

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗТАШУВАННЯ СИСТЕМИ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ТІЛІ ЗСУВНОГО МАСИВУ

Виконано аналіз підвищення стійкості схилів шляхом зміни міцнісних характеристик ґрунтів за допомогою технології струминної цементації. Встановлена залежність коефіцієнту загальної стійкості схилу від висоти ґрунтоцементних елементів та відстані між ними.

Выполнен анализ повышения устойчивости склонов путем изменения прочностных характеристик ґрунтов с помощью технологии струйной цементации. Установлена зависимость коэффициента общей устойчивости склона от высоты ґрунтоцементных элементов и расстояния между ними.

The analysis of slope stability improvement by changing Strength characteristics of soil with the help of jet grouting. Dependence coefficient overall stability of the slope height grout to cemented elements and the distance between them.

Вступ. У зв'язку з активною забудовою територій в Україні в умовах земельного дефіциту зростає роль ділянок із складним рельєфом, гідрогеологічною будовою та можливим розвитком небезпечних інженерно-геологічних процесів – зсувів.

Проектування в таких умовах передбачає застосування додаткових заходів щодо забезпечення стійкості зсувонебезпечних ділянок і вимагає комплексного підходу до вирішення задач надійної експлуатації будівель і споруд та збереження навколишнього середовища. Роботи щодо запобігання виникнення зсувів передбачають проведення ряду геологічних досліджень із встановлення причин, що викликають їх. Аналіз НДС дає змогу вчасно передбачити заходи направленні на підвищення стійкості масиву ґрунту і в разі необхідності, застосувати протизсувні заходи.

Активні причини виникнення зсувних явищ можуть бути повністю усунені низкою заходів [1], вибір та застосування яких в повній мірі залежить від ризику виникнення зсувних процесів у кожному конкретному випадку. Питання вибору безпосередньо пов'язане з питаннями їх надійності та вартості: дорожче, але надійніше чи дешевше, але з більшою вірогідністю аварій.

Кожний із таких заходів, має свої переваги та недоліки, але серед основних недоліків, які їх об'єднують, можна виділити матеріаломісткість та високу вартість виконання, що призводить до необхідності пошуку нових конструктивних рішень.

Застосування, як конструктивно-технологічного засобу зміцнення ймовірної зсувної зони – зони розвитку пластичних деформацій, сучасної технології струминної цементації (Jet-grouting) слабких основ, яка відрізняється високою ефективністю, швидкістю спорудження паль в складних інженерно-геологічних умовах, дає можливість підвищити і зберегти стійкість схилу. Однак у фаховій літературі та проектних рішеннях відсутні дані про специфіку їх

впливу на стійкість зсувонебезпечних схилів та розвиток пластичних деформацій.

Метою роботи - визначення параметрів розташування системи ґрунтоцементних елементів та їх впливу на загальну стійкість зсувонебезпечного схилу.

Викладення основного матеріалу. Стійкість схилів забезпечується за рахунок підвищення міцнісних характеристик ґрунтів внаслідок чого збільшується опір зрушенню масиву ґрунту в схилі, перешкоджаючи таким чином утворенню потенційних поверхонь ковзання. Закріплення ґрунтів схилу виконують в межах зони пластичних деформацій шляхом армування ґрунтоцементними елементами. Останні виконують не на всю глибину товщі зсувонебезпечного схилу, а лише в межах зсувонебезпечної товщі, потужність якої визначається шляхом виконання розрахунків стійкості схилів із застосуванням сучасних програмних комплексів, розрахунок стійкості в яких базується на теорії пластичності.

Додаткове підсилення зсувонебезпечної зони схилу змінює сформований напружено-деформований стан від масових сил та зупиняє подальший розвиток пластичних деформацій в верхній зоні цього схилу, що призводить до зміни поверхні ковзання внаслідок наявності зміцнених зон. Визначення впливу величини елементів і максимальної відстані між ними на напружено-деформований стан схилу є важливою геотехнічною задачею, розв'язок якої вимагає детального дослідження напружено-деформованого стану зсувонебезпечного масиву. Величина елементів і відстань між ними також впливають на економічні показники технології.

