https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.338

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

ПРО ТИМЧАСОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА АРКОВІ СПОРУДИ З ГОФРОВАНОГО МЕТАЛУ ПІД ДОРОЖНІМ НАСИПОМ

Анотація

Вступ. Розглянуто питання особливостей формування і практичного розрахунку тимчасового рухомого навантаження від транспортних засобів на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом. Ці особливості пов'язані зі схемою статичної роботи й деформування відносно гнучкої конструкції — переважно на згин під дією переважаючого вертикального тиску від ґрунту насипу і в умовах передавання тимчасового навантаження через ґрунт насипу, який розподіляє певним чином це навантаження.

Проблематика. У чинних нормативно-методичних документах стосовно проєктування мостів і труб інформація щодо правил визначення величини тимчасового рухомого навантаження на труби під насипом автомобільних доріг обмежена вказівками стосовно параметрів типової схеми колісних навантажень (НК-100 або НК-80) і відносно розподільчих властивостей ґрунту насипу, без викладення необхідних для практичних розрахунків методики і формул, що певною мірою ускладнює проєктування. Нормативно-методичні документи безпосередньо з проєктування дорожніх споруд з гофрованого металу також не містять достатньо повної і коректної інформації з цього приводу.

Мета і завдання. Доповнити уявлення про особливості формування тимчасового рухомого навантаження на аркові споруди з гофрованого металу під дорожнім насипом від впливу маси транспортних засобів на дорозі і показати можливі схеми практичного розрахунку цього навантаження — є основною метою і завданням даної роботи.

Методи досліджень і результати. Методичною основою даної роботи є розрахунково-теоретичний аналіз впливу тимчасового рухомого навантаження на напружено-деформаційний стан склепіння напівкруглої форми (арки, за умовами плоскої задачі) з гофрованого металу і на зміни цього стану залежно від розташування транспортного засобу відносно прольоту арки. За результатами серії розрахунків арки при різному розташуванні тимчасового рухомого навантаження і при різній висоті насипу над спорудою встановлені зміни форми і екстремальних значень епюри згинального моменту в арки з визначенням характеру і ступеню цих змін.

Висновки. Показано, як змінюється форма, величини і кутові координати екстремальних значень епюри згинального моменту в арки залежно від зміни розташування тимчасового рухомого навантаження і від висоти насипу над спорудою, наведено чисельні дані таких змін і дані співвідношення значень згинальних моментів при різних схемах розташування тимчасового рухомого навантаження відносно до простій симетричної схеми навантаження, до якої можливо приводити (в деяких випадках) несиметричні схеми навантаження для практичних розрахунків.

Ключові слова: дорожній насип, аркова дорожня споруда, тимчасове навантаження, гофрований метал.

Вступ

Навантаження на споруду, яка розглядається, таке, як і на інші споруди під дорожнім насипом, воно має дві складові — постійне від тиску маси ґрунту насипу над спорудою і тимчасове від маси транспортних засобів на дорозі.

Постійне навантаження визначається як на звичайні водопропускні труби на автомобільних й залізничних дорогах — з урахуванням всієї маси ґрунту від верху споруди до верху дорожнього покриття (чи до низу шпали).

Тимчасове вертикальне навантаження на аркові споруди з гофрованого металу, яка розглядається — це тиск ґрунту від маси транспортних засобів на дорозі, якій для розрахунків приймається як рівномірно розподілене навантаження в рівні верху споруди.

Згідно даним спеціальної технічної літератури і нормативних документів минулих років [1, 2], для визначення величини тимчасового навантаження на труби під насипом автомобільних доріг використовували навантаження НК-80, величину якого q (т/м^2) на рівні верху споруди, на відстані між її верхом і верхом дорожнього покриття H (м), визначали за формулою:

$$q = \frac{19}{H+3} \ . \tag{1}$$

У нормах з проєктування і будівництва дорожніх споруд з гофрованого металу [3] передбачено навантаження від транспортних засобів визначати як дію умовного додаткового шару ґрунту, товщиною H_{eq} , еквівалентного дії транспортних засобів НК-100 чи НК-80 за формулою:

