

УДК 624.121.537

Є.А. ЗАГОРУЙКО (канд. техн. наук, доц.)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

ВПЛИВ СИСТЕМИ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА РОЗВИТОК ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ У ЗСУВНОМУ МАСИВІ

Виконано аналіз розвитку зони пластичних деформацій при підвищенні стійкості схилів шляхом зміни міцнісних характеристик ґрунтів за допомогою технології струминної цементації. Розроблена скінцево-елементна модель схилу. Встановлена залежність коефіцієнту загальної стійкості схилу від висоти ґрунтоцементних елементів та відстані між ними. Обґрунтований раціональний спосіб інженерного захисту зсувонебезпечного масиву шляхом влаштування зміцнених зон по площині ковзання та зменшення навантаження на схил.

Ключові слова: стійкість, схил, ґрунтоцементний елемент, струминна цементація.

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 направлені 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 є визначення впливу ґрунтоцементних елементів на розвиток пластичних деформацій зсувонебезпечного схилу.

Основна частина.

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 ар-

мування 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.

Розглянемо ефективність запропонованого методу на прикладі комп'ютерної моделі схилу (рис. 1а). Дослідження проведені чисельним методом.

Моделювалась робота багаторядної конструкції, розташованої в зоні пластичних деформацій у зсувному масиві та призначеної для утримання схилу без підризування з боку низового схилу. Розглядалась плоска задача. Елементи модельовано як ґрунтові елементи з покращеними міцнісними параметрами [2], що описувались лінійно-пружною моделлю. Поведінка ґрунту описувалась пружною ідеально-пластичною моделлю Кулона – Мора [3].

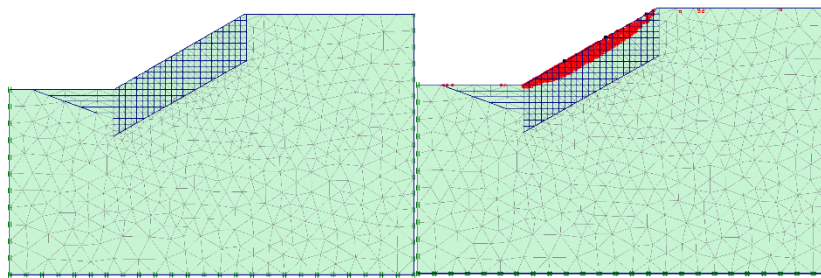


Рис. 1. а) Скінченно-елементна модель ґрунтового масиву;
б) розвиток зони пластичних деформацій у схилі із кутом нахилу 30°

З метою визначення зміни локальних зон пластичних деформацій в ґрунтовому масиві заданих розмірів, обмеженому з однієї сторони природним укосом, виконано чисельне моделювання шляхом зміни положення ґрунтоцементних елементів по зоні пластичних деформацій в масиві.

Дані розв'язку задачі з кутом, який перевищує кут природного укосу, вказують на розвиток локальних зон пластичних деформацій. Ці зони покривають всі елементи вздовж лінії укосу, що свідчить про знаходження ґрунтів у граничному та позаграничному стані (рис. 1б).

Для визначення впливу ґрунтоцементних елементів на зону пластичних деформацій зсувонебезпечного схилу виконувалось їх поетапне впровадження в цю зону починаючи із низової частини.

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.

При розташуванні ґрунтоцементних елементів в зоні пластичних деформацій відбувається еволюція цієї зони. Вплив висоти і положення ґрунтоцементних елементів у схилі на розвиток пластичних деформацій для кута нахилу 30° можна побачити на рис 2-5.

Як видно з рис. 2, із збільшенням висоти ґрунтоцементного елемента до 4 м спостерігається тенденція до зменшення потужності зони пластичних деформацій.

Однак подальше збільшення елемента не призводить до повного зникнення цієї зони.

Також не спостерігається зміна положення небезпечної зони. Це явище свідчить про певну стабілізацію поверхневої частини схилу і в той же час про можливість переповерхання ґрунтових мас через створену перешкоду. Факт зменшення (розвитку) потужності зони пластичних деформацій обумовлений тим, що дотичні напруження в поверхневій частині схилу, за умовою міцності Кулона-Мора, не перевищують граничних. А наявність залишкової зони свідчить про перехід ґрунту в граничний стан від градієнтного збільшення вертикального тиску власної ваги

При зміні положення ґрунтоцементного елемента в межах пластичних деформацій спостерігається утворення розриву цієї зони безпосередньо за елементом, а наявність її перед елементом свідчить про утворення зони випирання ґрунту. Із наведених ілюстрацій (рис.3) видно, що розміри зони випирання ґрунту і зони розриву, або зони яку утримує елемент, залежать від величини самого елемента та його положення в схилі.

