

Технічні науки

УДК 624.131.53

Войтенко Інга Володимирівна

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри основ і фундаментів
Одеська державна академія будівництва та архітектури*

Войтенко Інга Владимировна

*кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры оснований и фундаментов
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Voitenko Inha

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ЧИННИКІВ НА БІЧНИЙ
ТИСК АНІЗОТРОПНОГО ҐРУНТУ
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА
БОКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ АНИЗОТРОПНОГО ГРУНТА
ANALYSIS OF INFLUENCE OF DETERMINING FACTORS ON THE
LATERAL PRESSURE OF ANISOTROPIC SOIL**

***Анотація.** Досліджено вплив сил внутрішнього зчеплення та геометричних параметрів підпірної споруди на активний тиск анізотропного ґрунтового середовища.*

***Ключові слова:** активний тиск, підпірна стіна, параметри міцності ґрунту.*

***Аннотация.** Исследовано влияние сил внутреннего сцепления и геометрических параметров подпорного сооружения на активное давление анизотропной грунтовой среды.*

Ключевые слова: активное давление, подпорная стена, параметры прочности грунта.

Summary. *The influence of internal cohesion forces and geometrical parameters of a retaining structure on the active pressure of an anisotropic soil medium has been studied.*

Key words: active pressure, retaining wall, soil strength parameters.

Сучасне будівництво характеризується стрімкими темпами забудови, що найчастіше відбувається в стисливих місцевих умовах, тому пріоритетною тенденцією стає влаштування підземних паркінгів, офісних та складських приміщень, тощо. До того ж, умови воєнного часу вимагають влаштування сучасних бомбосховищ і укриттів. Ці обставини обумовлюють влаштування підземних конструкцій підпірного типу, основним діючим навантаженням на котрі є бічний тиск ґрунту, який найчастіше характеризується неоднорідністю складу. Як свідчать численні дослідження, таким основам притаманна анізотропія міцнісних і деформативних характеристик.

Раніше були отримані залежності для визначення бічного тиску неоднорідного анізотропного ґрунтового середовища з точки зору класичної теорії Ш. Кулона, тобто спираючись на припущення про плоскі поверхні ковзання [1].

Бічний тиск ґрунту, в тому числі з урахуванням його анізотропних властивостей викликає певний інтерес у багатьох дослідників. У [2] представлено аналітичне рішення для визначення активного тиску незв'язного повністю водонасиченого піску на вертикальну підпірну стінку. Контактна дренажна система володіє анізотропною проникністю по вертикальному і горизонтальному напрямках. Активний тиск визначається, базуючись на теорії Кулона з урахуванням тиску порової води. Отримано

диференційне рівняння Лапласа для фільтрації з урахуванням анізотропної проникності на основі методу розкладання в ряди Фур'є. Отримані результати при зміні співвідношення коефіцієнтів фільтрації у вертикальному та горизонтальному напрямках демонструють значний вплив анізотропії фільтрації на активній тиск ґрунту.

Автори [3] пропонують метод розрахунку активного тиску ґрунту кінцевої товщини. Розглянуто гнучку підпірну споруду з різними співвідношеннями обмеженої ширини до висоти її робочої частини. Отримані лінійні залежності зміщення стіни від кута внутрішнього тертя і шорсткості стіни. Активний тиск в верхній частині перевищує кулоновське значення, в нижній порівняльно менше. Проводились натурні випробування гнучкої моделі, що дозволили отримати характер призм обвалення при різній ширині засипки.

Враховуючи високу вартість підпірних стін, виникає потреба в пошуках ресурсів при їх проектуванні і експлуатації. В попередніх дослідженнях було доведено, що врахування анізотропії параметрів міцності ґрунту дозволяє знизити тиск ґрунтового середовища в декілька разів. Виникає потреба проаналізувати інші чинники, які впливають на величину ґрунтового тиску, до яких належать: параметри міцності, зокрема зчеплення; орієнтація поверхонь контактних шарів ґрунту; орієнтація тилової грані підпірної стіни.

Треба зазначити, що ці чинники можуть корегуватися при проектуванні споруди і за допомогою певних технологічних схем влаштування ґрунтових засипок.

