

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КІРІЯК КОСТЯНТИН КОСТЯНТИНОВИЧ



УДК 624.121.537

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІН'ЄКЦІЙНОГО
ЗАКРІПЛЕННЯ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГРУНТОВИХ СТРУКТУР

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельних геотехнологій Донбаського державного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Алчевськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ДОЛЖИКОВ Петро Миколайович,
завідувач кафедри будівельних конструкцій Донбаського державного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Алчевськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
САДОВЕНКО Іван Олександрович,
професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ).

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
СЛАЦОВА Олена Анатоліївна,
старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова Національної академії наук України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться «29» березня 2013 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «28» лютого 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Велика частина території України зазнає дії екзогенних геологічних процесів, що зумовлено її геологічною будовою та геоморфологічними умовами. Широке розповсюдження серед зазначених небезпечних геологічних процесів мають зсувні процеси, розвиток і поширення цих явищ обумовлено впливом ендегенних, екзогенних та техногенних чинників, особливо у Криму.

На всій території України виконуються комплексні заходи інженерного захисту щодо запобігання та попередження активізації схилових гравітаційних процесів природного та техногенного характеру.

Сьогодні всі види споруд інженерного захисту ґрунтуються на механічній стабілізації гравітаційних процесів за рахунок жорсткості основних несучих елементів.

Однак, наразі існуючі фізико-хімічні способи закріплення ґрунтів дозволяють збільшити їх міцність і стійкість. Наприклад, застосування напірної цементації ґрунтів для стабілізації зсувів дозволить збільшити фізико-механічні характеристики зони ковзання і стабілізувати зсувні ґрунти.

Завдання зміни фізико-механічних характеристик зони ковзання зсуву може бути вирішено на основі розвитку та застосування методу напірної цементації ґрунтів спільно з методикою розрахунку стійкості зсувів, що потребує детального вивчення впливу ін'єкції на зміну деформаційних параметрів ґрунту.

Тому обґрунтування технологічних параметрів способу ін'єкційного закріплення зсувонебезпечних ґрунтових структур є актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконана відповідно до Державної бюджетної програми за прикладним дослідженням і розробкам у вищих навчальних закладах в рамках науково-дослідної теми № 194Д «Розробка способів стабілізації аварійно-небезпечних ділянок ґрунтової товщі при будівництві і експлуатації промислових та гідротехнічних об'єктів» (№ ДР 0111U001744) та госпдоговірної теми № 2915 «Дослідження процесу стабілізації зсувів методом напірної цементації в умовах ПБК» (№ ДР 0111U007436), в яких здобувач проводив дослідження як виконавець.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні параметрів способу ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних ґрунтових структур.

Основні задачі досліджень:

- аналіз стану питання щодо активізації і стабілізації зсувних систем в умовах південного берега Криму (ПБК);
- аналітичні дослідження геомеханічних процесів при стабілізації зсувних ґрунтів;
- дослідження властивостей ґрунтів та фізичне моделювання ін'єкційної стабілізації зсувних процесів;
- розробка методики проектування стабілізації зсувних процесів методом напірної цементації;

– проведення дослідно-промислових робіт зі стабілізації зсувних процесів у ґрунтах в умовах ПБК.

Основна ідея роботи полягає в урахуванні закономірностей зміни деформаційних характеристик зони ковзання при розробці геомеханічної моделі та розрахунку параметрів ін'єкційної стабілізації зсувного масиву.

Об'єкт досліджень - напружено-деформований стан масиву зсувних ґрунтів.

Предмет досліджень - фізико-механічні властивості ґрунтів та розподіл дотичних напружень в зоні ковзання і в зсувному тілі.

Методи досліджень. Методичну основу досліджень складає комплексний підхід, який включає в себе аналіз і узагальнення літературних даних за темою роботи, аналітичні, лабораторні та натурні дослідження, виконані з метою розробки методики проектування параметрів ін'єкційного закріплення зсувонебезпечних ґрунтових структур.