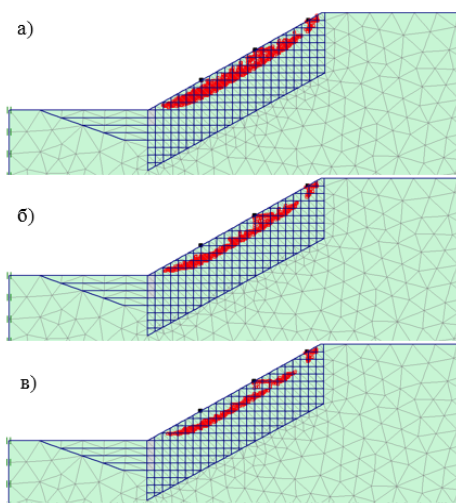


Рис. 2. Розвиток зони пластичних деформацій при розташуванні в низовій частині схилу елемента висотою: а) 2 м.; б) 3 м.; в) 4 м.

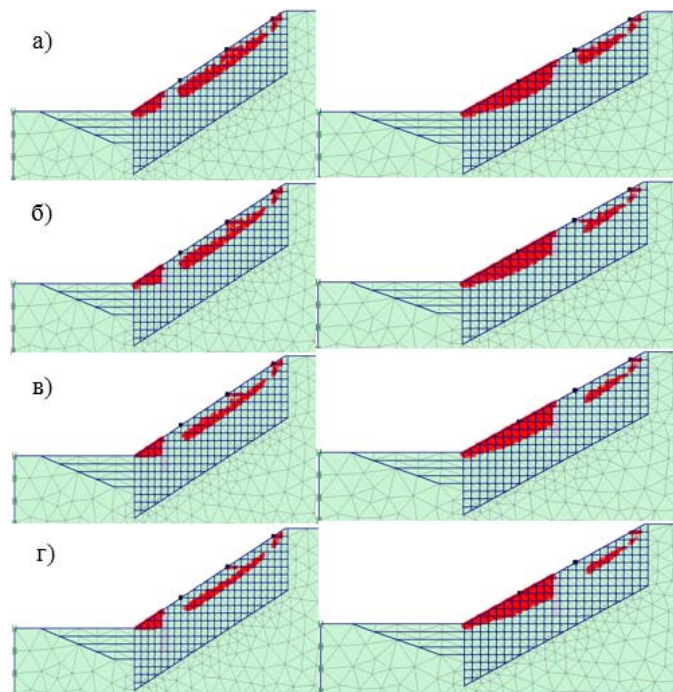


Рис. 3. Розвиток зони пластичних деформацій в залежності від положення елемента висотою: а) 2 м.; б) 3 м.; в) 4 м.; г) 5 м.

На рис. 3а зона випирання ґрунту розвивається у напрямку, подібному до зони пластичних деформацій. Розрив зони деформацій вказує на те, що елемент сприймає зсувне навантаження, але має недостатню висоту для того, щоб утримати його.

Послідовний розв'язок задач з різним положенням ґрунтоцементних елементів дає можливість вибрати раціональний варіант, який не знижує стійкості схилу, а навпаки, забезпечує її.

З метою встановлення впливу кроку між елементами виконано моделювання напружено-деформованого стану зсувонебезпечного масиву із розташованими в ній по зоні пластичних деформацій 2-х ґрунтоцементних елементів. Ця задача пос-

лідовно розв'язувалась в кількох варіантах, в кожному з них змінювалась відстань між елементами та їх висота.

За даними розв'язаних задач був отриманий напружено-деформований стан схилу з урахуванням відстані між елементами. На рис. 4 можна прослідкувати за розвитком локальних зон пластичних деформацій.

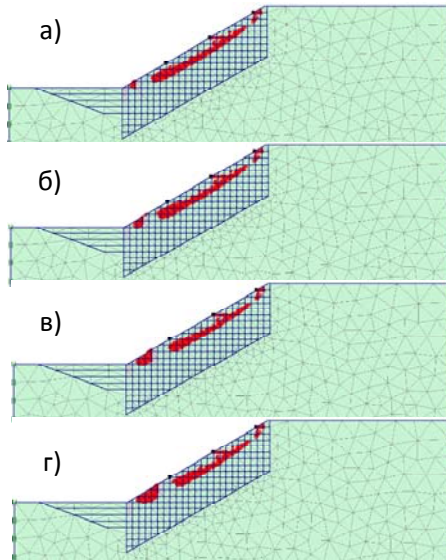


Рис. 4. Розвиток зони пластичних деформацій при розташуванні в низовій частині схилу 2-х елементів висотою 2 м з кроком: а) 1 м.; б) 2 м.; в) 3 м.; г) 4м.

