

УДК 624.131

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АРМУВАННЯ ҐРУНТУ ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТЕРЖНЯМИ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

І. В. Маєвська, Л. І. Неволя

*Одним із способів поліпшення міцності і деформаційних властивостей основ є армування ґрунту, що являє собою комбінацію ґрунту й арматури. Введення армуючі елементів дозволяє значно поліпшити міцнісні і деформаційні характеристики ґрунтів, а отже, знизити витрати на влаштування фундаментів.*

*Одним из способов улучшения прочностных и деформативных свойств оснований является армирование грунта, представляющего собой комбинацию грунта и арматуры. Введение армирующих элементов позволяет значительно улучшить прочностные и деформативные характеристики грунтов, а следовательно, снизить затраты на возведение фундаментов.*

*One of the ways to improve resistant and deformation qualities of basements is soil reinforcement that means a combination of soil of soil and armature. Inculcation of the reinforcement elements helps to improve resistant and characteristics of the soil, that means to reduce expense for elevating the foundations.*

### Постановка питання. Аналіз публікацій

В останні роки отримав поширення новий метод влаштування штучних основ – шляхом армування слабких ґрунтів жорсткими вертикальними елементами. Ефект такого армування в тому, що частина слабого ґрунту замінюється жорсткими вертикальними елементами з достатньо великим модулем деформації. Вертикальні жорсткі елементи виконують роль елементів армування, коли між їх оголовками і фундаментом немає безпосереднього контакту. Зазвичай їх розділяє подушка з щелею товщиною, яка приймається рівною половині відстані між сусідніми елементами армування.

Основними завданнями армування основ є: зміцнення і підвищення стійкості ґрунтів, в тому числі на зсувонебезпечних схилах; зміцнення і укріплення насипів і укосів земляних споруд, армування зворотних засипок підпірних стін і підвищення стійкості підпірних стін, а також виключення випору ґрунту з-під споруд.

На теперішній час існують публікації у наукових фахових виданнях щодо визначення деформаційних характеристик армованого масиву ґрунту [1-3], але чіткої методики визначення деформаційних характеристик поки що не існує.

### Постановка задачі

В даній статті запропоновано порівняти різні види вертикального армування ґрунтового масиву стержнями різних матеріалів за несучою здатністю шляхом моделювання в ПК Plaxis 3DFoundation.

### Моделювання і розрахунків

Для розрахунку наведених характеристик армованого масиву використовувалось моделювання системи “штамп - армована основа” за допомогою ПК Plaxis 3DFoundation в умовах вирішення просторової задачі. Для підтвердження адекватності моделювання виконане порівняння напружено-деформованого стану армованого масиву за результатами натурних досліджень і математичного моделювання в ПК Plaxis 3DFoundation. Були використані дані штампових випробувань на армованій основі, наведені в статті Зоценко Н. Л. «Сравнительная оценка эффективности армирования основания по данным штампových испытаний и математического моделирования» [1]. На рис. 1 наведена схема порівняння даних штампових випробувань (залежність осадки штампу від навантаження) з результатами математичного моделювання.

Оскільки дані результати достатньо близько збігаються з дослідними, то можна проводити

подальші дослідження, для яких вирішено виконати математичне моделювання поведінки армованого масиву за ПК PLAXIS 3DFoundation. До розгляду прийнято геологічні умови майданчика по вул. Закревського, 43-а м. Київ.



Рис. 1. Порівняння даних штампових випробувань:

1 – дані натурних випробувань статичним навантаженням залізобетонним квадратним штампом 1,231,2 м; 2 – результати, отримані з допомогою моделювання пружнопластичної задачі з використанням методу скінченних елементів за допомогою Plaxis 3DFoundation

#### Результати математичного моделювання за ПК PLAXIS

Матеріали вертикальних армуючих елементів:

- 1) металеві труби, захищені з середини бетонним розчином, а ззовні – бітумною мастикою, з модулем деформацій  $E=210310^5$  МПа.
- 2) щебінь середнього ущільнення  $E=40$  МПа
- 3) бетон класу 12,5  $E=21310^3$  МПа
- 4) ґрунтоцемент,  $E=200$  МПа (за буро змішувальною технологією).

В розрахунках були прийняті такі параметри:

- діаметр армованих елементів: 200 мм (без уширення)
- довжина армованих елементів: 5 м
- відмітка верхівки армованих елементів: – 2,35 м.
- матеріал штампа: бетон В15 ( $E=23310^3$  МПа)
- розміри штампа: 1,231,2 м
- товщина штампа: 0,3 м
- матеріал подушки: щебінь ( $E=60$  МПа)
- розміри подушки: 3,233,2 м
- товщина подушки: 0,3 м
- розміри ґрунтового масиву 30330325 м, розміри масиву прийняті такими, які б звели до мінімуму відхилення, спричинені впливом крайових умов.

Вага шарів ґрунту, що лежать вище від підшви фундаменту, замінена еквівалентним привантаженням, яке на відмітці – 2,05 складає 39,6 кПа.

Максимально можливе навантаження визначаємо шляхом ітераційного підбору, в якому визначальною є величина допустимих осідань  $S_u=15$  см [4]. В першому наближенні прийнято  $N=1250$  кН. Градація ітерацій проводиться з кроком 100 кН.

Характеристики шарів ґрунту і матеріалів, застосованих у розрахунку, наведені в табл. 1.