Зважаючи на попередні міркування проведено чисельне моделювання НДС схилу в природному стані із пропорційним зниженням міцнісних характеристик (зниження Φ , c) доти, поки не відбудеться руйнування. Аналогічне моделювання виконано для схилу із влаштованими ґрунтоцементними елементами. Стійкість схилу оцінювалася коефіцієнтом загальної стійкості, який може визначатися як відношення фактичної міцності ґрунту на зрушення до міцності на зрушення в граничному стані. Якщо в якості умови граничної рівноваги прийнята умова міцності Кулона - Мора, то коефіцієнт загальної стійкості визначається виразом [3]:

$$\xi = \frac{c + \sigma_n \tan \varphi}{c_r + \sigma_n \tan \varphi_r}$$

де c і φ - міцнісні характеристики ґрунтів в основі; σ_n - фактична нормальна напружка; c_r і φ_r - значення міцнісних характеристик ґрунтів у граничному стані.

Стійкість при цьому визначається коефіцієнтом $\sum M_{sf}$.

$$\sum M_{sf} = \frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r}$$

Для встановлення залежностей коефіцієнта загальної стійкості від параметрів розташування ґрунтоцементних елементів та крутизни схилу проведено комп'ютерне моделювання тестової задачі при кутах 30° , 35° , 40° , 45° для таких ґрунтів як, пісок та супісок характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики ґрунтів для яких виконувалось моделювання.

№ ПЕ	Назва ґрунту	Щільність	Коефіцієнт фільтрації	Коефіцієнт Пуассона	Модуль деформації	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя
		γ	k	ν	E	C	ϕ
		[кН/м ³]	[м/добу]		[кПа]	[кПа]	[$^\circ$]
1	Пісок дрібний середньої щільності	15,8	1,0	0,3	28000	5	27
2	Супісок лесовидний	17,9	0,5	0,25	17000	17	17

За даними розрахунків побудовано графіки (рис. 1-6) на яких прослідковується залежність загальної стійкості схилу від кроку та висоти елементів у його тілі. Виявлено, що стійкість суттєво залежить як від відстані між елементами так і від їх висоти. Цей факт підтверджує теоретичні передумови щодо утримуючої здатності елементів. Нижче наведені графіки залежності коефіцієнта стійкості від зміни кута нахилу.

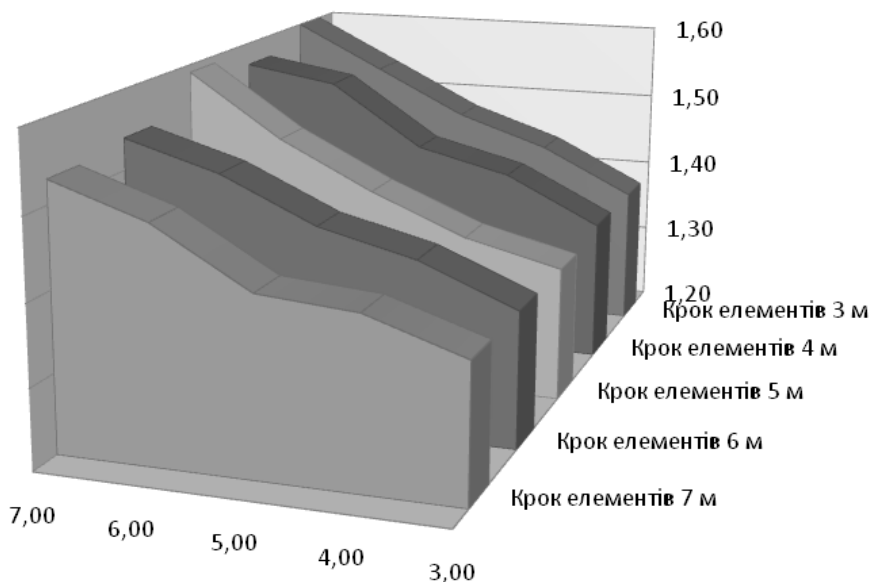


Рис. 1. Графік залежності загальної стійкості схилу складеного піщаними ґрунтами від частки елементів у його тілі для кута нахилу 30° .