Згідно попереднім висновкам, бічний тиск n -го ґрунтового шару являє собою суму компонент, що відображають відповідно вплив власної ваги ґрунту в обсязі граничної призми, поверхневого навантаження з урахуванням ваги верхніх шарів і сил зв'язності, що визначаються згідно з теоремою Како:

$$E_n = \gamma_n h_n^2 N_{\gamma,n} (1 + N_{cor,n}) + q_{n,c} h_n N_{q,n} + c_n(\beta_{1,n}) h_n N_{c,n} \quad (1)$$

де γ_n – питома вага n-го ґрунтового шару;

h_n – висота шару при її проекції на вертикаль;

$c_n = c_n(\beta_{1,n})$ – базове зчеплення на поверхні n-го шару за її орієнтації $\beta_{1,n}$;

$q_{n,c}$ – рівномірно розподілене навантаження на поверхні n-го шару, що враховує вагу верхніх шарів, поверхнєве навантаження q і сейсмічну дію в рамках статичної теорії;

$N_{cor,n}$ – корегуючий коефіцієнт;

$N_{\gamma,n}$, $N_{q,n}$, $N_{c,n}$ – коефіцієнти, що відображають відповідно ваговий фактор, поверхнєве навантаження та зв'язність ґрунту в межах ґрунтової призми.

Анізотропія властивостей міцності представлена відповідними кожному шару годографами кута внутрішнього тертя $\varphi_n(\beta)$ і зчеплення $c_n(\beta)$, які задовольняють умові:

$$\varphi_n(\beta) = \varphi_n(\beta + \pi); \quad c_n(\beta) = c_n(\beta + \pi). \quad (2)$$

Для визначення впливу зчеплення на активний тиск неоднорідного анізотропного ґрунту проводились чисельні дослідження пухкого і зв'язного двошарового ґрунтового середовища шляхом обертання годографів кута внутрішнього тертя та зчеплення з кроком 15° [4]. Отримані графічні результати (рис. 1) підтверджують значний вплив внутрішніх сил зв'язності на активний тиск як анізотропного, так і ізотропного ґрунту. Графіки відображають зміну активного тиску нижнього шару в залежності від орієнтації площини шаруватості (мінімальної міцності) годографу і яскраво демонструють відмінність ґрунтового тиску зв'язного ґрунту від альтернативного пухкого середовища.

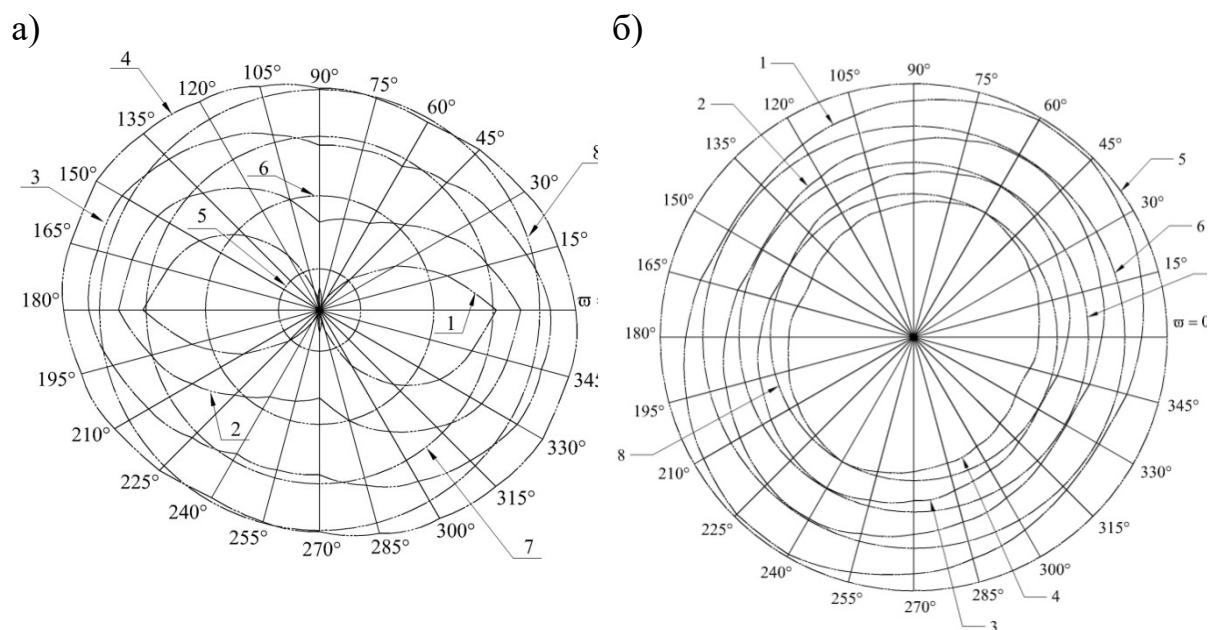


Рис. 1. Графіки залежностей активного тиску $E_{a,2}$ від орієнтації площини шаруватості годографів нижнього шару ω для заданих годографів кута внутрішнього тертя та зчеплення нижнього шару:

1 - $\varphi = 15^0 - 20^0$; 2 - $\varphi = 20^0 - 25^0$; 3 - $\varphi = 25^0 - 30^0$; 4 - $\varphi = 30^0 - 35^0$; 5 - $\varphi = \text{const} = 15^0$; 6 - $\varphi = \text{const} = 20^0$; 7 - $\varphi = \text{const} = 25^0$; 8 - $\varphi = \text{const} = 30^0$. а) 1 - $c = 20 - 40$ кПа; 2 - $c = 40 - 60$ кПа; 3 - $c = 60 - 80$ кПа; 4 - $c = 80 - 100$ кПа; 5 - $c = \text{const} = 20$ кПа; 6 - $c = \text{const} = 40$ кПа; 7 - $c = \text{const} = 60$ кПа; 8 - $c = \text{const} = 80$ кПа; б) $c = 0$

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

- внутрішні сили зчеплення при певній орієнтації годографу характеристик міцності можуть суттєво знизити активний тиск ґрунту на тилову грань контактної стіни;
- мінімальний бічний тиск зв'язного ґрунту відповідає випадку, коли орієнтація площини шаруватості горизонтальна, тобто вздовж бічної грані стінки діє максимальний тиск зв'язності, який чинить опір зрушенню часток ґрунту під дією власної ваги;
- максимальний бічний тиск відповідає вертикальній орієнтації площини шаруватості, при якій тиск зв'язності, що діє на бічній грані стінки, що сприймає бічний тиск, мінімальний.

Для пошуку більш економічної конфігурації контактної грані стіни проводився чисельний експеримент [5] щодо визначення активного тиску

анізотропного ґрунту на стіну, що орієнтована під кутом β_3 , який приймався рівним 270° , 285° и 255° (рис. 2, а). Поверхні контактної двошарової ґрунтової засипки орієнтовані відповідно під кутами $\beta_{1,1}$ и $\beta_{1,2}$.

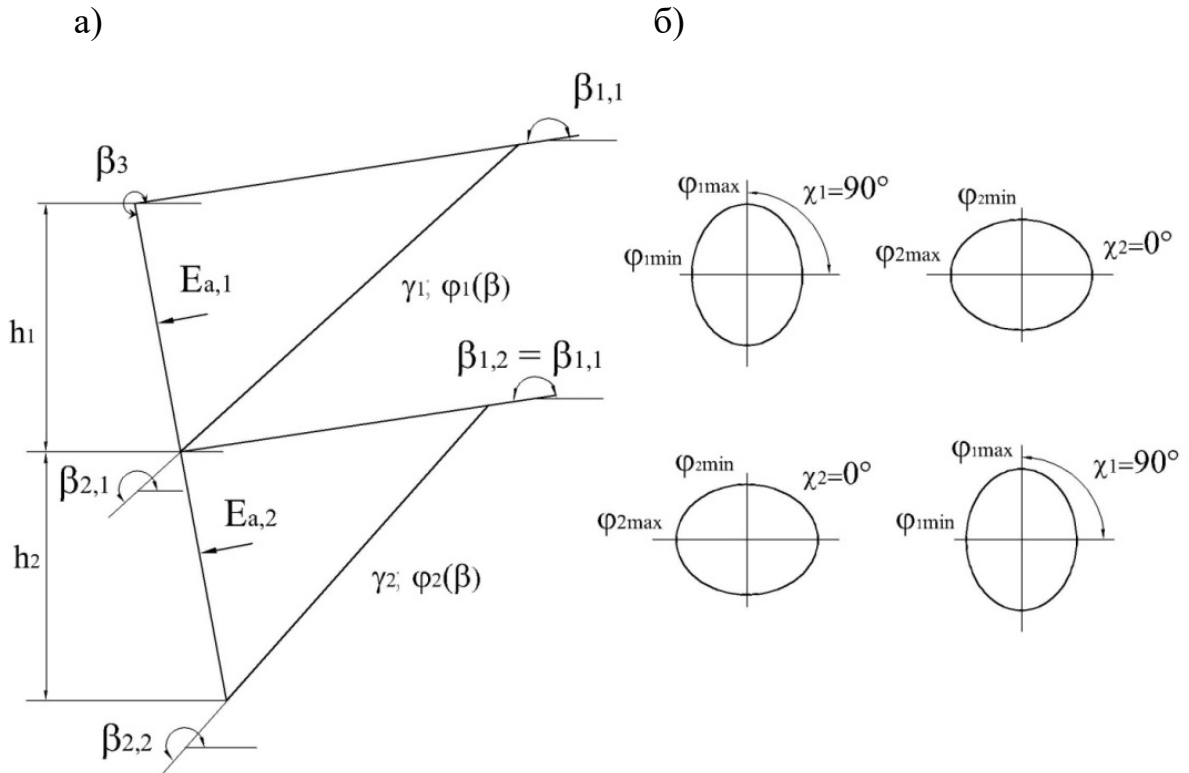


Рис. 2. Розрахункова схема (а) и варіанти комбінацій годографів кута внутрішнього тертя φ (β) при орієнтації вісі максимальної міцності n -го шару ґрунту χ_n (б)

