

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ЗАБИВАННЯ ШПУНТА З ОДНИМ ЯРУСОМ РОЗПІРОК АБО АНКЕРІВ

Кожушко В. П., Краснов С. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Розглянуто спрощений варіант визначення глибини забивання шпунта з одним ярусом розпірок або анкерів. Наведено порівняльні результати визначення глибини забивання, отримані спрощеним способом і способом, який нами застосовується.

*Ключові слова:* шпунтова стінка, розпірне кріплення, активний тиск, пасивний тиск, коефіцієнт бічного тиску, стійкість стінки проти перекидання.

### Вступ

При розробці котлованів є потреба у кріпленні вертикальних його укосів від обвалення ґрунту. Для утримання укосів від обвалення розроблено значну кількість різних за конструкцією кріплень.

Одним із кріплень є одиночне шпунтове огородження з розпірками, яке, залежно від глибини котловану, може мати декілька ярусів розпірок або анкерних тяг. Розрахунок шпунтового огородження, навіть з одним ярусом розпірок, є складним, оскільки потребує визначення не тільки глибини забивання шпунта і розмірів його поперечного перерізу, а також визначення зусилля в розпірках або анкері. При визначенні цих невідомих можливі два підходи (дві розрахункові схеми). Перша схема передбачає таку роботу, щоб була забезпечена стійкість шпунтової стінки проти випирання ґрунту. Ця схема була запропонована Є.К. Якобі. Зовнішніми зусиллями є активний і пасивний тиски ґрунту. Невідомі можуть визначатися аналітичним або графічним способами.

В основу другої схеми (схеми Блюма–Ломейера) закладено передумову, при якій згинальні моменти у стінці повинні бути мінімальними, тобто меншими, ніж при розрахунках за схемою Є.К. Якобі. У цьому випадку глибина забивання шпунта буде більшою, ніж за першою схемою. Реалізація другої схеми здійснюється графоаналітичним способом [1].

У даній статті розглянуто спрощений спосіб визначення глибини забивання шпунта, який базується на першій схемі розрахунку.

### Аналіз публікацій

При визначенні глибини забивання шпунтової огорожі й зусиль у розпірках або анкерних палях потрібно визначити активний і пасивний бічний тиск ґрунту на шпунтову

стінку, як у межах глибини котловану, так і нижче його підосви. Визначенню бічного тиску на огороджувальні конструкції присвячено сотні робіт. Задача визначення тиску ґрунту на огородження є дуже складною, оскільки тиск ґрунту залежить не тільки від фізико-механічних характеристик ґрунту, а й від конструкції огородження та його деформацій. У зв'язку з цим і нині уточнюються основні положення розрахунку бічного тиску ґрунту [2–9]. Чинний нормативний документ [10] дозволяє визначити бічний тиск на огородження, застосовуючи традиційну постановку Кулона, яка була розроблена ще у другій половині XVIII століття. Але навіть в разі застосування теорії Кулона розрахунок шпунтового огородження з одним ярусом розпірок або анкерних тяг є складною задачею, яка потребує подальшої розробки.

### Мета і постановка завдання

Метою запропонованої роботи є розроблення спрощеного способу визначення глибини забивання шпунта, при якому бічні активний і пасивний тиски визначаються із застосуванням теорії Кулона, а епюри бічного тиску змінюються по глибині за іншим законом.

*Визначення глибини забивання шпунта традиційним способом*

Стійкість шпунтової стінки проти перекидання буде забезпечена [1], якщо

$$\frac{M_u}{M_z} \leq \frac{m}{\gamma_n}, \quad (1)$$

де  $M_u$  – перекидальний момент;  $M_z$  – утримуючий момент;  $m$  – коефіцієнт умов роботи, що приймається 0,8;  $\gamma_n$  – коефіцієнт надійності за навантаженням, який на стадії будівництва дорівнює одиниці.

За схемою Є.К. Якобі вважається, що стінка повертається навколо точки А, яка знаходиться на рівні розпірки. Із запасом можна прийняти, що точка А розташована на рівні поверхні ґрунту (рис. 1).

