

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»

Костюк-Рой Анастасія Михайлівна

УДК 624.121.537

**Зміна фізико-механічних характеристик ґрунто-цементу
у часі**

Автореферат

магістерської дисертації на здобуття ступеня магістра

Київ 2017

Актуальність теми.

В наш час, у зв'язку з освоєнням зсувонебезпечних територій під будівництво, виникає необхідність збереження їх у стабільному (стійкому) стані протягом тривалого часу. Поширеними методами стабілізації схилів є спорудження протизсувних споруд. Використовується також поліпшення властивостей ґрунтів з метою штучного збільшення їх міцності.

В останні роки отримав розповсюдження метод цементації глинистих ґрунтів шляхом їх армування вертикальними ґрунтоцементними елементами. Такі елементи можна влаштовувати, використовуючи наступні технології: бурозмішувальну, струминну та струминно-змішувальну. Завдяки перемішуванню розпушеного ґрунту з цементним розчином, у ньому з'являються структурні зв'язки, що надають такому ґрунту певної жорсткості. Отже, глинистий ґрунт набуває структурного зчеплення, яке у ґрунтах зсувних та зсувонебезпечних ділянок або досить незначне, або і зовсім відсутнє. Величину структурного зчеплення можна змінювати за рахунок різного процента армування, що залежить від відстані між сусідніми ґрунтоцементними елементами.

Однією з особливостей ґрунтоцементу є те, що він не розмокає у водному середовищі, тобто такі елементи можливо утворювати у водонасиченому ґрунті (нижче від рівня ґрунтових вод). Особливо це стосується зсувних і зсувонебезпечних територій, першопричиною втрати стійкості яких в багатьох випадках є ґрунтові води[3].

Надійність, технологічність, економічність, невеликі енергоємність і матеріаломісткість – це основні показники, які обґрунтовують актуальність досліджень використання ґрунтоцементу для закріплення ґрунтів зсувонебезпечних схилів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є визначення характеристик міцності ґрунтоцементних елементів, утворених за технологією струмінної цементації в часі, до набуття ними міцності та їх вплив

на напружено-деформований стан зсувонебезпечних схилів.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

– визначити фізико-механічні властивості ґрунтоцементу, виготовленого за технологією струмінної цементації, в різні моменти часу до набуття міцності;

– виконати дослідження напружено-деформованого стану зсувонебезпечного схилу із розташованою у ньому системою ґрунтоцементних елементів в різні моменти часу, до набуття ними міцності, за допомогою методу скінчених елементів;

Об'єкт дослідження. Зсувні процеси в нестійких масивах, що закріплені ґрунтоцементними елементами в різні моменти часу, до набуття ними міцності.

Предмет дослідження. Напружено-деформований стан зсувонебезпечних масивів закріплених системою ґрунтоцементних елементів у часі, до набуття ними міцності.

Методи дослідження. Експериментальний метод визначення характеристик міцності ґрунтоцементу, виготовленого в лабораторних умовах, за допомогою лабораторних приладів. Теоретичний метод – чисельне моделювання й оцінювання стійкості схилів, що закріплені ґрунтоцементними елементами у різні моменти часу, з використанням методу скінчених елементів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

1. Уперше виконано дослідження напружено-деформованого стану зсувонебезпечного схилу із розташованою у ньому системою ґрунтоцементних елементів в різні моменти часу, до набуття ними міцності;

2. Уперше встановлено вплив системи ґрунтоцементних елементів в різні моменти часу, до набуття ними міцності на напружено-деформований стан

зсувонебезпечного схилу.

Практичне значення роботи полягає у тому, що:

– встановлено момент часу при якому міцнісні характеристики ґрунтоцементу не мають негативного впливу на стійкість зсувонебезпечного схилу;

- встановлено вплив системи ґрунтоцементних елементів в різні моменти часу, до набуття ними міцності на напружено-деформований стан зсувонебезпечного схилу;

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, опису використаних джерел з 46 найменувань, містить 54 рисунки і 8 таблиць, 2 додатки. Загальний об'єм роботи складає 99 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми магістерської роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, основні наукові і практичні положення, які виносяться на захист і спрямовання на дослідження впливу зміни фізико-механічних властивостей ґрунто-цементу на стійкість зсувонебезпечного схилу.

У першому розділі розглянуто оцінку напружено-деформованого стану зсувонебезпечних схилів, основні чинники, що призводять до зсувів, методи підвищення стійкості схилів.

Розвиток зсувних процесів залежить від багатьох факторів: експозиції, рельєфу й крутості схилу, кута і висоти укусу, фізико-механічних властивостей ґрунтів та їхньої зміни в масиві по довжині та з глибиною, здатності ґрунтів до процесів набухання-усадки, параметрів зовнішнього навантаження, величини заглиблення фундаментів споруд, що будуються на

схилах і т.д. Значний вплив на формування та активізацію зсувів мають поверхневі і підземні води, господарська діяльність людини, процеси вивітрювання, ерозії, абразії. Часто зсув ґрунтів відбувається по поверхні, що сформована геологічною будовою схилу (природні зсувні ніші відриву). Приводом до виникнення нового і активізації тимчасово стабілізованого зсуву можуть бути сильні зливові дощі, сейсмічний вплив, підсікання схилу виїмками або його додаткове навантаження (наприклад верхньої частини схилу в процесі проведення земляних робіт на полику).

Техногенний вплив взагалі приводить до великомасштабних змін у природному середовищі, активізує розвиток не тільки зсувних, але і ряд інших небезпечних процесів, слугує причиною появи нових «техногенно-природних» процесів та явищ (наведена сейсмічність, підтоплення, карстово-суфозійні провали).

З метою визначення напружено-деформованого стану зсувонебезпечних схилів та розробки ефективних протизсувних заходів на практиці використовують у більшості випадків інженерні методи. Застосування емпіричних формул для розрахунку стійкості схилів набуло широкого розповсюдження. В цьому випадку визначається стан, в якому знаходиться схил: стійкий (дограничний), граничний чи нестійкий (позаграничний).