$$H_{eq} = \frac{\nu}{\gamma\left(H+3\right)}, \tag{2}$$

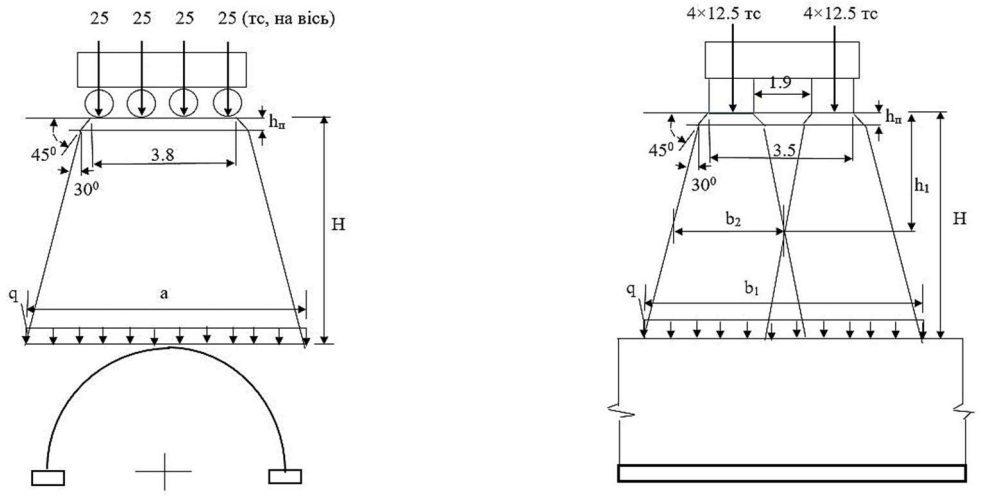
де ν — еквівалентне навантаження, згідно з додатком Н ДБН В.2.3–14:2006 [1], залежить від довжини і форми лінії впливу, кН/м;

γ — питома вага ґрунту насипу.

Для використання в практичних розрахунків аркових споруд, які розглядаються, формула (2) не достатньо коректна, тому, що таблицю додатку Н до ДБН В.2.3–14:2006 складено тільки для навантаження НК-80, крім того відсутні дані щодо форми лінії впливу (і якого саме зусилля ця лінія впливу) для арки із жорстким обпиранням п’ ят, тричі статично невизначеної.

Основа частина

Розрахунково-теоретичний аналіз формування навантаження q (від дії НК-100) на аркову споруду **(рис. 1**).



а) б)

Рисунок 1 — Схеми дії навантаження НК-100 на споруду під дорожнім насипом (розміри в м), розтин вздовж (а) і поперек насипу (б) з урахуванням розподілу вертикального навантаження у ґрунті дорожнього насипу під кутом 30° до вертикалі (у дорожньому покритті, $h_п$ — під кутом 45°), відповідно до розділу 12 [4]

Приймаючи розподіл вертикального тимчасового навантаження від транспортних засобів згідно до вказаних вище особливостей його розподілу в ґрунті [4], з простих геометричних рішень з урахуванням параметрів схеми навантаження НК-100 (а також НК-80) для визначення розмірів a і b площі вертикального навантаження (тиску ґрунту) на рівні верху споруди, відповідно вздовж і поперек насипу (**рис. 1**) отримуємо наступні формули:

$$a = 3{,}8 + 2h_n + 1{,}16\left(H - h_n\right); \tag{3}$$

$$b_1 = 3{,}5 + 2h_n + 1{,}16\left(H - h_n\right), \text{при } H > h_1; \tag{4}$$

$$b_2 = 1{,}1 + 2h_n + 1{,}16\left(H - h_n\right), \text{ при } H \le h_1. \tag{5}$$

Використовуючи формули (3) – (5) виконано серію розрахунків напівкруглої арки як вільно деформованої (поза ґрунтом) споруди на навантаження p (постійне від маси ґрунту насипу над спорудою) і q (тимчасове, рухоме від транспортного засобу НК-100) при різних схемах розташування тимчасового рухомого навантаження відносно прогону арки — на ¼, на ½, на ¾ прогону і на повному прогоні (**рис. 2**).