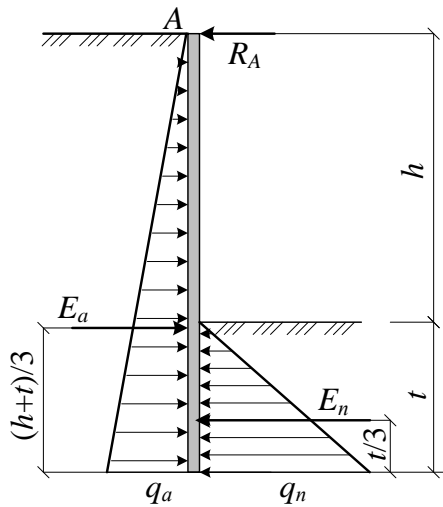


Рис. 1. Активний і пасивний тиски на шпунтову огорожу

Епюру активного бічного тиску, побудовану за теорією Кулона, наведено на рис. 1 ліворуч, а епюру пасивного тиску – праворуч. Нагадуємо, що розрахунок шпунтової стінки ведеться на 1 пог. м її довжини. Рівнодіюча активного тиску  $E_a$  прикладена на відстані  $(h+t)/3$  від низу шпунтової стінки, а сила пасивного тиску  $E_p$  – на відстані  $t/3$ , де  $h$  – глибина котловану;  $t$  – глибина забивання шпунта нижче дна котловану.

Перекидний момент відносно точки А

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{2}{3}(h+t) \cdot E_a = \frac{2}{3}(h+t) \cdot \frac{1}{2}(h+t)^2 \cdot \gamma \cdot \tau_a = \\ &= \frac{1}{3}\gamma(h+t)^3 \cdot \tau_a, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\gamma$  – питома вага ґрунту,  $\text{кН/м}^3$ ;  $\tau_a$  – коефіцієнт активного бічного тиску, який визначається за формулою

$$\tau_a = \text{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi), \quad (3)$$

де  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Утримуючий момент відносно тієї ж точки А

$$\begin{aligned} M_z &= (h + \frac{2}{3}t) \cdot E_p = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 (h + \frac{2}{3}t) \cdot \tau_p = \frac{1}{6} \gamma \cdot t^2 (3h + 2t) \tau_p, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\tau_p$  – коефіцієнт пасивного тиску

$$\tau_p = \text{tg}^2(45^\circ + 0,5\varphi). \quad (5)$$

Підставивши значення перекидного (2) і утримуючого моментів (4) у формулу (1), отримуємо

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{M_z} &= \frac{2 \cdot \gamma \cdot (h+t)^3 \cdot \tau_a}{\gamma \cdot t^2 (3h+2t) \cdot \tau_p} = \\ &= \frac{2(h+t)^3 \cdot \tau_a}{t^2 (3h+2t) \cdot \tau_p} \leq 0,8. \end{aligned} \quad (6)$$

Після уведення виразу

$$t = \alpha \cdot h \quad (7)$$

у формулу (6) матимемо дещо інший її вигляд

$$\frac{M_u}{M_z} = \frac{2 \cdot (1+\alpha)^3}{\alpha^2 (3+2\alpha) \cdot \tau_p^2} \leq 0,8. \quad (8)$$

Таким чином, для визначення показника  $\alpha$ , а значить, і глибини забивання шпунта  $t$ , треба розв'язати рівняння третього ступеня (8). Це робиться методом підбору, що викликає деякі незручності математичного плану.

*Визначення глибини забивання шпунта спрощеним способом*

Уведено передумову, що реакція  $R_A=0$ . Тоді з рівноваги горизонтальних сил отримуємо

$$E_a - E_p = 0, \quad (9)$$

або

$$\frac{1}{2} \cdot \gamma (h+t)^2 \cdot \tau_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot \tau_p. \quad (10)$$