Пріоритетною задачею інженерного захисту зсувонебезпечних територій є забезпечення необхідного значення коефіцієнта стійкості ґрунтової основи схилу. Це означає, що комплекс протизсувних заходів повинен, з одного боку, зберегти або підвищити до необхідного рівня ступінь стійкості схилу з урахуванням передбачуваних змін в умовах його експлуатації і, з другого боку, привести до припинення активних переміщень, стабілізації мас ґрунту і підвищення їх стійкості до необхідних меж. *Перерозподіл ґрунтових мас на схилі.*

Регулювання поверхневого стоку.

Дренаж ґрунтових вод.

Інженерні заходи.

Характеристики міцності ґрунтів є визначальними в багатьох розрахунках, особливо при оцінюванні стійкості зсувних і зсувонебезпечних територій та схилів.

Плоскі деформації протікають інтенсивно і пов'язані з вертикальними і горизонтальними переміщеннями ґрунту. Для запобігання виникненню плоских деформацій в вітчизняній та закордонній будівельній механіці відомий ряд способів та методів ущільнення ґрунтів. Це закріплення та спеціальні способи ущільнення ґрунтів, хімічні та електрохімічні способи, електросилікатизація ґрунтів, заснована на введенні в ґрунт під тиском розчину рідкого скла при дії на нього постійного струму, спосіб цементизації ґрунтів з допомогою глиноземного цементу, який має властивості затвердівати через декілька годин, що дає в нормальних умовах змішувати ґрунти з цементом, перемішувати в зволоженому стані та ущільнювати.

Порядок закріплення масиву ґрунтів встановлюється проектом, але під фундаментами будівель і споруд нагнітання розчину краще виконувати від зовнішнього ряду ін'єкторів до внутрішнього. Ін'єктор після нагнітання цементно-силікатного розчину необхідно ретельно промити водою. Для встановлення граничного тиску нагнітання проводять пробні закачки в ґрунт. В подальшому, нагнітання виконують при тисках, менших граничного, для запобігання розривів ґрунту, що закріплюється та прориву цементносилікатного розчину на поверхню.

Однією із сучасних технологій яка набуває широкого застосування в області геотехніки в останні роки є так звана технологія струминної цементизації, за кордоном відома як «Jet grouting method». Сутність технології полягає у використанні енергії високонапірного струменя цементного розчину для руйнування й одночасного перемішування ґрунту із цементним розчином

у режимі «mix-in-place» (перемішування на місці). Після твердіння розчину утворюється новий матеріал – ґрунтобетон, що володіє високими міцнісними й деформаційними характеристиками .

Порядок провадження робіт по струминній цементації ґрунтів:

- Буріння лінійної свердловини діаметром 112-132 мм до проектної відмітки (прямий хід).
- Підйом бурової колони з обертанням і одночасною подачею струменя цементного розчину під тиском до 500 атм. (зворотний хід).
- Занурення в тіло незатверділої ґрунтобетонної колони армувального елемента.
- Після твердіння ґрунтоцементної суміші в ґрунті утворюється новий матеріал – ґрунтобетон. Залежно від типу ґрунту й витрати цементу на 1 м³ ґрунту, що зміцнюється, міцність на стиск ґрунтобетону може змінюватися в широкому діапазоні.

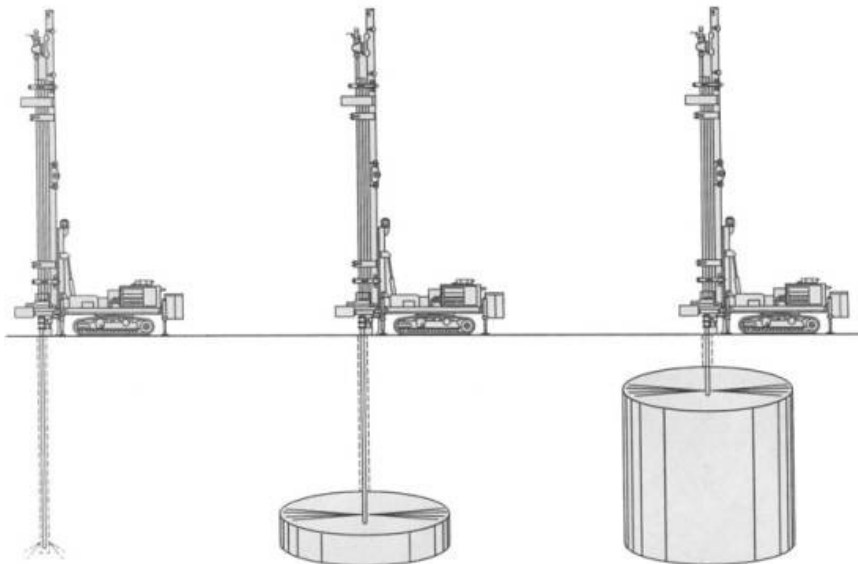


Рис. 1. Схема формування ґрунтоцементного елемента.

Застосування технології струминної цементації для підвищення стійкості схилів шляхом зміни міцнісних характеристик ґрунтів, зокрема лесових, які знаходяться у зсувонебезпечній товщі, має ряд переваг, а саме:

- висока швидкість робіт за рахунок малого діаметра буріння шпар; – виконання робіт у стиснутих умовах (висота від 2 м, ширина від 1,5 м);

- відсутність динамічних впливів, що дуже важливо при роботах на зсувонебезпечних ділянках; – можливість контролювати і задавати параметри ґрунтобетонного елемента і закріпленого ґрунту; Стійкість схилів забезпечується шляхом підвищення міцнісних характеристик ґрунтів за рахунок створення зміцнених зон по всій товщі поверхні ковзання або зоні пластичних деформацій в шаховому порядку, як по простяганню схилу, так і по його падінню, перешкоджаючи таким чином утворенню поверхні ковзання, що в свою чергу підвищує стійкість схилу.

