

## МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ УТРИМУЮЧОЇ СПОРУДИ ЗІ СТАЛЕГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ СХИЛІВ І УКОСІВ

*Розглянуто утримуючу споруду вертикального ґрунтового укосу. Конструкція споруди являє собою один ряд вертикальних ґрунтоцементних паль, переріз яких армований сталевим прокатним профілем. Наведено розрахунок міцності на згин сталегрунтоцементних паль.*

**Ключові слова:** *паль, утримуюча споруда, сталегрунтоцемент, бурозмішувальна технологія, сталевий прокат, ґрунтоцемент, ґрунтовий укіс.*

**Вступ.** Питання стійкості ґрунтового масиву є актуальним і тому вже довгий час знаходиться в центрі уваги геотехніків та конструкторів нашої країни й зарубіжжя. При розробленні проекту будівництва лотка теплотраси Полтавського гірничо-збагачувального комбінату виникла проблема забезпечення стійкості ґрунтового укосу земляної виїмки під лоток. Зі всіх можливих рішень утримуючої споруди необхідно прийняти найбільш технологічне та економічне.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Вагомий внесок у вирішення питання стійкості ґрунтових укосів та зсувонебезпечних схилів зроблений у роботах Клейна [3], Гінзбурга [2], Зоценка [1], в яких наводяться способи визначення зсувного тиску на підпирні споруди та розрахункові схеми цих споруд. У джерелі [5] наведено порядок розрахунку буронабивних сталобетонних паль на дію згинального моменту, котрий було використано у цій роботі. Питання армування сталевим прокатом ґрунтоцементних підпирних споруд розглянуто в роботах [6, 7], де використано європейський досвід стабілізації ґрунтових укосів та зазначено, що армування прокатом підвищує міцність конструкції ґрунтоцементної палі на дію згинального моменту й поперечної сили. Тут же наведено класифікацію методів улаштування сталегрунтоцементних паль та інженерних рішень утримуючих споруд.

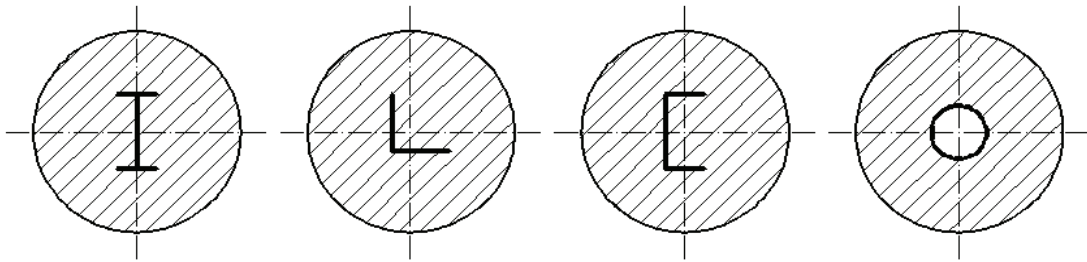
**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** У згаданих роботах відсутні дані щодо граничних значень згинального моменту, який спроможна витримати конструкція сталегрунтоцементної палі, та залежність цієї величини від характеристик ґрунтоцементу, форми й розмірів прокату, способу розстановки паль у складі утримуючої споруди.

**Постановка завдання.** Обґрунтування переваг використання сталегрунтоцементних паль в умовах сучасного промислового будівництва є метою роботи. Для її досягнення було використано як теоретико-методологічні здобутки згаданих учених, так і експериментальні дані, отримані особисто авторами.

**Основний матеріал і результати.** Розв'язання поставленого завдання можна розділити на такі етапи: вибір типу утримуючої споруди; складання розрахункової схеми, визначення внутрішніх зусиль в елементах утримуючої споруди та вибір їх конструкції, технології влаштування підпирної стінки.

**Вибір типу утримуючої споруди.** В описаному випадку було запропоновано утримуючу споруду, яка б складалася з одного чи декількох рядів паль. Такого роду споруда економішша та простіша у виготовленні, ніж масивні, напівмасивні чи тонкоелементні підпирні стінки із залізобетону.