Розділимо ліву і праву частини рівняння (10) на  $0,5 \cdot \gamma \cdot \tau_a$ . Вираз (10) спроститься і буде мати наступний вигляд

$$(h+t)^2 = t^2 \frac{\tau_p}{\tau_a}. \quad (11)$$

Замінивши  $\frac{\tau_p}{\tau_a} = \tau_p^2$ , отримуємо

$$(h+t)^2 = t^2 \tau_p^2. \quad (12)$$

Додатний корінь з лівої та правої частин рівняння (12) буде мати вигляд

$$h+t = t \cdot \tau_p, \quad (13)$$

або

$$t = \frac{h}{\tau_{\text{п}} - 1}. \quad (14)$$

Порівнюючи вираз (14) з формулою (7), маємо

$$\alpha = \frac{1}{\tau_{\text{п}} - 1}, \quad (15)$$

Таким чином, для розрахунку глибини забивання шпунта достатньо визначити коефіцієнт бічного пасивного тиску  $\tau_{\text{п}}$ .

Формулу (15) отримано для незв'язних ґрунтів (наприклад, пісків), коли питоме значення  $c=0$ .

Перевіримо це положення. Якщо після визначення показника  $\alpha$  за формулою (15) і підстановки його у формулу (8) співвідношення моментів буде меншим 0,8, то формулою (15) можна користуватися. Нами зроблено розрахунки для пісків, у яких кут внутрішнього тертя змінювався від 24° до 42° (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення показника  $\alpha$

Кут внутрішнього тертя, град	24	26	28	30	32	34	38	42
Показник $\alpha$	0,7293	0,6406	0,5680	0,5	0,4435	0,3915	0,3122	0,2472
Співвідношення $M_u/M_z$	0,776	0,766	0,757	0,750	0,742	0,741	0,724	0,711

Із таблиці видно, що співвідношення перекидного і утримуючого моментів (1) знаходяться для різних кутів внутрішнього тертя в межах від 0,714 до 0,776, тобто менше рекомендованого нормами коефіцієнта умов роботи, що дорівнює 0,8.

За збільшення кута внутрішнього тертя глибина забивання  $t$  шпунта зменшується. Наприклад, при куті внутрішнього тертя  $\varphi=42^\circ$  глибина забивання шпунта зменшується у порівнянні з глибиною, яка потрібна при куті  $\varphi=24^\circ$ , у  $0,7293/0,2472=2,95$  рази.

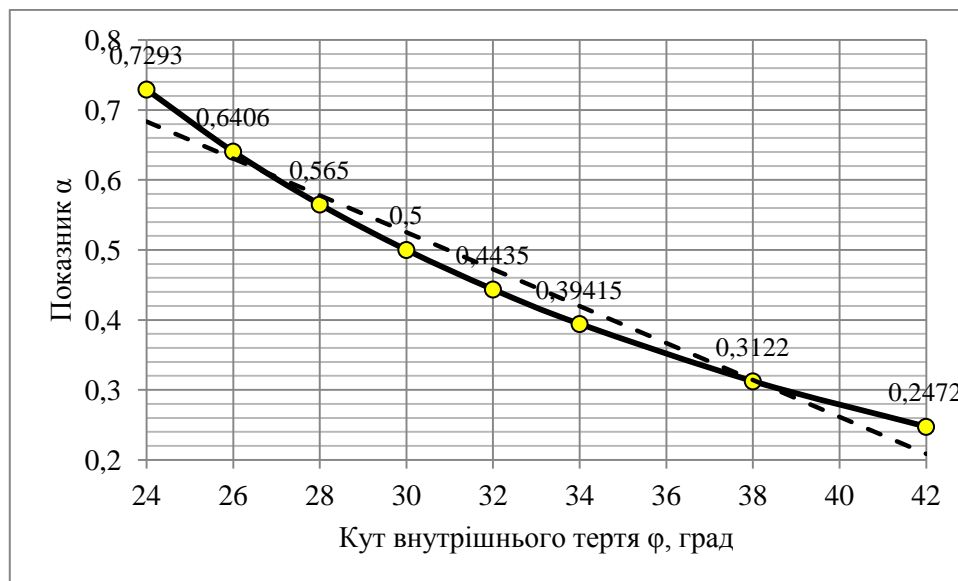


Рис. 2. Залежність коефіцієнта  $\alpha$  від величини кута внутрішнього тертя

Графік залежності коефіцієнта  $\alpha$  від кута внутрішнього кута являє собою криву з незначною кривизною (рис. 2), яку можна описати квадратною параболою.

$$\alpha = 0,0008937\varphi^2 - 0,0857593\varphi + 2,2725937. \quad (16)$$

Параболи вищого порядку не вносять суттєвих уточнень при описанні розглянутої кривої. Наприклад, парабола третього порядку

$$\alpha = -0,00003544\varphi^3 + 0,00431706\varphi^2 - 0,19355051\varphi + 3,3777778. \quad (17)$$

дає результати, які є дещо кращими, ніж у випадку застосування квадратної параболи.