За рахунок зміцнення структурного зчеплення ґрунтобетону в ґрунтоцементних вертикальних елементах, якими закріплюються зсувонебезпечні схили, збільшується опір зрушенню масиву ґрунту в схилі. Закріплення ґрунтів схилу виконують в межах найбільш вірогідної площини ковзання або зоні пластичних деформацій шляхом армування ґрунтоцементними елементами. Ґрунтоцементні елементи виконують не на всю глибину товщі зсувонебезпечного схилу, а лише в межах зсувонебезпечної товщі, потужність якої визначається шляхом виконання розрахунків стійкості схилів за існуючими методиками і застосуванням сучасних програмних комплексів, розрахунок стійкості в яких здійснюється з урахуванням пружно-пластичних властивостей ґрунтів.

У другому розділі описується відбір зразків зрунту для лабораторних випробувань та проведення цих випробувань згідно з нормативними документами.

Відбір зразків ґрунту порушеного або ненарушеного складання (монолітів) слід здійснювати в залежності від властивостей ґрунту і цільового призначення інженерно-геологічних робіт.

Розміри зразків і їх число повинні бути достатніми для виконання необхідного комплексу лабораторних робіт по визначенню складу, стану й властивостей ґрунту і відповідати вимогам відповідних стандартів на методи визначення характеристик ґрунтів.

Всередину тари разом із зразком ґрунту порушеного складу укладають етикетку, загорнену в кальку, покриту шаром парафіну з гудроном. Другий примірник етикетки прикріплюють на бічну поверхню жорсткої тари.

На етикетці має бути вказано:

- найменування організації, яка проводить дослідження;
- найменування об'єкта (ділянки);
- найменування виробки і її номер;
- глибину відбору зразка;
- короткий опис ґрунту (візуальний);
- посаду і прізвище особи, яка проводить відбір зразків, і його підпис;
- дату відбору зразка.

Вологість ґрунту визначають як відношення маси води, вилученої із ґрунту висушуванням до постійної маси, до маси висушеного ґрунту.

Зразок ґрунту в закритому стаканчику зважують. Стаканчик відкривають і разом із кришкою поміщають у нагріту сушильну шафу. Ґрунт висушують до постійної маси за температури $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Після кожного висушування ґрунт у стаканчику охолоджують в ексікаторі із хлористим кальцієм до температури приміщення та зважують. Висушування виконують до одержання різниці мас ґрунту зі стаканчиком при двох наступних зважуваннях не більше ніж 0,02 г. Якщо при повторному

зважуванні ґрунту, що містить органічні речовини, спостерігається збільшення маси, то за результат зважування приймають найменшу масу.

Метод одноплощинного зрізу. Випробування ґрунту методом одноплощинного зрізу проводять для визначення таких характеристик міцності:

- опору ґрунту зрізу τ ;
- кута внутрішнього тертя φ ;
- питомого зчеплення c для пісків (крім гравелистих та крупних), глинистих та органо-мінеральних ґрунтів.

Ці характеристики визначають за результатами випробувань зразків ґрунту в одноплощинних зрізних приладах з фіксованою площиною зрізу шляхом зсування однієї частини зразка відносно другої його частини дотичним навантаженням при одночасному навантажуванні зразка навантаженням, нормальним до площини зрізу.

Опір ґрунту зрізу визначають як граничну середню дотичну напругу, при якій зразок ґрунту зрізається по фіксованій площині при заданій нормальній нарузі. Для визначення c і φ необхідно провести не менше трьох випробувань при різних значеннях нормальної напруги.

Випробування проводять за такими схемами:

- консолідовано-дреноване випробування - для пісків та глинистих ґрунтів незалежно від їх ступеня вологості в стабілізованому стані;
- неконсолідовано-недреноване випробування - для водонасичених глинистих і органо-мінеральних ґрунтів у не-стабілізованому стані та просадних ґрунтів, що приведені у водонасичений стан замочуванням без прикладання навантаження.

Проведення неконсолідовано-недренованого випробування. Робоче кільце із зразком ґрунту поміщають у зрізну коробку і закріплюють у ній. Далі встановлюють суцільний штамп, проводять регулювання механізму навантажування, встановлюють зазор 0,5-1 мм між рухомою та нерухомою частинами зрізної коробки, встановлюють прилади для вимірювання деформації зрізу і записують початкові показання.

На зразок ґрунту передають зразу в один ступінь нормальний тиск p , при якому буде виконуватися зріз зразка. Значення p приймають за таблицею.

Якщо при тисках 0,125 і 0,15 МПа відбувається видавлювання ґрунту в зазор між рухомою і нерухомою частинами зрізної коробки, необхідно їх зменшити на 0,025 МПа.

Таблиця 1.

Ґрунти	Нормальні тиски p , МПа
Ґлинисті і органо-мінеральні ґрунти з показником текучості: $i_L < 0,5$	0,1; 0,15; 0,20
$0,5 \leq i_L < 1,0$	0,05; 0,1; 0,15
$i_L \geq 1,0$	0,025; 0,075; 0,125

Зразу після передачі нормального навантаження приводять в дію механізм для створення дотичного навантаження та проводять зріз зразка ґрунту не більше ніж за 2 хв з моменту прикладання нормального навантаження.

При передаванні дотичного навантаження ступенями їх значення не повинні перевищувати 10% значення нормального тиску, при якому робиться зріз, і прикладання ступенів повинно йти через кожні 10-15с.

При передаванні постійно зростаючого дотичного навантаження швидкість зрізу приймають в інтервалі 2-3 мм/хв так, щоб зріз проходив протягом вказаного часу.

У третьому розділі наведені результати лабораторних випробувань ґрунту та побудовані графіки залежностей.

Ґрунто-цементна суміш готувалася вручну за допомогою шпателя. Ґрунто-цементне співвідношення 1:0,6. Водо-цементне співвідношення 1:1. Випробування на одноплощинний зріз виконувалися за неконсолідовано-недренованою схемою. Журнал дослідження наведено у додатку А. За результатами випробування побудовано діаграми зрізу.