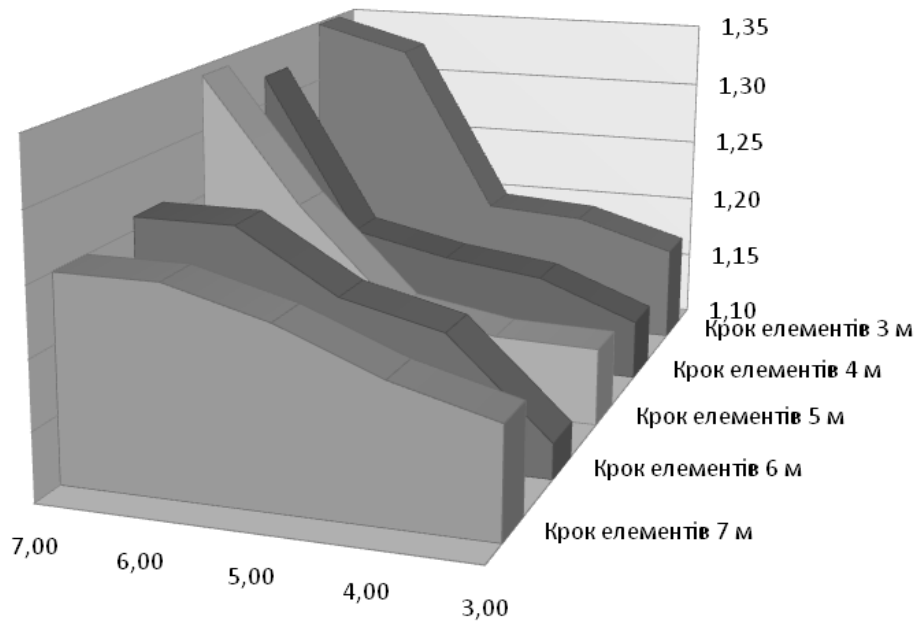


Рис. 2. Графік залежності загальної стійкості схилу складеного піщаними ґрунтами від кроку та висоти елементів у його тілі для кута нахилу 35° .