Основні наукові положення, що захищаються у дисертації.

1. Значення дотичних напружень збільшуються в 2-2,5 рази на початковій ділянці зони поздовжнього зрушення зсуву та загасають у язиковій частині за рахунок ін'єкції, що здійснюється в області рівності зсувних та затримуючих сил, при збільшенні коефіцієнта стійкості в 1,2-1,3 рази, що дозволяє визначити раціональну ділянку закріплення зсувного ґрунту.

2. Зміна прирощення об'ємної маси скелету ґрунту в залежності від вологості, в початковій фазі деформацій при ін'єкційному закріпленні, має лінійну підпорядкованість, при цьому значення об'ємної маси скелету ґрунту збільшуються на $0,15-0,20 \text{ кН/м}^3 \cdot 10^{-1}$, зчеплення ущільненого водонасиченого глинистого ґрунту збільшуються в 1,45-2,0 рази, кут внутрішнього тертя на $2-3^\circ$, модуль деформації збільшується в 1,3-1,8 рази, що дозволяє досягти стабілізації зсувних ґрунтів.

Наукова новизна роботи:

– вперше встановлено коефіцієнт підвищення стійкості закріпленої ділянки зсувного ґрунту;

– вперше встановлена закономірність розподілу дотичних напружень в зоні ковзання і в зсувному тілі до і після ін'єкційного закріплення ґрунту в буферній області;

– експериментально підтверджений коливальний процес затухаючого деформування зсуву та встановлено критерії розвитку деформацій у часі;

– вперше встановлена закономірність ін'єкційного ущільнення водонасичених зсувних ґрунтів, доведено збільшення коефіцієнта консолідації суглинків до 1,17.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей розподілу дотичних напружень в зоні ковзання і в зсувному тілі, та зміни деформаційних властивостей ґрунтів після ін'єкційного закріплення.

Практичне значення роботи полягає у розробці методики розрахунку параметрів способу стабілізації зсувних процесів методом напірної цементації, а також в обґрунтуванні ефективності ін'єкційного закріплення зсувних ґрунтів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується застосуванням апробованих положень і законів механіки ґрунтів, методів математичного та фізичного моделювання; застосуванням точних вимірювальних приладів та стандартних методів експериментальних досліджень; задовільною збіжністю теоретичних і натурних результатів досліджень (відносна помилка - в межах 12-16%); позитивними результатами впровадження розробленого способу.

Реалізація результатів досліджень. Результати експериментальних досліджень і розроблений спосіб напірної цементації зсувних ґрунтів були використані в ЦНТП «Інжзахист» в проектно-дослідницьких роботах зі стабілізації зсувних процесів комплексним методом, а також в ТОВ «Геотехніка» в проектних рішеннях щодо запобігання зсувних деформацій в основах будівель і споруд на об'єктах «Могабі» (с.м.т. Лівадія) і кліматопавільйону (с.м.т. Алупка).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні наукової мети, задач, наукових положень, в обґрунтуванні ефективності напірної цементації, у визначенні найбільш раціональної області ін'єктування, в розробці комп'ютерної моделі і методики досліджень, у проведенні та аналізі результатів лабораторних та чисельних експериментів, в участі в дослідно-промислових роботах.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на міжнародному науково-технічному семінарі «Удосконалення будівництва шахт і підземних споруд» (м. Донецьк, 2009 р.), на міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми гірничої справи та екології гірничого виробництва» (м. Антрацит, 2009 р.), «Актуальні питання промислового, цивільного та підземного будівництва» (м. Алчевськ, 2011 р.), науково-технічних радах ЦНТП «Інжзахист» (м. Ялта, 2009-2012 рр.), на семінарах кафедри будівельних геотехнологій ДонДТУ (м. Алчевськ, 2009-2012 рр.).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи в повному обсязі викладені у 8 наукових працях, у тому числі в 1 монографії, 4 роботах, надрукованих у фахових виданнях та у 3 публікаціях доповідей в матеріалах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел із 101 найменування на 9 сторінках, містить 138 сторінок машинописного тексту, 66 малюнків, 43 таблиці та два додатки. Загальний обсяг дисертації складає 187 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і задачі досліджень, наукові положення, які виносяться на захист, встановлено наукове і практичне значення отриманих результатів досліджень, показаний особистий внесок автора та наведена інформація стосовно практичної апробації та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** наведений аналіз інженерно-геологічних властивостей зсувних ґрунтів, розглянутий стан питання щодо активізації і стабілізації

