

## ВИЗНАЧЕННЯ БІЧНОГО ТИСКУ НА КРАЙНІЮ ОПОРУ МОСТА ВІД ГРУНТУ НАСИПУ

*Шворак І., Бринзяник А., ДМ-41-17, ХНАДУ*

*Керівник: д.т.н., проф. каф. МКБМ – Кожушко В.П.*

У нині чинних [1] і попередніх [2] нормативних документах при визначенні бічного тиску ґрунту насипу на крайні опори моста, у залежності від глибини закладення підосви фундаменту, пропонуються дві методики розрахунку. У першому випадку, коли глибина закладення не перевищує 3м ( $d \leq 3\text{м}$ ), передбачається урахувувати тільки фізико-механічні характеристики ґрунту насипу (кут внутрішнього тертя  $\varphi$  і питому вагу ґрунту  $\gamma$ ), ігноруючи при цьому вплив на величину бічного тиску того ґрунту, який розташований у межах від поверхні землі і до підосви фундаменту. У цьому випадку еюра бічного тиску матиме трикутну форму (рис. 1, а).

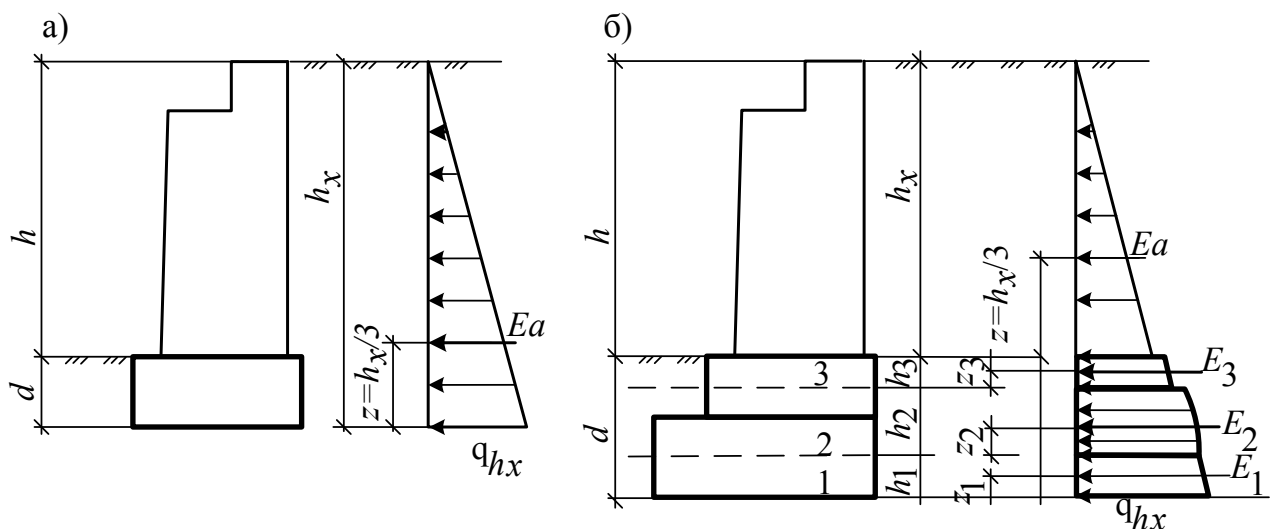


Рисунок 1 - Форма еюр бічного тиску ґрунту

При глибині закладення підшви фундаменту більше 3м ( $d > 3м$ ) урахується вплив ґрунтів, розташованих нижче поверхні землі, а еюра бічного тиску матиме східчасту форму (рис. 1, б). В обох випадках інтенсивність бічного тиску  $q_{hx}$  визначається методом Кулона, основні положення якого викладено в роботі [3].

Величина бічного тиску на рівні підшви фундаменту у першому випадку (див. рис. 1, а) дорівнює

$$q_{hx} = \gamma h_x \cdot \tau_a , \quad (1)$$

де  $\gamma$  - питома вага ґрунту насипу, кН/м<sup>3</sup>;

$h_x$  - висота крайньої опори, що включає в себе і глибину закладення підшви фундаменту, тобто

$$h_x = h + d , \quad (2)$$

де  $h$  - відстань від верху опори до поверхні землі, м;

$d$  - глибина закладення підшви фундаменту, м;

$\tau_a$  - коефіцієнт бічного тиску ґрунту при визначенні активного тиску ґрунту.

$$\tau_a = tg^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}), \quad (3)$$

де  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя ґрунту насипу.