Характеристики шарів ґрунту і матеріалів, застосованих у розрахунку

Шари	Питома вага $\gamma$ , $\text{кН/м}^3$	Модуль деформації $E$ , МПа	Коефіцієнт Пуассона $\nu$	Зчеплення $c_2$ , $\text{кН/м}^2$	Кут внутрішнього тертя $\varphi$ , град.
ПЕ-1	16	—	—	—	—
ПЕ-2	20	8	0,35	24	18
ПЕ-3	18,4	15	0,3	14	25
ПЕ-4	20,1	30	0,3	2	30
Штамп	24	$2,6 \times 10^6$	0,2	—	—
Підготовка зі щебеню	18	60	0,3	—	—
Ґрунтоцементні елементи	18	200	0,2	—	—
Бетонні елементи (клас 12,5)	25	$21 \times 10^3$	0,16	—	—
Металеві труби	80	$210 \times 10^3$	0,28	—	—
Щебеневі елементи	18	40	0,16	—	—

Інженерно-геологічні умови майданчика наведені на рис. 2.

Схема розташування елементів вертикального армування на рис. 3.

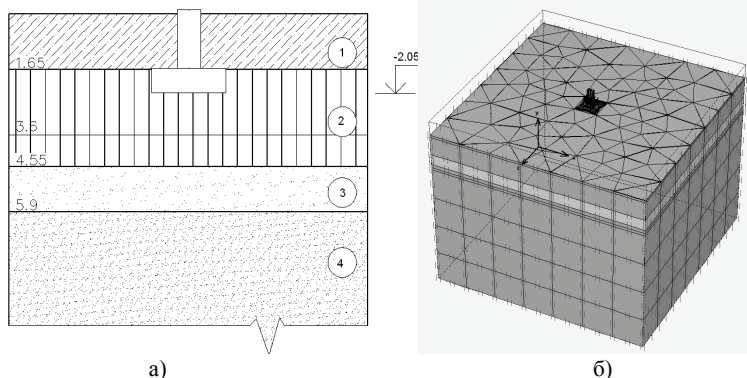


Рис. 2. Інженерно-геологічні умови майданчика:

а) модель ґрунтового масиву; б) модель ґрунтового масиву в ПК Plaxis 3DFoundation

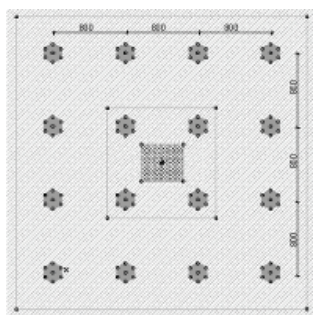


Рис. 3. Схема розташування елементів вертикального армування на відмітці  $-2,35$  м (діаметр труб  $D=200$  мм; крок в плані 4D)

Результати досліджень наведено на рис. 4, де  $N$  – максимально можливе навантаження на даний армований масив ґрунту,  $S$  – осідання при навантаженні  $N=1250$  кН.

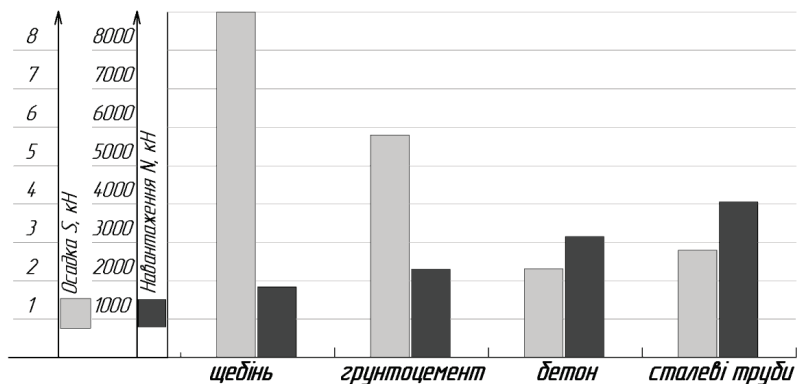


Рис. 4. Порівняльна характеристика армованих масивів з різних матеріалів

#### Висновки

- В результаті використання програмного комплексу ПК PLAXIS3DFoundation для вирішення пружнопластичної просторової задачі нелінійної механіки ґрунтів в масиві розрахункової області варифіковано дослідні дані. Також порівняно різні види вертикального армування ґрунтового масиву стержнями різних матеріалів за несучою здатністю (сталеві труби, щебеневі, бетонні, ґрунтоцементні та сталеві елементи). Найефективніше серед наведених матеріалів підвищують міцнісні характеристики ґрунту стержні з металевих труб, але серед основних недоліків цього матеріалу – швидка корозія та висока вартість.
- Максимально можливе навантаження, яке може сприйматись в такому випадку, становить 4050 кН.

#### Використана література

1. Зоценко Н. Л. Сравнительная оценка эффективности армирования основания по данным штамповых испытаний и математического моделирования / Н. Л. Лапин, Р. В. Петраш. – Зб. ОФМГ № 4. – 2008.
2. Зоценко Н. Л. Досвід і перспективи підсилення основ вертикальними ґрунтоцементними елементами у міському будівництві / Бовкун Ж. М., Маляренко В. І. – Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 6. – С. 24-28.
3. Токин А. Н. Фундаменты из ґрунтоцемента / Токин А. Н. – М. : Стройиздат, 1984. – 184 с.
4. ДБН В.2.1-10-2009 Зміна 1 – К. : Мінбуд України, 2009. – 54 с. – (Національні стандарти України).

**Маєвська Ірина Вікторівна** – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

**Неволя Ліна Ігорівна** – магістрант Вінницького національного технічного університету.