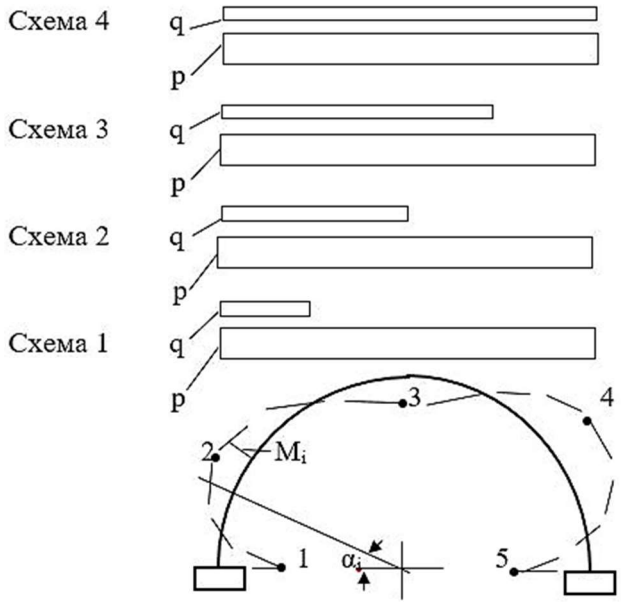


Рисунок 2 — Схеми для визначення зміни величини і кутової координати екстремальних значень (1 – 5) епюри моментів (пунктирна лінія) при дії постійного навантаження p і тимчасового рухомого навантаження q від НК-100 на арку за схемами 1 – 4 (відповідно, при його дії в ¼ прогону, в ½ прогону, в ¾ прогону і в повному прогоні)

Розрахунки виконано методом скінчених елементів (МСЕ). Розрахункову схему напівкруглої арки радіусом 3 м при жорсткому обпиранні п’ят було складено із 36 стрижнів із жорсткістю на вигін, еквівалентний жорсткості металевих гофрованих конструкцій (МГК) з розміром гофрів 150х50х6 (відповідно, довжина хвилі, її висота і товщина металу, мм) з розрахунковим опором металу 230 МПа. Навантаження p і q визначені, відповідно, від маси ґрунту з питомою вагою 19 кН/м^3 над спорудою при різний висоті насипу і від маси тимчасового рухомого колісного навантаження НК-100. Отримані результати розрахунків — характер і значення змін розрахункових параметрів (кутові

координати α_i й співвідношення величини екстремальних значень епюри згинальних моментів, $\frac{M_i}{M_{i,cx.4}}$) для схем 1 – 3 розташування тимчасового навантаження до симетричної схеми (схема 4) цього навантаження залежно від схеми, розташування тимчасового навантаження відносно прогону і від висоти насипу H над спорудою (яку для цих, суто дослідних, умовних, розрахунків прийнято від 2 м до 10 м, а h_n = 0,15 м), наведено у **табл. 1.**

Таблиця 1

Результати розрахунків за різними схемами (рис. 2) дії постійного і тимчасового навантаження на аркову споруду з МГК

Позначення параметрів в екстремальних точках епюри моментів		Величина параметрів при різних схемах (**рис. 2**) дії навантаження q від НК-100											
		Схема 1			Схема 2			Схема 3			Схема 4		
		при H, м			при H, м			при H, м			при H, м		
		2	5	10	2	5	10	2	5	10	2	5	10
α_i, град	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	25	35	30	30	30	30	30	35	30	34	34	34
	3	70	88	88	83	88	88	88	88	88	90	90	90
	4	140	145	145	140	145	145	140	145	150	146	146	146
	5	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
$\frac{M_i}{M_{i,cx.4}}$	1	0,31	0,88	0,97	0,66	0,91	0,98	0,89	0,97	0,99	-	-	-
	2	0,48	0,88	0,95	0,81	0,93	0,96	0,95	0,97	0,97	-	-	-
	3	0,45	0,80	0,98	0,94	0,97	0,99	1,06	0,91	1,00	-	-	-
	4	0,52	0,91	0,98	0,87	0,96	0,99	1,06	1,02	1,00	-	-	-
	5	0,61	0,92	0,98	0,94	0,98	0,99	1,06	1,00	1,01	-	-	-

Результати розрахунків (**табл. 1**) свідчать про таке, що:

— форма епюри моментів змінюється таким чином, що змінюються кутові координати бічних і верхнього екстремальних значень, а також величини всіх екстремальних (і інших) значень моментів;

— інтенсивність зміни кутових координат і величини бічних і верхнього екстремальних значень епюри моментів зменшується зі збільшенням висоти ґрунтового насипу над спорудою, також зменшується із розповсюдженням навантаження від НК-100 на більшу частину прогону;

— співвідношення значень моментів в екстремальних точках епюри $\left(\frac{M_i}{M_{i,cx.4}}\right)$ при різних схемах (1 – 3) не симетричного розташування тимчасового рухомого навантаження до відповідних значень при схемі 4 (симетричне навантаження) наближаються до одиниці зі збільшенням висоти насипу і зі збільшенням розповсюдження тимчасового рухомого навантаження на більшу частину прогону арки.