Рівнодіюча бічного тиску  $E_a$  на опору моста визначається за формулою (4).

$$E_a = 0,5 \cdot q_{hx} \cdot h_x \cdot b , \quad (4)$$

де  $b$  - приведена (середня по висоті  $h_x$ ) ширина опори в площині задніх граней, на які передається бічний тиск ґрунту, м.

Рівнодіюча  $E_a$  прикладена на відстані  $z = \frac{1}{3}h_x$  від підшви фундаменту, тобто в центрі ваги трикутної епюри бічного тиску.

При цьому норми [1, 2] рекомендують не враховувати сили тертя між ґрунтом насипу і тильною гранню опори і нахил цієї грані.

При глибині закладення фундаменту  $d > 3m$  рівнодіючу  $E_i$  в межах кожного шару ґрунту норми рекомендують визначати за формулою

$$E_i = 0,5 \cdot \gamma_i \cdot h_i \cdot \tau_{ai} (h_i + 2h_o) \cdot b, \quad (5)$$

де  $\gamma_i$  - питома вага ґрунту того шару, в межах якого визначається рівнодіюча бічного тиску, кН/м<sup>3</sup>;

$h_i$  - товщина  $i$ -го шару ґрунту, м (див. рис. 1,б);

$\tau_i$  - коефіцієнт бічного тиску ґрунту  $i$ -го шару. Цей коефіцієнт визначається за формулою (3) шляхом підстановки в неї відповідного значення кута внутрішнього тертя  $\varphi_i$ ;

$h_o$  - приведена до питомої ваги засипки сумарна товщина ґрунту, що розташований вище шару, для якого визначається рівнодіюча  $E_i$ , м.

$$h_o = \frac{\sum \gamma_i h_i}{\gamma_x}. \quad (6)$$

Наприклад, для нижнього шару, який на рис. 1, б позначений під номером 1, приведена товщина буде дорівнювати

$$h_{o1} = \frac{\gamma_x h_x + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3}{\gamma_x}. \quad (7)$$

У межах кожного шару епюра бічного тиску має трапецеїдальну форму, а рівнодіюча бічного тиску  $E_i$  буде розташована в центрі ваги трапеції, тобто відстань від лінії дії рівнодіючої  $E_i$  до нижньої поверхні  $i$ -го шару

$$z_i = \frac{h_i + 3h_{oi}}{h_i + 2h_{oi}} \cdot \frac{h_i}{3} \quad (8)$$

Таким чином, у нормах [1, 2] не розглянуто питання впливу на величину бічного тиску при глибині закладення фундаменту до 3м фізико-механічних характеристик ґрунту основи і висоти насипу.

У зв'язку з цим нами зроблено розрахунки по визначенню бічного тиску для опори висотою від 1 до 13м при наступних характеристиках ґрунтів насипу і основи:

ґрунт насипу – пісок, характеристичний кут внутрішнього тертя якого  $\varphi_n = 30^\circ$ , а характеристичне значення питомої ваги  $\gamma_n = 20 \text{ кН/м}^3$ ;

ґрунт основи – крупнозернистий пісок ( $\varphi_n = 43^\circ$ ,  $\gamma_n = 21 \text{ кН/м}^3$ ).

Розрахунок бічного тиску на опору виконано двома способами: способом, що рекомендується нормами [1], тобто без урахування впливу ґрунту основи; способом, що уявляє фізико-механічні характеристики ґрунту основи. У результаті розрахунків було визначено: інтенсивність бічного тиску  $q_{hx}$  на рівні підшви фундаменту, величини сили бічного тиску  $E$ , перекидального моменту  $M$  і співвідношення цих величин.

Для прикладу приведемо методику визначення інтенсивності бічного тиску  $q_{hx}$  сили бічного тиску  $E$  і перекидального моменту  $M$  при висоті  $h=9\text{м}$  (рис. 2).