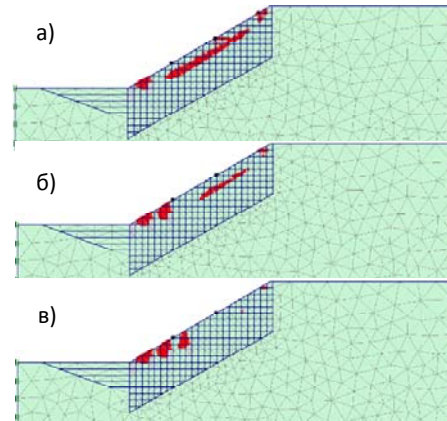


Рис. 5. Розвиток зони пластичних деформацій при розташуванні в її тілі двохметрових елементів з кроком 2 м: а) 2 шт.; б) 3 шт.; в) 4

В результаті виконаних розрахунків визначено, що в ґрунтовому масиві між елементами формується зона пластичних деформацій, яка зменшується або збільшується в залежності від відстані між елементами. Із наближенням елементів один до одного зона відповідно зменшується. Також, в залежності від висоти елемента, змінюється потужність зони що знаходиться вище по схилу (рис. 4).

З метою визначенням мінімальної кількості елементів необхідної для зменшення розмірів зсувонебезпечної зони пластичних деформацій, або взагалі її зникнення, зважаючи на результати дослідження, отримані на попередніх етапах, проведене моделювання впливу елементів виходячи із їх кількості.

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 (рис. 5). Ця інформація надає проектувальнику можливість завчасно передбачити інженерні заходи з метою стабілізації ґрунтового масиву зсувонебезпечного масиву.

Стійкість схилу можна оцінити коефіцієнтом запасу стійкості, який може визначатися як відношення фактичної міцності ґрунту на зрушення до міцності на зрушення в граничному стані [3].

На рис. 6 наведена залежність коефіцієнта запасу стійкості від висоти ґрунтоцементних елементів і відстані між ними.

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 важли-

вим 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.

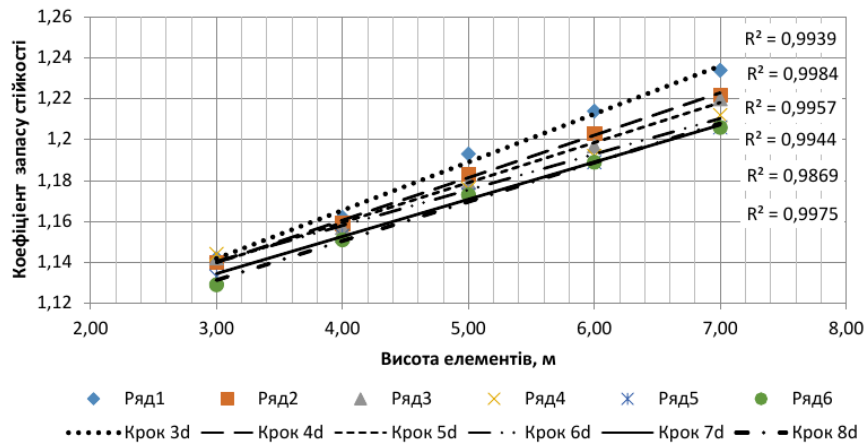


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнта запасу стійкості схилу від кроку та висоти елементів.

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 використаної літератури

1. Оползни. Исследование и укрепление / Р. Шустер, Р. Кризек. – М., 1981. – 368 с.
2. Лычев П.П. Исследование свойств лёссовых грунтов, подвергшихся техногенному воздействию / П.П. Лычев, С.П. Белых, А.Л. Ган, Е.А. Загоруйко // Вестник НТУУ «КПИ». Серия «Горное дело»: Сб. науч. трудов. – 2003. – Вып. 8. – С. 20-28.
3. Леханова К.В. Сравнение численных и аналитических методов расчета устойчивости грунтовых откосов / К.В. Леханова, А.Л. Новодзинский. – Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2011. – С. 45-50.

Надійшла до редакції 20.03.2014

Е.А. Загоруйко

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ГРУНТОЦЕМЕНТНОГО ЭЛЕМЕНТОВ НА РАЗВИТИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ОПЛЗНЕВОМ МАССИВЕ

В статье выполнен анализ развития зоны пластических деформаций при повышении устойчивости склонов путем изменения прочностных характеристик грунтов с помощью технологии струйной цементации. Разработанная конечно-элементная модель склона. Установлена зависимость коэффициента общей устойчивости склона от высоты ґрунтоцементных элементов и расстояния между ними. Обоснован рациональный способ инженерной защиты оползнеопасного массива путем устройства упрочненных зон по плоскости скольжения и уменьшения нагрузки на склон.

Ключевые слова: устойчивость, склон, ґрунтоцементный элемент, струйная цементация.

In articles the analysis of the development zone of plastic deformation with increasing slope stability by changing the strength characteristics of soils using jet grouting technology. The developed finite element model of the slope. The dependence of the coefficient of overall stability of the slope of the height grouting elements and the distance between them. Justified rational way of engineering protection landslide array device by strengthening zones along the slip plane and reduce the load on the slope.

Keywords: stykist, skhil, rruntotsementny yelement, struminna tsementatsiya.