### Висновки

1. Застосування спрощеного способу визначення глибини забивання шпунта дає можливість з достатньою для практики точністю визначити цю глибину.

2. Аналіз розрахунків показав, що за збільшення кута внутрішнього тертя незв'язних ґрунтів глибина забивання шпунтової огорожі з одним ярусом розпірок або анкерних тяг зменшується.

3. Залежність коефіцієнта від величини кута внутрішнього тертя можна описати квадратною параболою, або навіть прямою лінією.

### Література

1. Кожушко В.П. Основи і фундаменти: підручник для вузів: в 2 ч. – Харків: ХНАДУ, 2002. – Ч.2 – 492 с.
2. Лучковский И.Я. Горизонтальное давление на вертикальное ограждение конструкции глубоких сооружений / И.Я. Лучковский, В.И. Никитенко // Автом. дороги і дор. буд-во. – К.: НТК, 2004. – Вип.69. – С. 146–156.
3. Jeong Sangseon. Analysis of the Tieback Wall Using Proposed P-y Curves for Coupled Soil Springs / Sangseon Jeong, Donghee Seo // Comput and Geotechn. – 2004. – Vol. 31. – №6. – P. 443–456.
4. Wang Yuan-Shan. Distribution of Active Earth Pressure of Retaining Wall with Wall Movement of Rotation about Top / Yuan-Shan Wang, Zhao-ping Tang, Bin Zheng // Appl. Math and Mech. Engl. Ed. – 2004. – Vol. 25. – №7. – P. 761–767.
5. Tamura Shuji. Earth Pressure and Sidwall Friction Acting on an Embedded Footing in Dry Sand Based on Centrifuge Tests / Shuji Tamara? Tsuyoshi Imoyoshi, Tadashi Sakamoto // Soil and Found. – 2007. – 47. – №4. – P. 811–819.
6. Lin F.Q. A Generalized Slip Line Solution to the Active Earth pressure on Arcular Retaining Walls / F.Q. Lin, J.H. Wang // Comput. and Geotechn. – 2008. – 35. – №2. – P. 155–164.
7. Benmebarek S. Numerical Evaluation of 3 D Passive Earth Pressure Coeficients for Retaining Wall Subjected to Tran Slation / S. Benmebarek, R. Kastner // Comput. and Geotechn. – 2008. – 35. – №1. – P. 47–60.
8. Шмуклер В.С. Проектирование подпорной стены со сложной внутренней геометрией / В.С. Шмуклер, Е.И. Лугченко, О.А. Калмыков, В.М. Зинченко // Науковий вісник буд-ва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 66. – С. 210–211.
9. Торжманов М.А. Применение МКЭ в расчетах шпунтовых рядов / М.А. Торжманов // Изв. вузов. Сев-Кавк. регион. Техн. н., 2006. - №4. – Прилож. №12. Проблема строительства и архитектуры. – Ч.1. – С. 119–120.
10. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2 – 15:2009. – (Чинний від 2010-03-01) – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.– 83 с. (Державні будівельні норми України).