Зразки, що набували міцності 2 доби, та більше прийнято вважати такими, що набули міцності, оскільки їх не бдалося зруйнувати приладом для одноплощинного зрізу.

Фізико-механічні властивості ґрунтоцементу після набрання проектної міцності наведено в таблиці 3.3[18-22].

Таблиця 2.

Фізико-механічні характеристики ґрунто-бетонних елементів

Параметри елементу	Позначення	Розмірність	Значення
Модуль загальних деформацій	E	Мпа	5
Коефіцієнт Пуассона	N	-	0,25
Щільність	P	кН/м ³	20
Крок елементів по зоні пластичних деформацій	L	Мм	4D-7D
Діаметр елементів	D	Мм	1000

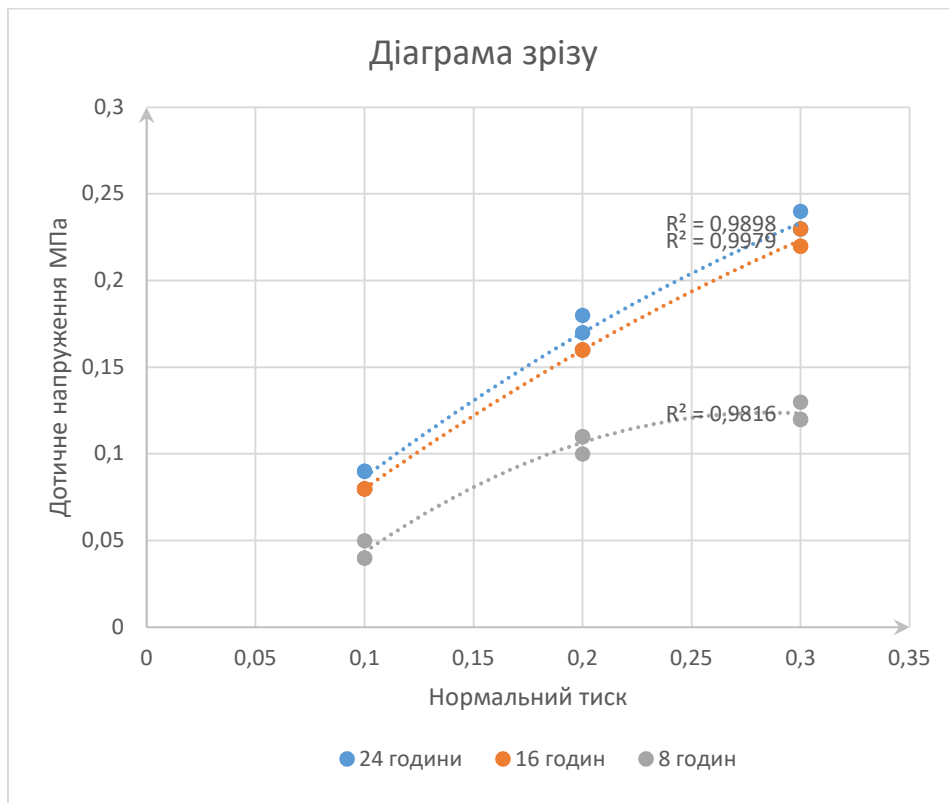


Рис.2. Діаграма зрізу зразків, що набирали міцність 24 годин.

Було знайдено φ та c для ґрунто-цементної суміші для кожного моменту часу: 8 годин, 16 годин, 24 години після влаштування ґрунтоцементного елемента.

Таблиця 3

Значення кута внутрішнього тертя φ та питомого зчеплення c для ґрунто-цементної суміші у кожен момент часу.

Час, протягом якого зразок набрав міцність, годин	Тангенс кута внутрішнього тертя φ	Кут внутрішнього тертя φ , градуси	Питоме зчеплення c , Мпа
8	0,400	21,812	0,011
16	0,717	35,646	0,011
24	0,746	36,755	0,013

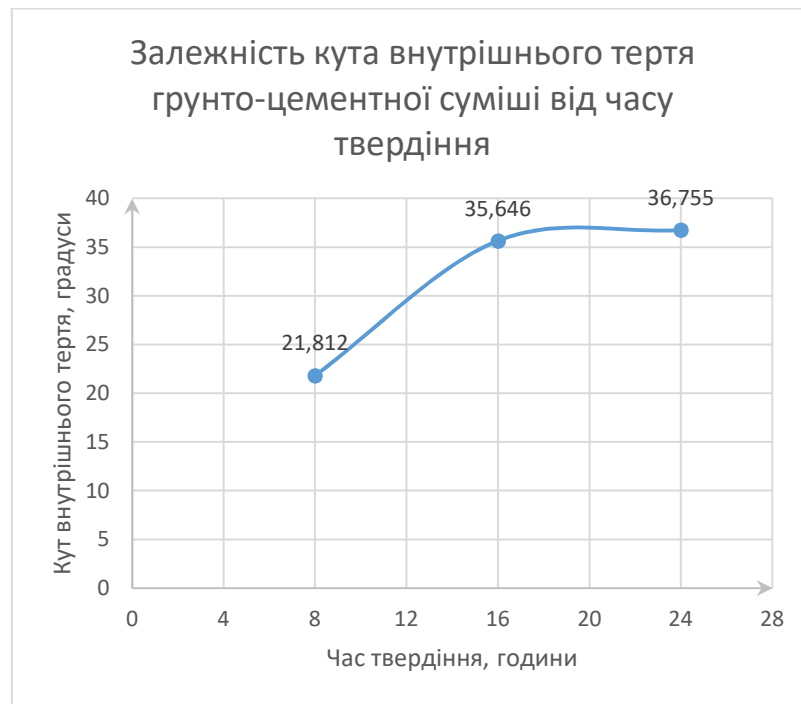


Рис.3. Діаграма залежності кута внутрішнього тертя грунто-цементної суміші від часу твердіння.