зсувних систем для різних умов, у тому числі для умов південного берега Криму.

Дослідженнями цих проблем займалися різні інститути та спеціалізовані організації - ВАТ «Фундаментпроект», КримГПНТІЗ, ЦНТП «Інжзахист», ЯКГГ і ІПП та ін. Значний науковий внесок у цьому напрямку зробили такі вчені: Г. М. Шахунянц, М. М. Маслов, К. А. Гулакян, В. В. Кюнтцель, Г. С. Золотарьов, І. Г. Коробанова, Л. К. Гінзбург, М. В. Муратов, И. Б. Корженевський, В. С. Купраш, М. Н. Гольдштейн, А. І. Білеуш, А. І. Шеко, М. К. Рзаєв, І. Ф. Єриш, С. Ф. Власов, І. О. Садовенко, А. Ф. Безсмертний, М. М. Рижій та ін.

На теперішній час вивчені закономірності та механізм формування типових зсувів ПБК. Обґрунтовані види та ефективність протизсувних заходів і послідовність їх здійснення в залежності від механізму та стадії розвитку зсуву.

Однак більшість споруд інженерного захисту сприймають зсувний тиск за рахунок жорсткості основних несучих елементів (пали, анкери). Але існуючі методи зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів дозволяють збільшити їх міцність і стисливість, тим самим запобігаючи та стабілізуючи зсувні процеси.

Отже актуальність роботи полягає в обґрунтуванні технологічних параметрів ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних ґрунтових структур.

Також у розділі визначена мета, задачі та алгоритм досліджень з розробки методики проектування параметрів ін'єкційної стабілізації з урахуванням геологічних, гідрогеологічних та технологічних факторів для умов ПБК.

У **другому розділі** викладені результати аналітичних досліджень геомеханічних процесів при стабілізації зсувних ґрунтів, які дозволили отримати рівняння, що описують розподіл швидкостей та зміну геометричних параметрів зони ковзання в природному стані і після ін'єкційного закріплення.

Методами математичного моделювання виконувались дослідження з визначення величини розкриття зони ковзання і швидкості руху зсуву, для цього була розроблена геомеханічна модель (рис. 1).

