construction in many countries of the world. At the proper level of design, such road constructions are much more efficient than constructions in terms of their technical and economic indicators of the same class from massive reinforced concrete and metal structures. Therefore, it is important to have more ideas about the operation of these rational and specific objects under the road embankment in the “building – soil” system and the corresponding more correct methodology for their calculation.

Problems. In the part of calculations, the existing regulatory and methodological documentation for the design of road structures with MCS is not sufficiently complete and does not reflect to the required degree the peculiarities of the operation of such structures of various cross-section forms. To a certain extent, this complicates the design and slows down the spread of such structures from MCS in the practice of road construction.

Purpose and task. To show the possibilities of compiling the method of calculation of road structures from MCS according to the deformation criterion, which is most relevant for flexible vaulting under the embankment, using simple and understandable calculation schemes of various cross-section forms and generally accepted laws of construction mechanics and mechanics of soils and underground structures — the main goal and task of this work.

Research methods and results. On the basis of the calculation-theoretical analysis of the operation of road structures made of MCS in the conditions of interaction with the soil of the embankment using analytical methods and the finite element method (FEM), the possibility of developing a methodology for their practical calculation, which more fully reflects the actual operation of the considered structures, is shown.

Conclusions. The results of the work show that there are grounds for supplementing and improving the methodology for calculating road constructions of various forms of intersection with the MCS. The data presented in the article complement the idea of the operation of road structures of this type. The possible initial calculation positions and directions for further work on supplementing and improving the existing method of calculation of the considered road structures with MSC.

Keywords: constructions from MCS, bearing capacity, road embankment, deformation criterion.