З аналізу схем, які надано на **рис. 2** і формул (3) – (5), а також даних **табл. 1**, випливає те, якщо довжина тимчасового навантаження q на рівні верху арки вздовж насипу при її висоті H більше, ніж 1 м **(рис. 1, а)** дорівнює чи більше за розмір прогону (2r) напівкруглої арки, тобто, при $a \geq 2r$ і $H > 1$ м, визначальним можна вважати навантаження q на арку за схемою 4 **(рис. 2)**, з розміщенням цього навантаження вздовж всього прогону. При цьому величину навантаження q,

відповідно до умов розподілення ґрунтом [4] дії навантаження НК-100, приймаючи його рівномірним [5], можна визначити за формулами:

— при $H > h_1$, кН/м^2 (тс/м^2)

$$q = \frac{980}{ab} = \left(\frac{100}{ab}\right); \tag{6}$$

— при $H \le h_1$, кН/м^2 (тс/м^2)

$$q = \frac{490}{ab} = \left(\frac{500}{ab}\right). \tag{7}$$

Залежність співвідношення величини тимчасового навантаження q на споруду під насипом у рівні верху споруди до величини відповідного постійного навантаження p від висоти насипу H над спорудою показано на **рис. 3**.

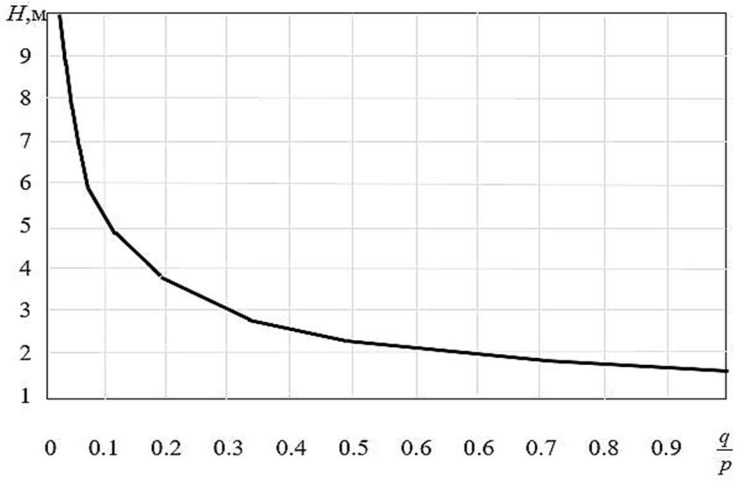


Рисунок 3 — Залежність співвідношення $\frac{q}{p}$ від висоти насипу H над спорудою

На графіку (**рис. 3)** видно, що співвідношення $\frac{q}{p}$ суттєво зменшується зі збільшенням висоти насипу над спорудою (починаючи з 2-х м), а наприклад, при висоті насипу 10 м тимчасове навантаження від транспортного засобу НК-100 практично втрачає своє значення за рахунок його «розсіювання» в ґрунті насипу.

Висновки

У статті запропоновано підхід щодо урахування дії, на аркову споруду з гофрованого металу під дорожнім насипом, тимчасового рухомого навантаження, яке передається на споруду через ґрунт і певним чином розповсюджується, залежно від висоти насипу над спорудою і від положення цього навантаження відносно прогону споруди.

Показано, як змінюється форма і значення епюри визначального для аркової споруди під насипом зусилля (згинального моменту) залежно від положення тимчасового навантаження відносно прогону арки і як змінюється співвідношення екстремальних величин епюри моментів при різних схемах положення тимчасового навантаження до відповідних величин при симетричному навантажені всього прогону.

Зазначено, за якими умовами можливо приведення несиметричного тимчасового навантаження до простої симетричної схеми для спрощення розрахунків з достатньою для практичних задач точністю (зокрема при висоті насипу над спорудою більше ніж 1 м).

Наведено графік, з якого можна оцінити зменшення частки тимчасового навантаження зі збільшенням висоти насипу над спорудою.

Список літератури

1. Поліванов Н. І., Андреєв О. В., Попов І. А., Тен І. А., Кузнєцов Н. І., Кирилов В. С., Островідов А. М., Пушторский Е. І., Роєр Е. Н., Калмиков Н. Я., Кропотов І. І. Під ред. Е. Е. Гібшмана. Довідник інженера-дорожника. Транспорт, 1964. 775 с.