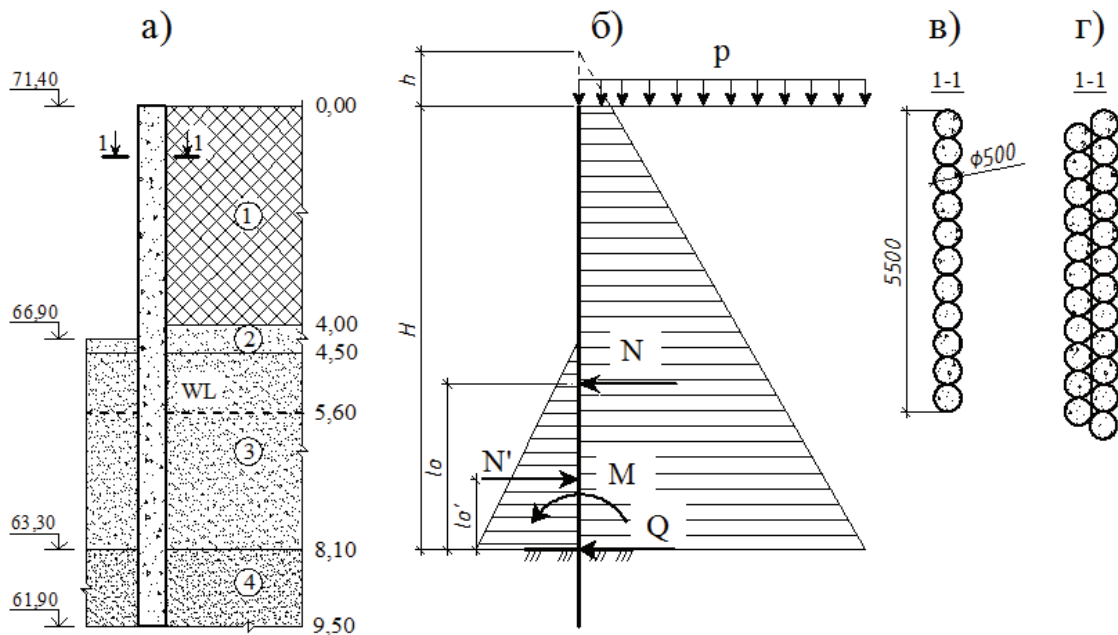
Матеріалом запропонованої споруди є сталегрунтоцемент – грунтоцемент, підсилений сталевим прокатом у складі нормального перерізу (рис. 1). Передбачалося, що всі палі мають довжину 9,5 м, діаметр 0,5 м та були заглиблені у несучий шар ґрунтової основи не менш як на 1,4 м.



**Рисунок 1 – Можливі способи армування грунтоцементних паль сталевим прокатним профілем**

Розташування сталегрунтоцементних елементів унеможливує продавлювання ґрунту крізь них. Таким чином, міцність утримуючої споруди буде забезпечена, якщо нормальний переріз елементів буде спроможний сприйняти згинальний момент від зсувної ґрунтової маси.

*Складання розрахункової схеми.* Кожний елемент підпірної споруди розглядався як вертикальна консоль, затиснена у несучому шарі ґрунтової основи. На задню грань споруди діє активний тиск та додаткове вертикальне навантаження, які створюють в елементі на рівні затиснення згинальний момент  $M$  і поперечну силу  $Q$  (рис. 2). На частину передньої грані діє також пасивний тиск.



**Рисунок 2 – Схема утримуючої споруди: а) інженерно-геологічний розріз; б) розрахункова схема та епюри тиску від ґрунту та додаткового навантаження; в) однорядне розташування паль; г) дворядне розташування паль**

У розрахунках усі ґрунтові нашарування (табл. 1) були замінені єдиним еквівалентним шаром з усередненими характеристиками, що не вплинуло на величину рівнодійної тиску  $N$  ґрунту на утримуючу споруду. За несучий шар основи, на рівні якого прийняте затиснення, на розрахунковій схемі прийнято ПЕ 4, в котрій кожна паля заглиблена.

**Таблиця 1 – Характеристики ґрунтових нашарувань**

№ шару	Найменування	Питома вага $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Кут внутрішнього тертя $\varphi^\circ$
ПЕ 1	Насипний шар, злежалий	18,00	–
ПЕ 2	Пісок намивний, середньої щільності	18,70	27
ПЕ 3	Пісок сірий, середньої щільності	20,00	30
ПЕ 4	Пісок сірий, середньої щільності	20,30	32

Оскільки будівництво передбачається на промисловому об'єкті, на стінку також діятиме додатковий вертикальний тиск  $P$  від можливого руху транспорту чи техніки для влаштування лотка. Цей тиск у розрахунках було замінено еквівалентним шаром ґрунту потужністю 1м.