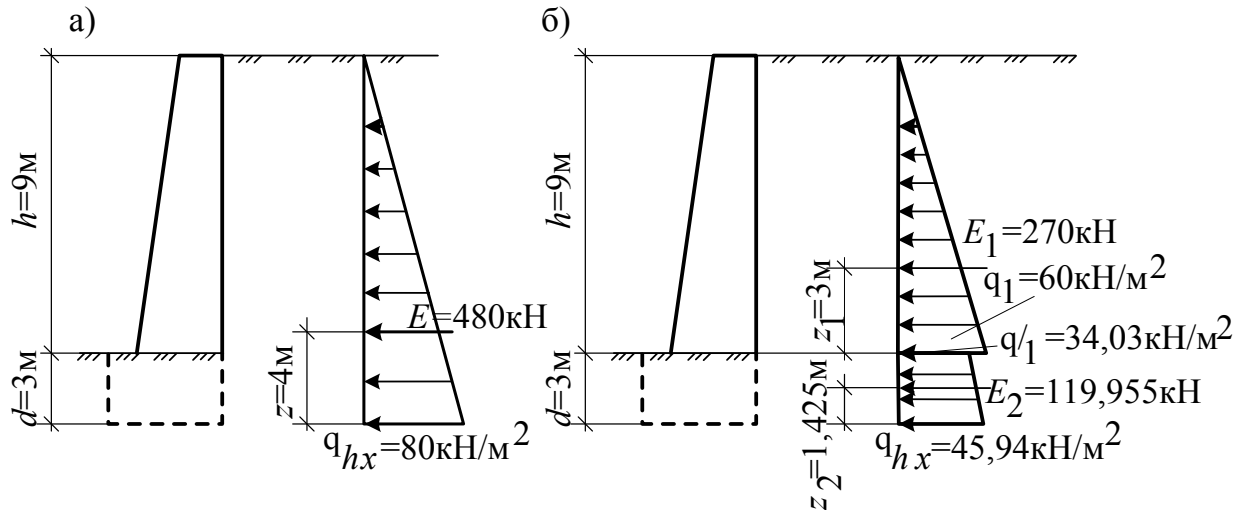


Рисунок 2 – Епюри бічного тиску отримані двома способами

На рис. 2,а наведено епюру бічного тиску, що рекомендується нормами [1]. Використовуючи формулу (1), визначимо інтенсивність бічного тиску  $q_{hx}$  на рівні підосви фундаменту. У формулу (1) уведено характеристичні значення кута внутрішнього тертя  $\varphi_n$  і питомої ваги  $\gamma_n$  ґрунту насипу.

$$\begin{aligned} q_{hx} &= 20(9+3)tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2}\right) = \\ &= 20 \cdot 12 \cdot tg^2 30^\circ - 20 \cdot 12 \cdot 0,3333 = 80,00 \text{кН/м}^2. \end{aligned}$$

Сила бічного тиску, що передається на 1 пог.м ширини опори,

$$E = 0,5 \cdot q_{hx}(h_x + d) = 0,5 \cdot 80 \cdot 12 = 480 \text{кН}.$$

Перекидальний момент відносно підосви фундаменту

$$M = E \cdot z = 480 \cdot 4 = 1920 \text{кНм}.$$

Визначимо інтенсивність бічного тиску, силу бічного тиску і перекидальний момент, ураховуючи вплив ґрунту основи (див. рис. 2, б).

Бічний тиск на рівні обрізу фундаменту (на рівні поверхні ґрунту)

$$q_1 = 20 \cdot 9 = 180 \text{ кН/м}^2.$$

Сила бічного тиску у межах висоти  $h_x$

$$E_1 = 0,5 \cdot 180 \cdot 9 = 810 \text{ кН}.$$

Привантаження (вага ґрунту в межах висоти  $h_x$ ) на нижній шар ґрунту

$$p = 20 \cdot 9 = 180 \text{ кН/м}^2.$$

Тоді бічний тиск ґрунту  $q'_1$  на рівні обрізу фундаменту у межах шару основи

$$\begin{aligned} q'_1 &= p\tau'_a = 180 \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'_n}{2}\right) = 180 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{43^\circ}{2}\right) = \\ &= 180 \cdot 0,18906 = 34,03 \text{ кН/м}^2. \end{aligned}$$