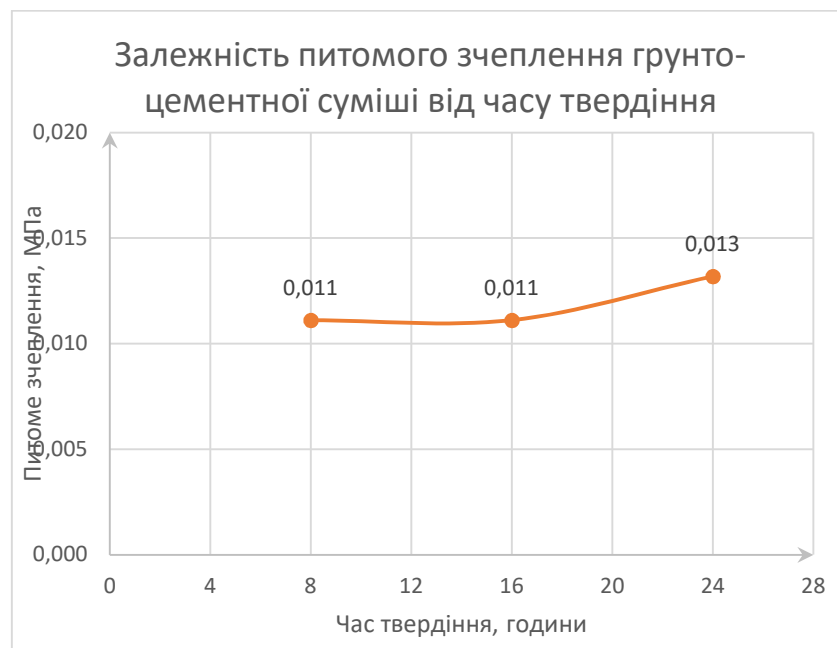


Рис.4. Діаграма залежності кута внутрішнього тертя грунто-цементної суміші від часу твердіння.

Із наведених діаграм видно, що залежність характеристик міцності грунто-цементної суміші, а саме кута внутрішнього тертя, та питомого зчеплення, від

часу у першу добу має не лінійний характер. При чому момент часу у який певна характеристика міцності грунто-цементу стає рівною відповідній характеристиці вихідного ґрунту є різним : для кута внутрішнього тертя цей момент настає через 8 годин після початку твердіння, а для питомого зчеплення – через 24 години.

Таким чином грунто-цементну суміш протягом першої доби після улаштування грунто-цементного елемента можна розглядати як ґрунт з ориманими, для відповідного моменту часу, значеннями φ та c . Через 24 години після влаштування грунтоцементного елемента міцнісні характеристики грунто-цементу стають не гіршими за міцнісні характеристики ґрунту, з якого складений зсувонебезпечний масив. Протягом перших 8 годин міцнісні характеристики грунто-цементу менші за аналогічні характеристики ґрунту, з якого складений зсувонебезпечний масив.

У четвертому розділі проведено математичне моделювання поведінки зсувонебезпечного масиву з урахуванням зміни фізико-механічних характеристик грунто-цементної суміші.

В якості розрахункової моделі обрано схил із кутом нахилу 45^0 висотою 10 метрів утворений вихідним ґрунтом. Протизсувна споруда складається із 2х рядів круглих паль діаметром 1000мм розташованих у шаховому порядку, відстань між рядами паль складає 4м (у проекції на горизонтальну площину), крок між палями у ряду складає 5-6м, довжина палі 4-6 м.

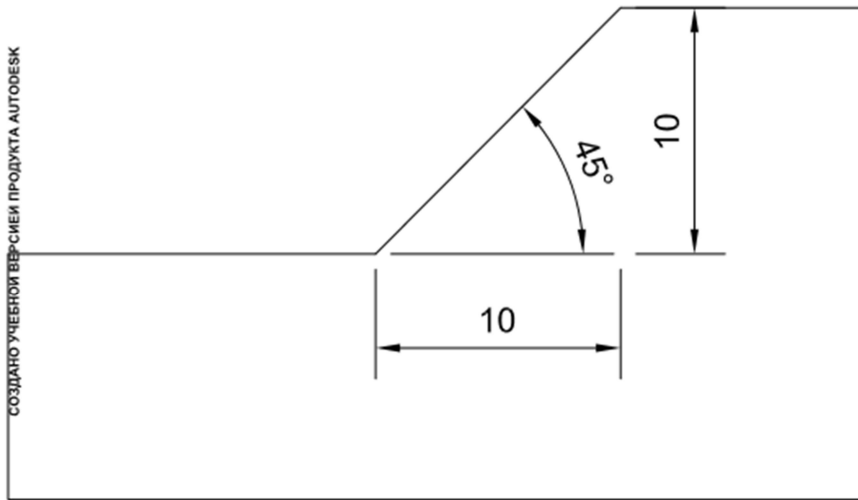


Рис. 5 Розрахункова модель схилу.

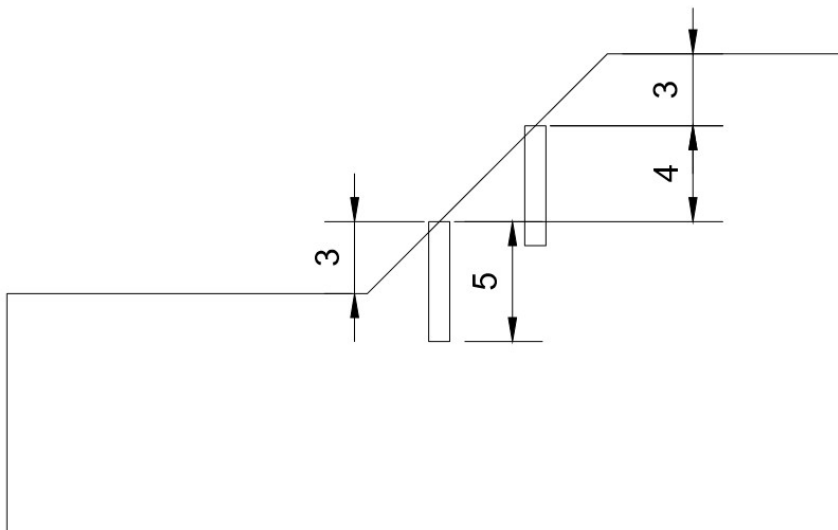


Рис. 5 Розміщення ґрунто-цементних елементів, вид зправа.