Відповідно до даних роботи [1], величина зсувного тиску  $N$  на елементи споруди від незв'язних ґрунтів складе

$$N = \frac{\gamma}{2} \cdot (H^2 + 2 \cdot h \cdot H) \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2). \quad (1)$$

У загальному випадку утримуючу споруду необхідно розраховувати на стійкість її положення, міцність ґрунту в основі, міцність конструкції елементів стінки, деформацію ґрунту в основі, тріщиностійкість елементів стінки [3]. Але в цьому випадку обмежимося перевіркою міцності конструкції елементів споруди, на які діє згинальний момент  $M$  від сили  $N$ , прикладеної на відстані  $l_0$  від затиснення та пасивного тиску на передню грань,

$$M = N \cdot l_0 - N' \cdot l'_0. \quad (2)$$

Визначений таким чином момент, що діятиме на один елемент утримуючої споруди на рівні затиснення, при заданих геометричних параметрах паль та однорядному розташуванні складатиме 283 кНм.

Визначення внутрішніх зусиль в елементах утримуючої споруди та вибір їх конструкції. Розрахунок сталегрунтоцементної палі на згин було виконано за методикою, викладеною в роботі [5]. Для всіх конструктивних матеріалів передбачається робота у пружній стадії.

При розрахунках сталегрунтоцементної палі круглого перерізу рекомендується перейти до еквівалентного квадратного перерізу зі стороною  $b$  за формулою [5, форм. 5]

$$b = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \sqrt{0,785 \cdot d^2} = 0,88 \cdot d. \quad (3)$$

Далі визначається висота стисненої зони  $x$

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b}. \quad (4)$$

Формула для перевірки несучої здатності при роботі палі на згин

$$M \leq M_U = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x). \quad (5)$$

У формулах (3) – (5):  $R_s$  – розрахунковий опір арматури на розтяг;  $A_s$  – площа робочої арматури;  $R_b$  – призмova міцність ґрунтоцементу; для ґрунтоцементу на піщаному заповнювачеві ця величина може становити 5 – 12 МПа залежно від кількості

цементу, води та крупності піску. Розрахунок міцності конструкції сталегрунтоцементних елементів утримуючої споруди наведено у табличній формі (табл. 2).

**Таблиця 2 – Розрахунок міцності конструкції сталегрунтоцементних елементів утримуючої споруди**

Армування перерізу	Розрахункові параметри					Умова $M \leq M_U$
	$R_b$ , МПа	$x$ , мм	$h_0$ , мм	$M_U$ , кНм	$M$ , кНм	
Однорядне розташування паль						
Двотавр № 14	5	190	250	65	283	Не виконується
Двотавр № 20	5	292	250	66	283	Не виконується
Двотавр № 14	10	95	250	85	283	Не виконується
Двотавр № 20	10	146	250	114	283	Не виконується
Двотавр № 24	10	190	250	130	283	Не виконується
Дворядне розташування паль						
Двотавр № 24	12	158	250	143	142	Виконується
Відсутнє	12	–	–	15	142	Не виконується
Без використання ґрунтоцементу						
Двотавр № 24	–	–	–	70	142	Не виконується

З аналізу результатів розрахунків можна зробити висновок про необхідність дворядного розташування елементів утримуючої споруди. При такому їх розміщенні згинальний момент, який діє на погонному метрі утримуючої споруди, буде сприймати вдвічі більша кількість паль. Крім того, можна взагалі відмовитися від використання ґрунтоцементних паль і обмежитися лише двотаврами. У такому випадку їх кількість необхідно буде збільшити вдвічі (замість 22-х сталегрунтоцементних паль – 44 двотаврові консолі).

*Технологія влаштування підпірної стінки.* У розглянутому випадку передбачається бурозміщувальна технологія виготовлення сталегрунтоцементних елементів, яка полягає в наступному. Так спочатку за допомогою ножів бурового інструменту розпушується ґрунт по всій глибині палі. При досягненні проектною відмітки вістря палі до свердловини через вертлюг за допомогою розчинонасоса починає нагнітатися водоцементна суспензія з В/Ц=1. Далі за допомогою робочого органа водоцементна суспензія переміщується з розпущеним ґрунтом до досягнення стану однорідної ґрунтоцементної суміші з рухливістю, яка оцінюється осадкою стандартного конуса і має складати близько 11 см.

Описана технологія передбачає використання комплекту такого обладнання:

– буровий верстат БМ-811м на автомобільному ході (рис. 3), в якому шнеки змінені буровими штангами діаметром 100 мм з внутрішнім каналом для подачі розчину, робочий орган буру має отвори для розподілення водоцементної суспензії по перерізу свердловини, розчинонасос з'єднується з буровим інструментом за допомогою напірних шлангів та вертлюга;

– для виготовлення водоцементної суспензії потрібно використовувати розчинозмішувач;

– для нагнітання суспензії необхідний розчинонасос, як такий можна використати будівельні діафрагмові насоси та бурові плунжерні насоси, вони мають створювати тиск не менший за 0,5 – 0,7 МПа.