2. ДБН В.2.3-14:2006. Мости та труби. Норми проєктування. Київ, 2006. 218 с. (Інформація та документація).

3. ВБН В.2.3-218-198:2007. Споруди транспорту. Проєктування та будівництво споруд з металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. Відомчі будівельні норми України. Київ. 2007. 49 с. (Інформація та документація).

4. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009, 66 с. (Інформація та документація).

5. Колоколов Н. М., Янковский О. Я., Щербина К. Б, Черняхівська С. Е. Металеві гофровані труби під насипями. Транспорт. 1973. 117 с.

References

1. Polivanov N. I., Andreєv O. V., Popov I. A., Ten I. A., Kuznetsov N. I., Kirilov V. S., Ostrovidov A. M., Pushtorskyi E. I., Roer T. N., Kalmykov N. Ya., Kropotov I. I. Pid red. Pod red. Hibshmana E.E. Spravochnik inzhenera-dorozhnika (Road Engineer's Handbook) Transport, 1964. 775 p.

2. DBN B.2.3-14:2006. Mosty ta truby. Normy proektuvannya (Bridges and pipes. Design standards) Kyiv, 2006. 218 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. VBN V.2.3-218–198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannya ta budivnyctvo cporud z metalevikh hofrovanykh konstrukcy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannya (Transport constructions. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways), Kyiv. 2007. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennya ta vplyvy (State Building Norms (DBN V.1.2-15:2009) Transport constructions. Bridges and pipes. Loads and impacts. Kyiv, 2009, 66 s. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. Kolokolov N. M., Yankovskyi O. A., Shcerbina, K. B., Cherniakhovskaia S. Ye. Metalevihofrovani truby pid nasypiamy (Metal Corrugated Pipes Under Embankments). Transport. 1973. 117 p.

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

Donbas National Academy of Construction and Architecture, Ivano-Frankivsk (for the period of martial law), Ukraine

ABOUT THE TEMPORARY LOAD ON ARCHED STRUCTURES MADE OF CORRUGATED METAL UNDER A ROAD EMBANKMENT

Abstract

Introduction. The issue of features of formation and practical calculation of temporary moving load from vehicles on arched structures made of corrugated metal under the road embankment is considered. These features are related to the scheme of static work and deformation of a relatively flexible structure —

mainly to bending under the influence of the prevailing vertical pressure from the soil of the embankment and in the conditions of the transfer of a temporary load through the soil of the embankment, which distributes this load in a certain way.

Problem Statement. In the current regulatory and methodological documents regarding the design of bridges and pipes, information on the rules for determining the amount of temporary moving load on pipes under highway embankments is limited to instructions regarding the parameters of a typical scheme of wheel loads (NK-100 or NK-80) and regarding the distribution of properties of the soil of the embankment, without setting out the methods and formulas necessary for practical calculations, which complicates the design to a certain extent. Normative and methodical documents directly related to the design of road structures made of corrugated metal also do not contain sufficiently complete and correct information on this issue.

Purpose. To supplement the idea of the peculiarities of the formation of temporary moving load on arched structures made of corrugated metal under the road embankment due to the influence of the mass of vehicles on the road and to show possible schemes for practical calculation of this load is the main goal and task of this work.

Research methods and results. The methodological basis of this work is the calculation-theoretical analysis of the influence of a temporary moving load on the stress-strain state of a semicircular vault (arch, under the conditions of a flat problem) made of corrugated metal and on changes in this state depending on the location of the vehicle relative to the span of the arch. According to the results of a series of calculations of the arch at different locations of the temporary moving load and at different heights of the embankment above the structure, changes in the shape and extreme values of the bending moment plot in the arch were established with the determination of the nature and degree of these changes.

Conclusions. It is shown how the shape, magnitudes and angular coordinates of the extreme values of the bending moment plot in arches change depending on the change in the location of the temporary moving load and the height of the embankment above the structure, the numerical data of such changes and data on the ratio of values of bending moments in different layout schemes are given — variation of a temporary moving load relative to a simple symmetrical load scheme, to which it is possible to lead (in some cases) asymmetric load schemes for practical calculations.

***Keywords**:* road embankment, arched road structure, temporary load, corrugated metal.