Анізотропія міцності ґрунтових шарів моделювалась годографами кута внутрішнього тертя $\varphi=30^\circ-35^\circ$ і $\varphi=35^\circ-40^\circ$ при різних варіаціях взаємного розташування осей максимальної міцності годографів χ_n відносно горизонталі (рис. 2. б).

Розрахунки виконувались при різно орієнтованих поверхнях шарів засипки: $\beta_{1,1} = \beta_{1,2} = 180^\circ$, $\beta_{1,1} = \beta_{1,2} > 180^\circ = 190^\circ$, $\beta_{1,1} = \beta_{1,2} < 180^\circ = 170^\circ$, $\beta_{1,1} = 190^\circ > \beta_{1,2} = 170^\circ$. Найбільш економічна конфігурація стіни відповідає куту орієнтації її тилової грані $\beta_3 = 255^\circ$, максимальний тиск отримано при $\beta_3 = 285^\circ$. Результати досліджень також виявили залежність бічного тиску ґрунту від орієнтації поверхні нашарування. При $\beta_{1,1} = \beta_{1,2} = 190^\circ$ отримано

максимальний тиск, при $\beta_{1,1} = \beta_{1,2}=170^0$ – мінімальний незалежно від орієнтації годографів міцності.

В таблиці 1 наведені результати експерименту з екстремальними результатами тисків для нижнього (другого) шару.

Таблиця 1

Характеристики експерименту		Активний тиск $E_{a,2}$ при кутах внутрішнього тертя:			
		$\varphi_2(\beta)=30^0-35^0$	$\varphi_2(\beta)=35^0-40^0$	$\varphi_2(\beta)=30^0$	$\varphi_2(\beta)=40^0$
$\beta_3 = 285^0$, $\beta_{1,1} = \beta_{1,2}=190^0$	$\chi_2 = 0^0$	49,937	42,536	52,254	37,337
	$\chi_2 = 90^0$	46,426	38,924		
$\beta_3 = 255^0$, $\beta_{1,1} = \beta_{1,2}=170^0$	$\chi_2 = 0^0$	20,441	15,419	22,727	12,654
	$\chi_2 = 90^0$	19,235	14,208		
$\beta_3 = 270^0$, $\beta_{1,1} = \beta_{1,2}=180^0$	$\chi_2 = 0^0$	31,876	25,959	34,000	24,238
	$\chi_2 = 90^0$	29,576	23,685		

Порівняння екстремальних тисків доводить, що корегування геометричних параметрів стіни і орієнтації поверхонь контактних шарів ґрунту дозволяє знизити активний тиск на підпірну споруду втричі.

Таким чином доведено, що конфігурація контактної грані стіни, орієнтація поверхонь нашарування ґрунту (що може корегуватися певними технологічними схемами утворення штучних засипок) та його внутрішнє зчеплення суттєво впливають на активний тиск. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні підпірних споруд та при розробці нормативної документації.

Література

1. Войтенко І.В. Анализ численного исследования показателей анизотропии активного давления неоднородного грунта / І.В. Войтенко // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування». 2016. Вип. 83. Книга 2. С. 339-347. (фахове видання).

2. Hu Z., Yang Zx., Wilkinson S.P. Active earth pressure acting on retaining wall considering anisotropic seepage effect. *J. Mt. Sci.* 2017. 14. P. 1202–1211. doi: <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4014-3>
3. Hu W., Zhu X., Zeng Y. et al. Active earth pressure against flexible retaining wall for finite soils under the drum deformation mode. *Sci Rep.* 2022. 12. 497 p. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04411-4>
4. Voytenko I.V. Influence of cohesion on parameters of the heterogeneous anisotropic soil active pressure / I.V. Voytenko // Technical journal. Tehnicki glasnik. Varazdin, Hrvatska. 2015. Volume 9. No 1. S. 35-39. ISSN 1846-6168.
5. Vynnykov Yu. Influence of the Rear Verge Configuration of the Retaining Wall and Surface of Backfill on Active Pressure of Heterogeneous Anisotropic Soil / Yu. Vynnykov, I. Voitenko // Lecture Notes in Civil Engineering book series (LNCE, volume 181). Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. 2022. P. 415-422. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2>