Ґрунтоцементні палі необхідно виготовляти методом «через одну». Одразу після виготовлення в рідкий ґрунтоцемент установлюється сталевий прокатний профіль у проектне положення. Сталевий прокат найбільш доцільно розмістити ближче до задньої грані підпірної споруди.

**Висновки.** Сталевий прокатний профіль не викликає труднощів, пов'язаних із його заглибленням у рідкий ґрунтоцемент, тому сталегрунтоцементні палі у світовій практиці

фундаментобудування мають ширше використання, ніж ґрунтоцементні палі, армовані просторовими арматурними каркасами.



**Рисунок 3 – Процес виготовлення ґрунтоцементної палі за бурозмішувальною технологією**

Розрахунки міцності конструкції сталегрунтоцементних елементів демонструють, що одним лише перенасиченням перерізу сталлю важко забезпечити його міцність. Необхідно також підвищувати марку самого ґрунтоцементу, чого можна досягнути в представлених інженерно-геологічних умовах завдяки піщаному заповнювачу та правильному дозуванню інших компонентів суміші.

З урахуванням вищезазначеного виникла необхідність дворядного розташування елементів, яку можна реалізувати за допомогою бурозмішувальної технології. Альтернативні способи виготовлення бурових палей не дають такої можливості, тоді як наведена технологія легко дозволяє розташувати елементи утримуючої споруди у 2, 3 і більше рядів.

#### *Література*

1. *Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлєв, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – 557 с.: іл.*
2. *Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции /Л.К. Гинзбург. – М.: Стройиздат, 1979. – 80 с., ил. – (Охрана окружающей среды).*
3. *Клейн Г.К. Расчет подпорных стен / Г.К. Клейн. – М.: Высшая школа, 1964. – 195 с.*
4. *Зоценко М.Л. Вплив повздовжнього армування на несучу здатність палей з ґрунтоцементу / Зоценко М.Л., Павліков А.М., Петраш О.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. Вып. 65. – Д.: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – 726 с.*
5. *Зоценко М.Л. Рекомендації до розрахунку буроін'єкційних сталезалізобетонних палей / М.Л. Зоценко, Л.І. Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 10 с.*
6. *Denies N. SOIL MIX WALLS as retaining structures / N. Denies, N. Huybrechts // Recent Research, Advances & Execution Aspects of Ground Improvement Works// Proceedings of the international symposium on Ground Improvement IS-GI. Vol. 3, Brussels 2012. – 558 p.*
7. *Gomez J.N. Soil Cement Stabilization – Mix Design, Control and Results during construction / J.N. Gomez, D.M. Anderson // Recent Research, Advances & Execution Aspects of Ground Improvement Works; Proceedings of the international symposium on Ground Improvement IS-GI. Vol. 3, Brussels 2012. – 558 p.*

*Н.Л. Зоценко, д.т.н., профессор  
Р.В. Петраш, к.т.н., доцент  
О.В. Петраш, к.т.н., старший преподаватель  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ УДЕРЖИВАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ ИЗ СТАЛЕГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ И УКОСОВ**

*Рассмотрено удерживающее сооружение вертикального грунтового откоса. Конструкция сооружения представляет собой один ряд вертикальных грунтоцементных свай, сечение которых армировано стальным прокатным профилем. Приведен расчет прочности на изгиб сталегрунтоцементных свай.*

**Ключевые слова:** *свая, удерживающее сооружение, сталегрунтоцемент, буросмесительная технология, стальной прокат, грунтоцемент, откос.*

*M.L. Zotcenko, Doctor of technical sciences, Professor  
R.V. Petrash, Ph.D., Associate Professor  
A.V. Petrash, Ph.D., Senior Teacher  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **CONSTRUCTION STRENGTH OF RESTRAINING FACILITY OF STEEL-SOIL-CEMENT ELEMENTS FOR SLIDING SLOPES AND BANKS**

*Restraining facility of vertical soil bank is under investigation. The design of buildings is a single row of vertical soil-cement piles. Its cross sections reinforced with steel rolled profiles. Bending strength calculation of steel-soil-cement piles is presented.*

**Keywords:** *pile, restraining facility, steel-soil-cement, deep soil mixing technology, steel rolled profile, soil-cement, soil bank.*

*Надійшла до редакції 27.09.2014  
© М.Л. Зоценко, Р.В. Петраш, О.В. Петраш*