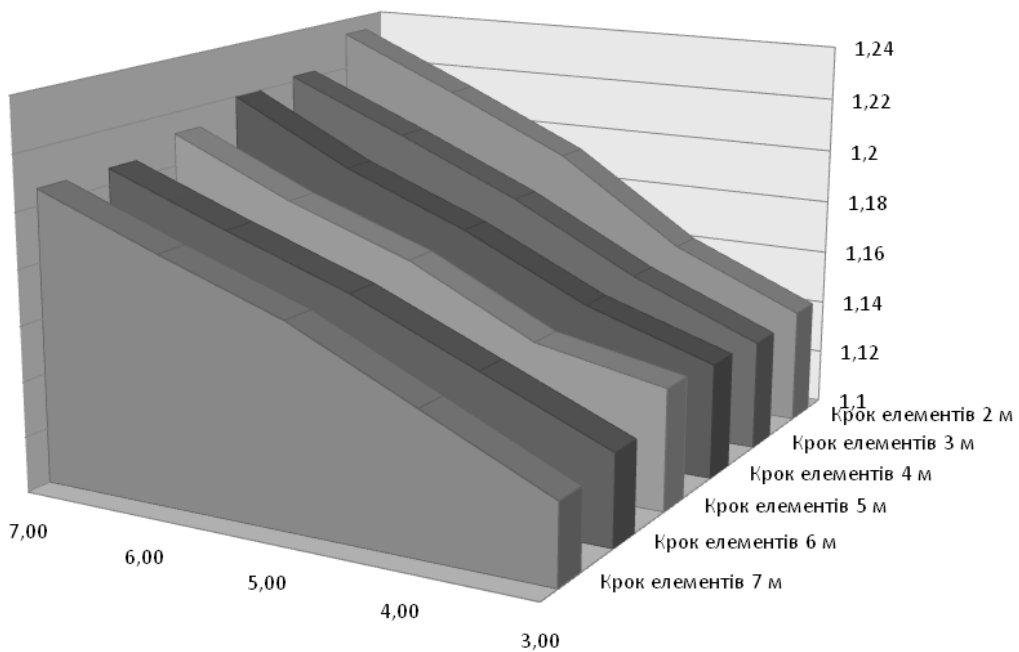


Рис. 3. Графік залежності загальної стійкості схилу складеного глинистими ґрунтами (супісок) від кроку та висоти елементів у його тілі для кута нахилу 30° .

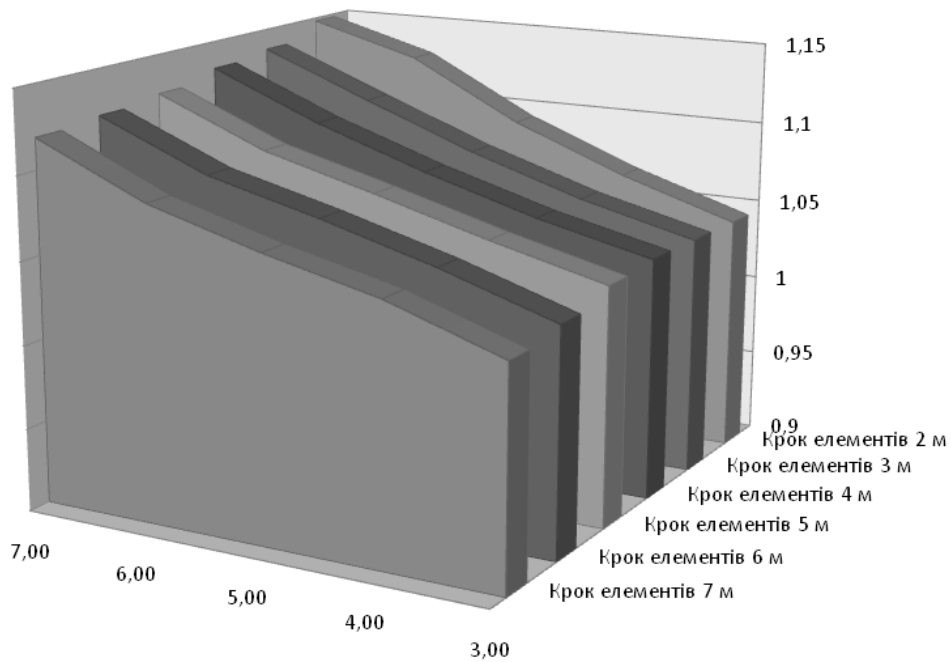


Рис. 4. Графік залежності загальної стійкості схилу складеного глинистими ґрунтами (супісок) від кроку та висоти елементів у його тілі для кута нахилу 35°.