Через особливості програмного продукту PLAXIS, задати у розрахунковій моделі круглі палі неможливо, тому вони були замінені на квадратні палі такої ж площі перерізу. Ребро перерізу такої квадратної палі складає 0,88м. Було проведено декілька моделювання декількох протизсувних споруд із різним кроком між палями та різною довжиною палей. За критерій задовільності протизсувної споруди прийнято, що коефіцієнт стійкості $K_{ст}$ повинен бути не менш ніж 1,25.

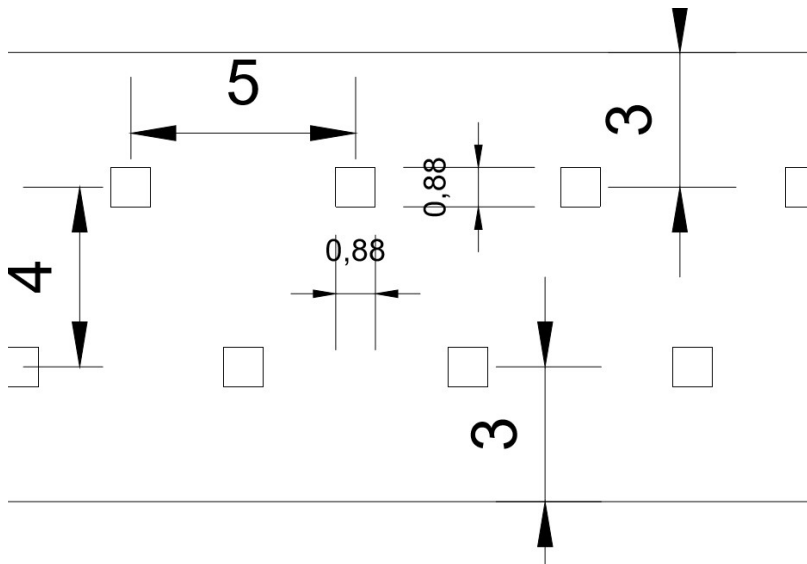


Рис. 6 Розрашункова схема, розташування ґрунтоцементних елементів, вид зверху.

Для оцінки стійкості схилу проводилося моделювання зведення проти зсувної сторуди у 3 фази. У першій фазі визначалася стійкість схилу до початку будівництва протизсувної споруди. Під час створення математичної моделі виконується генерація сітки скінчених елементів. Аби не перевантажувати виробничі потужності комп'ютера доцільно задати велику крупність сітки, але у зонах де очікуються найбільші напруження та деформації доцільно звиконати локальне подрібнення сітки для отримання більш точних результатів розрахунку. Вплив ґрунтових вод у данній моделі до уваги не приймається, тому рівень ґрунтових вод завдається на 10м нижче підосви схилу.

У другій моделювалася найбільш несприятлива ситуація під час будівництва, коли усі ґрунто-цементні елементи улаштовані, але жодна з них не набрала міцності. У цій фазі очікувалося зниження коефіцієнта стійкості.

У третій фазі моделювалася вже побудована протизсувна споруда, всі палі якої набрали проектну міцність. Кластерам що відповідають палям присваюється матеріал ґрунтобетон, кластери задаються сухими. В цій фазі очікувалося підвищення коефіцієнта стійкості відносно першої фази.

Усього було проведено 5 аналогічних розрахунків, результати яких занесені до таблиці 4.1. За результатами розрахунків, до подальшого моделювання було прийнято розрахункову модель із кроком між елементами 2,5м та довжиною елемента 5м, оскільки саме цей варіант має найбільшу відносну зміну коефіцієнта стійкості.

Таблиця 4

Коефіцієнти стійкості різних рохрахункових схем у різних фазах

Крок між елементами у ряду, м	Довжина елементів, м	Коефіцієнт стійкості			Зменшення коефіцієнту стійкості у другій фазі відносно першої, %	Збільшення коефіцієнту стійкості у третій фазі відносно першої, %
		1ша фаза	2га фаза	3тя фаза		
6	4	1,1685	1,1325	1,2169	3,08	4,14
	5	1,1675	1,1084	1,2616	5,06	8,06
5	4	1,1627	1,1334	1,2584	2,52	8,23
	5	1,16	1,081	1,2933	6,81	11,49
	6	1,1445	1,1206	1,2955	2,09	13,19