### References

1. Kozhushko V.P. Osnovy i fundamente: pidruchnyk dlia vuziv. V 2-kh ch. – Kharkiv: KhNADU, 2002. – Ch.2 – 492 s.
2. Luchkovskiy Y.Ia. Horyzontalnoe davlenye na vertykalnoe ohrazhdenye konstruksyyi hlubokyykh sooruzheniy / Y.Ia. Luchkovskiy, V.Y. Nykytenko // Avtom. dorohy i dor. bud-vo. – K.: NTK, 2004. – Vyp.69. – S. 146–156.
3. Jeong Sangseon. Analysis of the Tie-back Wall Using Proposed P-y Curves for Coupled Soil Springs / Sangseon Jeong, Donghee Seo // Comput and Geotechn. – 2004. – Vol. 31. - №6. – P. 443–456.
4. Wang Yuan-Shan. Distribution of Active Earth Pressure of Retaining Wall with Wall Movement of Rotation about Top / Yuan-Shan Wang, Zhao-ping Tang, Bin Zheng // Appl. Math and Mech. Engl. Ed. – 2004. – Vol. 25. – №7. – P. 761–767.
5. Tamura Shuji. Earth Pressure and Sid-wall Friction Acting on an Embedded Footing in Dry Sand Based on Centrifuge Tests / Shuji Tamara? Tsuyoshi Imoyoshi, Tadashi Sakamoto // Soil and Found. – 2007. – 47. – №4. – P. 811–819.
6. Lin F.Q. A Generalized Slip Line Solution to the Active Earth pressure on Arcular Retaining Walls / F.Q. Lin, J.H. Wang // Comput. and Geotechn. – 2008. – 35. – №2. – P. 155–164.
7. Benmebarek S. Numerical Evaluation of 3 D Passive Earth Pressure Coeficients for Retaining Wall Subjected to Tran Slation / S. Benmebarek, R. Kastner // Comput. and Geo-techn. – 2008. – 35. – №1. – P. 47–60.
8. Shmukler V.S. Proektyrovanye podpornoi steny so slozhnoi vnutrennei heometryei / V.S. Shmukler, E.Y. Luhchenko, O.A. Kalmykov, V.M. Zynchenko // Naukovyi visnyk bud-va. – Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU, 2011.–Vyp. 66.–S. 210–211.
9. Torzhymanov M.A. Prymenenye MKЭ v raschetakh shpuntovykh riadov / M.A. Torzhymanov // Yzv. vuzov. Sev-Kavk. rehyon. Tekhn. n., 2006. - №4. – Prylozh. №12. Problema stroytelstva y arkhytektury. – Ch.1. – S. 119–120.
10. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy: DBN V.1.2 – 15:2009. – (Chynnyi vid 2010-03-01) – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2009 - 83 s. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy).

**Кожушко В.П.**, докт. техн. наук, професор, кафедра мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. м. Харків, Україна / ORCID: 0000-0002-7044-776X

**Краснов С.М.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. м. Харків, Україна / ORCID: 0000-0002-2375-4273.

**Determining the depth of plugging a pile with one layer of struts or anchors**

**Abstract.** The aim of the *proposed* work is to develop a simplified version of determining the depth of plugging a pile with one layer of struts or anchors. When **setting the problem**, the scheme by E.K. Jacobi was offered, which suggests, that the deepening of the wall should be such as to ensure the stability of the wall against soil protrusion. **Methodologically**, the problem is solved analytically. The **calculations** take into account the active and passive soil pressures, the intensity and shape of whose plots is determined using Coulomb's theory. Comparative **results** of the depth of pile plugging obtained by the simplified method and the method currently used in the calculations of single pile fences with one layer of fasteners are presented. It is shown that the depth of pile plugging and groove calculation made in a simplified

way does not *practically* differ from the depth of wall immersion calculated by the existing method.

**Key words:** piling wall, spacer propping, active pressure, passive pressure, lateral pressure coefficient, wall resistance against overturning.

**Kozhushko V.P.**, Doct. of Science, professor of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics, Kharkiv National Automobile and Highway University 61002, Ukraine, Kharkov, Yaroslava Mudrogo st, 25, [kozhushko\\_vp@ukr.net](mailto:kozhushko_vp@ukr.net)  
тел. [+38 057-707-37-22](tel:+380577073722)

**Krasnov S.M.**, Ph.D., associate professor of Department of Bridges, Constructions and Building Mechanics, Kharkiv National Automobile and Highway University 61002, Ukraine, Kharkov, Yaroslava Mudrogo st, 25, [krasnov56@ukr.net](mailto:krasnov56@ukr.net),  
tel. [+38 057-707-37-22](tel:+380577073722)

---