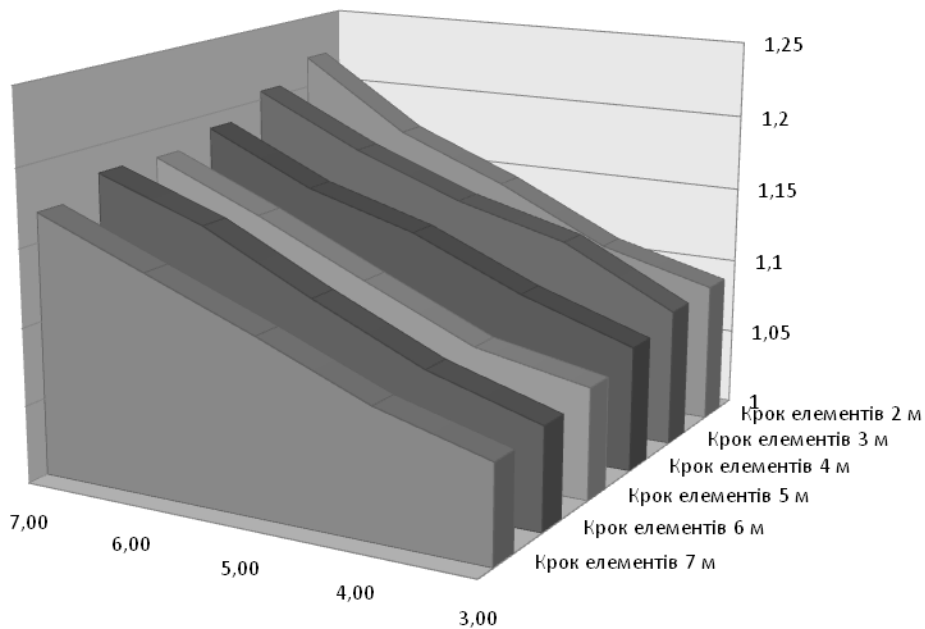


Рис. 5. Графік залежності загальної стійкості схилу складеного глинистими ґрунтами (супісок) від кроку та висоти елементів у його тілі для кута нахилу 40°.

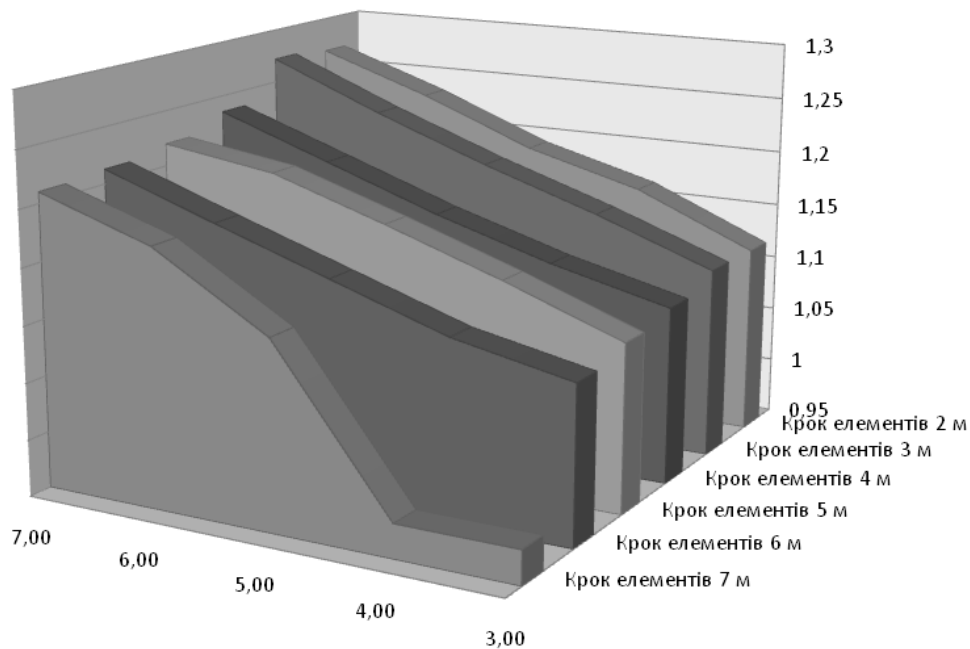


Рис. 6. Графік залежності загальної стійкості схилу складеного глинистими ґрунтами (супісок) від кроку та висоти елементів у його тілі для кута нахилу 45°.

Максимальні значення переміщень ґрунту досягають величин, які є гіпотетичними і в реальних умовах не мають фізичного змісту, але дозволяють отримати уявлення про вплив ґрунтоцементних елементів на процес руйнування. Так, наприклад, деформації для схилу з елементами діаметром 1 м висотою 3 м і кроком 3 м. величина переміщення у разі повної руйнації складає 67 м., а при відсутності таких елементів $44,06 \cdot 10^3$ м. Коефіцієнт загальної стійкості при відсутності елементів складає 1,0, а при їх наявності – 1,6. Загальна кількість елементів розташованих у зсувонебезпечній зоні досягає 7 шт. при висоті схилу 13 м і довжині від підніжжя до верхньої бровки 23 м.