При визначенні бічного тиску  $q'_1$  у цьому випадку підставляється характеристичне значення кута внутрішнього тертя ґрунту основи ( $\varphi'_n = 43^\circ$ ). При розрахунку бічного тиску  $q_{hx}$  на рівні підшви фундаменту у формулу (1) треба підставити  $\varphi'_n = 43^\circ$  і  $\gamma'_n = 21 \text{ кН/м}^3$ .

$$\begin{aligned} q_{hx} &= q'_1 + \gamma'_n \cdot d \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'_n}{2}\right) = \\ &= 34,03 + 21 \cdot 3 \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{43^\circ}{2}\right) = 34,03 + 63 \cdot 0,18906 = \\ &= 34,03 + 11,91 = 45,94 \text{ кН/м}^2. \end{aligned}$$

Сила бічного тиску  $E_2$  в межах нижнього шару ґрунту, що діє на один пог.м ширини опори, дорівнює площі трапеції (див. рис. 2, б)

$$E_2 = \frac{34,03 + 45,94}{2} \cdot 3 = 119,955 \text{кН}$$

Сумарна сила бічного тиску

$$E = E_1 + E_2 = 270 + 119,955 = 389,955 \text{кН} \approx 390 \text{кН}.$$

Визначимо плече  $z_2$  (див. рис. 2, б).

$$z_2 = \frac{2 \cdot 34,03 + 45,94}{34,03 + 45,94} \cdot \frac{3}{3} = 1,426 \text{м}$$

Перекидальний момент  $M$  відносно підшви фундаменту

$$M = E_1(z_1 + d) + E_2 \cdot z_2 = 270(3 + 3) + \\ + 119,955 \cdot 1,426 = 1620 + 171,06 = 1791,1 \text{кНм}.$$

Аналогічні розрахунки виконані і при висотах опори  $h$ , що дорівнюють 1 м і 13 м, а дані занесені у таблицю. У таблиці наведено і співвідношення величин інтенсивностей бічного тиску, сил бічного тиску і перекидальних моментів, отриманих при розрахунку двома способами.

Таблиця – Значення бічного тиску  $q'$ , сили бічного тиску  $E$  і перекидального моменту  $M$

Висота насипу $h_x$ , м	Тиск на рівні підшви фундаменту $\text{кН/м}^2$		Сила бічного тиску, $\text{кН}^*$		Перекидальний момент, $\text{кНм}^*$	
	$q'$	співвідношення величин	$E$	співвідношення величин	$M$	співвідношення величин
1	$\frac{15,7}{26,7}$	0,588	$\frac{22,5}{53,3}$	0,610	$\frac{46,2}{71,1}$	0,650
9	$\frac{45,9}{80,0}$	0,574	$\frac{390,0}{480,0}$	0,812	$\frac{1791,1}{1920,0}$	0,933
13	$\frac{61,1}{106,7}$	0,573	$\frac{728,7}{853,4}$	0,854	$\frac{4370,4}{4551,25}$	0,960

\*У чисельнику наведено значення розглянутих величин, отриманих при застосуванні східчастої опори бічного тиску ґрунту, а в знаменнику за методом, запропонованим у нормах.

Аналізуючи результати розрахунків, наведених у таблиці, можна зробити такі висновки:

1. Фізико-механічні характеристики ґрунту основи значно впливають на величину інтенсивності бічного тиску на опору і у меншій мірі на величину сили бічного тиску і перекидального моменту.
2. Зазначені величини в значній мірі залежать і від висоти опори.

#### Література:

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009.- (Чинні від 2010-03-01).- К.: Мінрегіонбуд України, 2009.- 66 с.- (Державні будівельні норми України).
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-14:2006.- (Чинні від 2007-02-01).- К.: Міністерство буд-ва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006.- 359 с.- (Державні будівельні норми України).
3. Снитко Н.К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных станов.- Изд. 2-е, перераб. / Н.К. Снитко.- Л.: Стройиздат, Ленингр. отд.- 1970.- 209 с.