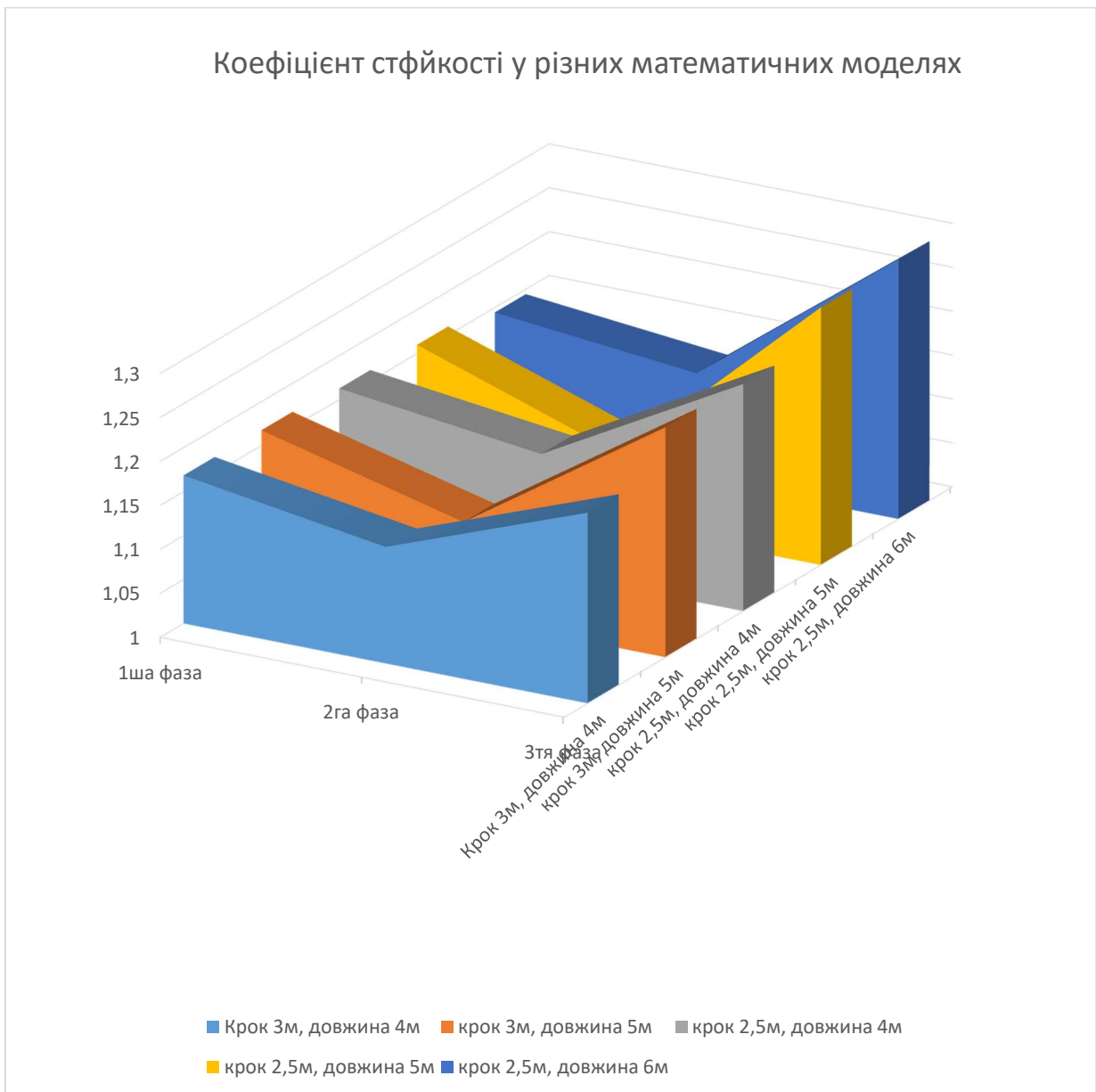


Рис.7. Графік зміни коефіцієнтів стійкості для різних розрахункових схем по фазам.

Для обраної розрахункової схеми було проведено більш детальне моделювання у врахуванням часового інтервалу між улаштуванням ґрунто-цементних елементів. Улаштування 2х рядів нпункто-цементних елементів проводилося з інтервалом у 8 годин, спочаку виконувались ґрунто-цементні елементи нижнього ряду. Для кожного моменту часу визначався коефіцієнт стійкості. Залежність коефіцієнту вфд часу зображено на рис. 4. 25.

Таким чином, зниження коефіцієнту стійкоти зменшилося до 2%.

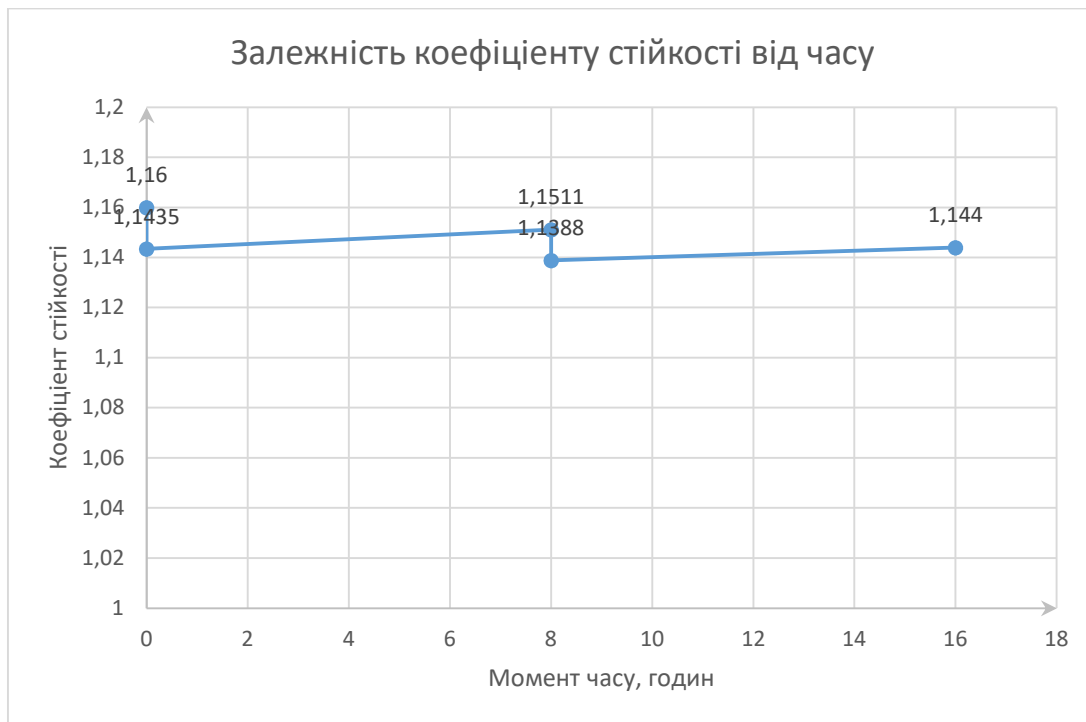


Рис. 8 Залежність коефіцієнту стійкості від часу.