За даними розрахунків встановлено залежності коефіцієнта загальної стійкості від кроку та висоти елементів у його тілі для кожного кута нахилу:

$$\text{для } 30^\circ \quad k_{ст} = 0.02 \cdot h - 0.004 \cdot l + 1.09$$

$$\text{для } 35^\circ \quad k_{ст} = 0.02 \cdot h - 0.004 \cdot l + 0.99$$

$$\text{для } 40^\circ \quad k_{ст} = 0.03 \cdot h - 0.007 \cdot l + 1.02$$

$$\text{для } 45^\circ \quad k_{ст} = 0.04 \cdot h - 0.019 \cdot l + 1.05$$

де h – висота елемента; l – відстань між елементами по падінню схилу.

Висновки. Проведені дослідження дозволили обґрунтувати раціональний спосіб інженерного захисту зсувонебезпечного масиву шляхом влаштування зміцнених зон по площині ковзання та зменшення навантаження на схил. В даному випадку важливим етапом є аналіз зон пластичних деформацій схилу і розташування в них ґрунтоцементних елементів, а саме в місцях максимального зосередження цих зон. Ця інформація надає проектувальнику можливість завчасно передбачити інженерні заходи з метою стабілізації ґрунтового масиву зсувонебезпечного схилу.

Запропонований спосіб підвищення міцнісних характеристик ґрунтів зсувонебезпечної товщі схилу забезпечує можливість науковцям і проектувальникам шукати безпечні варіанти підвищення стійкості схилів за допомогою ґрунтоцементних елементів, а також визначити їх взаємне розташування та їх висоту, яка залежить від відстані між елементами, що впливає на загальну стабілізацію всього зсувонебезпечного схилу.

Список літератури.

1. Оползни. Исследование и укрепление. / ред. Р. Шустера и Р. Кризека. - Пер. с англ. М., 1981. – 368 с.
2. А.Г. Малинин / Применение ґрунтоцементных свай в городском строительстве // Пермские Строительные Ведомости. 2001. № 4.
3. К.В. Леханова, А.Л. Новодзинский / Сравнение численных и аналитических методов расчета устойчивости ґрунтовых откосов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2011. 45-50 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженко А.Ю.
Надійшла до редакції 16.01.15*

УДК 620.197.3:621.771:661.63

© Е.В. Власова, В.Л. Коваленко, В.А. Коток

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДЫ ТРИПОЛИФОСФАТА ЖЕЛЕЗА И СОСТАВА ТРИПОЛИФОСФАТНОГО ПОКРЫТИЯ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРОМЫВКОЙ

На основании ранее проведенных исследований была предложена гипотеза матричного строения триполифосфатных покрытий на стали, при этом матрицеобразователем является феррум(III) типполифосфат, а наполнителем – водорастворимый триполифосфат натрия, как ингибитор коррозии. Высказано предположение, что такая структура может быть обусловлена природой феррум типполифосфата. Проведённые исследования состава феррум(III) триполифосфата и триполифосфатного покрытия на стали гравиметрическим методом с промывкой доказали гипотезу о матричной структуре покрытия.

Базуючись на попередніх дослідженнях була висунута гіпотеза щодо матричної будови триполіфосфатного покриття на сталі, при цьому матрицеутворювачем є феррум(III) триполіфосфат, а наповнювачем – водорозчинний натрій триполіфосфат, як інгібітор корозії. Висловлено припущення, що подібна будова може бути обумовлена природою феррум(III) триполіфосфату. В результаті проведених досліджень складу феррум(III) триполіфосфату та триполіфосфатного покриття на сталі методом гравіметрії із промивання висунута гіпотеза щодо будови покриття була доведена.

Based on previous investigation hypothesis of the matrix structure of tripolyphosphate coating on the steel has been proposed. According to this theory coating consist of Fe(III) tripolyphosphate as a matrix former and Na tripolyphosphate as a filler and corrosion inhibitor. As a result of carrying