Висновки до роботи.

- Зсувні процеси є одним із небезпечних явищ, які поширені майже на всій території України, і залежать від групи факторів, що зумовлюють стійкість ґрунтового масиву, а тому потребують детального дослідження умов активізації руху ґрунтових мас, а також завчасного раціонального інженерного захисту зсувонебезпечних ділянок.
- Аналіз існуючих методів оцінки стійкості схилів показує, що традиційні інженерні розрахунки не враховують етапів будівництва та технологію проведення робіт, зміну параметрів ґрунтів з часом, які впливають на стійкість схилів, і не дають можливості прослідкувати процес деформування основи на протязі терміну будівництва.
- Підвищення стійкості схилів можливо розділити на чотири основних варіанти: 1) Перерозподіл ґрунтових мас на схилі; 2) Регулювання поверхневого стоку; 3) Дренаж ґрунтових вод; 4) Інженерні заходи спрямовані на підвищення сил опору зрушуючих навантажень шляхом влаштування споруд різних типів.

- Найбільш часто зустрічається зміщення шарів глинистих ґрунтів при зміні їх вологості. Під дією навантаження це призводить до виникнення плоских деформацій.
- Для усунення деформаційних властивостей глинистих ґрунтів можна використовувати різні методи хімічного закріплення: термічне закріплення, глинізацію, силікатизацію, смолізацію, застосування цементно-силікатних та інших розчинів.
- В процесі аналізу технічної літератури знайдено, що одним із перспективних методів закріплення лесових ґрунтів, які зазнали технічного впливу, є технологія високонапірного ін'єктування цементно-силікатних розчинів «Jet-grouting» та створення структурно-армованих масивів ґрунту або “геокомпозиту”
- Нормативні документи, які передбачають порядок проведення лабораторних випробувань ґрунту, дозволяють провести випробування ґрунто-цементної суміші, до набрання нею міцності, тими самими методами що й ґрунт. Така особливість ґрунто-цементної суміші як швидка зміна властивостей у часі при цьому буде врахована.
- Встановлено момент часу, коли фізико механічні характеристики ґрунто-цементної суміші відповідають характеристикам ґрунтового масиву. Для кута внутрішнього тертя це 8 годин після улаштування елемента, для питомого зчеплення – 24 години.
- Отримано графіки залежностей фізико-механічних характеристик ґрунто-цементу від часу.
- Математичне моделювання підтвердило, що після улаштування ґрунто-цементних елементів до набрання ними міцності відбувається зниження коефіцієнту стійкості схилу.
- Значення цього зниження залежить від довжини елементів та відстані між ними та може змінюватись від 2% до 7%

- Більш детальне моделювання показало, що дотримуючись 8ми годинного часового інтервалу між улаштуванням рядів паль модно зменшити зниження коефіцієнту стійкості з 7% до 2%.

АНОТАЦІЯ

Костюк-Рой А.М. Зміна фізико-механічних характеристик ґрунто-цементу у часі. – Рукопис.

Магістерська дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій на основі вперше встановлених закономірностей підвищення стійкості зсувонебезпечного схилу способом струминної цементації «Jet-grouting» досліджено питання тимчасового зменшення стійкості схилу після улаштування ґрунто-цементного елемента до набуття ним міцності, проведено математичне моделювання із врахуванням зміни фізико-механічних властивостей ґрунто-цементної суміші.

Аналіз існуючих методів оцінки стійкості схилів показує, що традиційні інженерні розрахунки не враховують етапів будівництва та технологію проведення робіт, зміну параметрів ґрунто-цементу з часом, які суттєво впливають на стійкість схилів, і не дають можливості прослідкувати процес деформування під час спорудження протизсувної споруди.

Розглянувши безліч методів вибираємо метод скінчених елементів, який має ряд переваг порівнянню з іншими. Даний метод універсальний, алгоритмічний, дозволяє описувати будь-які локальні неоднорідності, в тому числі складні граничні умови, неоднорідність механічних властивостей досліджуваної області ґрунту, еволюцію напружено-деформованого стану зсувонебезпечного масиву в процесі навантаження.

Отримані результати проведеного дослідження підтверджують можливість використання ґрунтоцементних елементів, однак виникає

тимчасове зниження стійкості схилу вимагає дотримання часового інтервалу між улаштуванням рядів паль.

Ключові слова: зсув, стійкість схилів, зона пластичних деформації, струминна цементация, коефіцієнт запасу стійкості, ґрунто-цементна суміш.

ABSTRACT

Kostyuk-Roy A.M. Changes in physical-mechanical characteristics of soil-cement in time. - Manuscript

The master's dissertation is the completed research work, in which on the basis of the first established regularities of increasing the stability of the sloping slope by the method of jet cementation "Jet-grouting", the issue of the temporary reduction of the slope stability after the arrangement of the soil-cement element before the acquisition of strength was investigated, the mathematical modeling taking into account Changes in the physical and mechanical properties of the soil-cement mixture.

The analysis of existing methods for assessing the stability of the slopes shows that traditional engineering calculations do not take into account the construction stages and technology of work, the change of parameters of soil cement over time, which significantly affect the stability of the slopes, and do not allow to follow the deformation process during the construction of a sloping structure.

Considering many methods, we choose the method of finite elements, which has several advantages compared with others. This method is universal, algorithmic, allows us to describe any local inhomogeneities, including complicated boundary conditions, heterogeneity of mechanical properties of the studied area of soil, the evolution of the stress-strain state of the shifting array during loading.

The obtained results of the conducted research confirm the possibility of using the soil cement elements, but the emerging temporary decrease of the slope stability requires observing the time interval between the arrangement of piles.

Keywords: offset, stability of slopes, zone of plastic deformation, jet cementation, coefficient of stability of storage, soil-cement mixture.