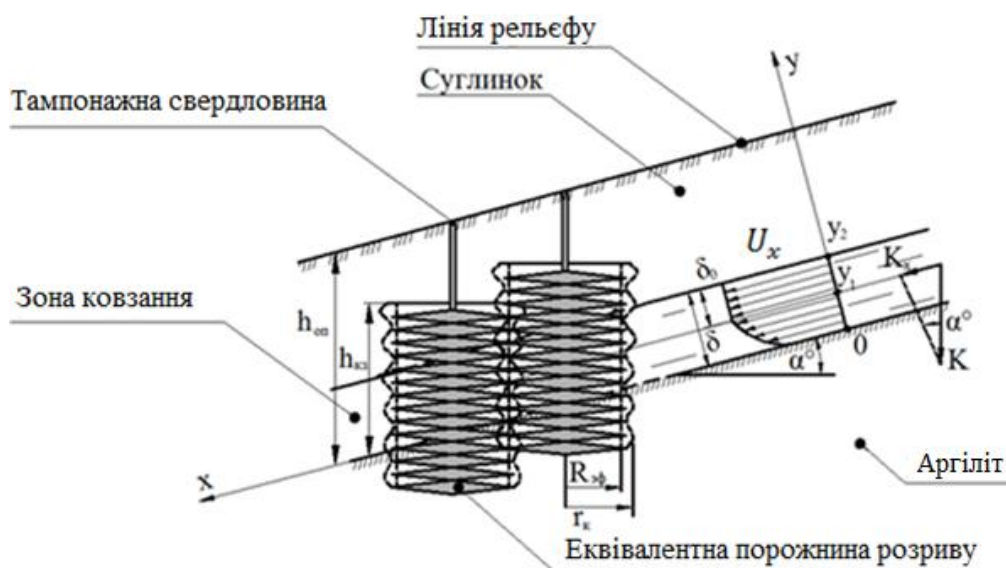


Рис. 1. Розрахункова модель щодо визначення величини розкриття зони ковзання і швидкості зміщення зсуву

Рішення задачі з визначення швидкості зміщення зсувного ґрунту проводились виходячи з диференціального рівняння руху в'язкопластичного тіла:

$$\eta \frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} = -\frac{\partial p}{\partial y}, \quad (1)$$

при граничних умовах:

$$y = 0; U_y = 0; y = \delta_0; \frac{\partial U_x}{\partial y} = 0,$$

де $\frac{\partial p}{\partial y} = I$ - градієнт тиску; U_x - швидкість руху; η - в'язкість ґрунту.

Результатом розв'язання рівняння став загальний вираз для визначення швидкості руху глинистого шару:

$$U_x = \frac{I}{\eta} \left(\frac{1}{2} (y^2 - \delta^2) - \delta_0 (y - \delta) \right), \quad (2)$$

де δ - товщина шару.

Моделювання геомеханічних процесів у зсувному тілі дозволило отримати рівняння, яке визначає величину розкриття зони ковзання:

$$\delta = \frac{\tau_0}{\rho K_x}, \quad (3)$$

де τ_0 - динамічне напруження зсуву; $K_x = g \sin \alpha$ - питома зсувна сила.

Виходячи з виконаних досліджень течії твердообразного тіла зони ковзання, з метою визначення коефіцієнту підвищення стійкості закріпленої ділянки зсуву при ін'єкційній стабілізації, розглянута модель процесу ін'єктування зони ковзання тампонажним розчином (див. рис. 1).

В ході проведених досліджень, визначений кінцевий вираз для розрахунку коефіцієнта підвищення стійкості, з урахуванням зміни зсувних характеристик закріпленого ґрунту, роботи цементу свердловин і цементу «коренів»:

$$K_{ny} = \frac{c_2 + \sigma_2 \operatorname{tg} \varphi_2}{c_1 + \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi_1} \left((K_{yc} + K_{ук}) + 1 \right), \quad (4)$$

де K_{yc} - коефіцієнт, що враховує роботу цементу свердловин;

$K_{ук}$ - коефіцієнт, що враховує роботу цементу «коренів».

З метою підвищення ефективності застосування методу напірної цементації, при стабілізації схилових гравітаційних процесів, проводилися аналітичні дослідження з визначення найбільш раціональної області ін'єктування. Для цього була вивчена динаміка зміщення порід, що складають зсувний схил і характер можливого розвитку зсувних процесів. Аналіз стану та визначення рівноважної ділянки зсуву виконувався за допомогою графоаналітичного методу проф. Г.М. Шахунянца:

$$K_{yct} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} [N_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + T_{iy\delta}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=m} T_i c_{\delta} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}, \quad (5)$$

де K_{yct} - коефіцієнт стійкості; N_i - нормальна сила;
 T_i - тангенціальна сила; c_i - сила зчеплення; φ - кут внутрішнього тертя ґрунту;
 α_i - кут нахилу зони ковзання до горизонту.

Отримані результати дали можливість виділити в зсувному тілі блоки, у яких значення зсувних та затримуючих сил, при основному та особливому сполученні навантажень (сейсмічна дія), знаходяться в порівнянних межах (рис. 2).

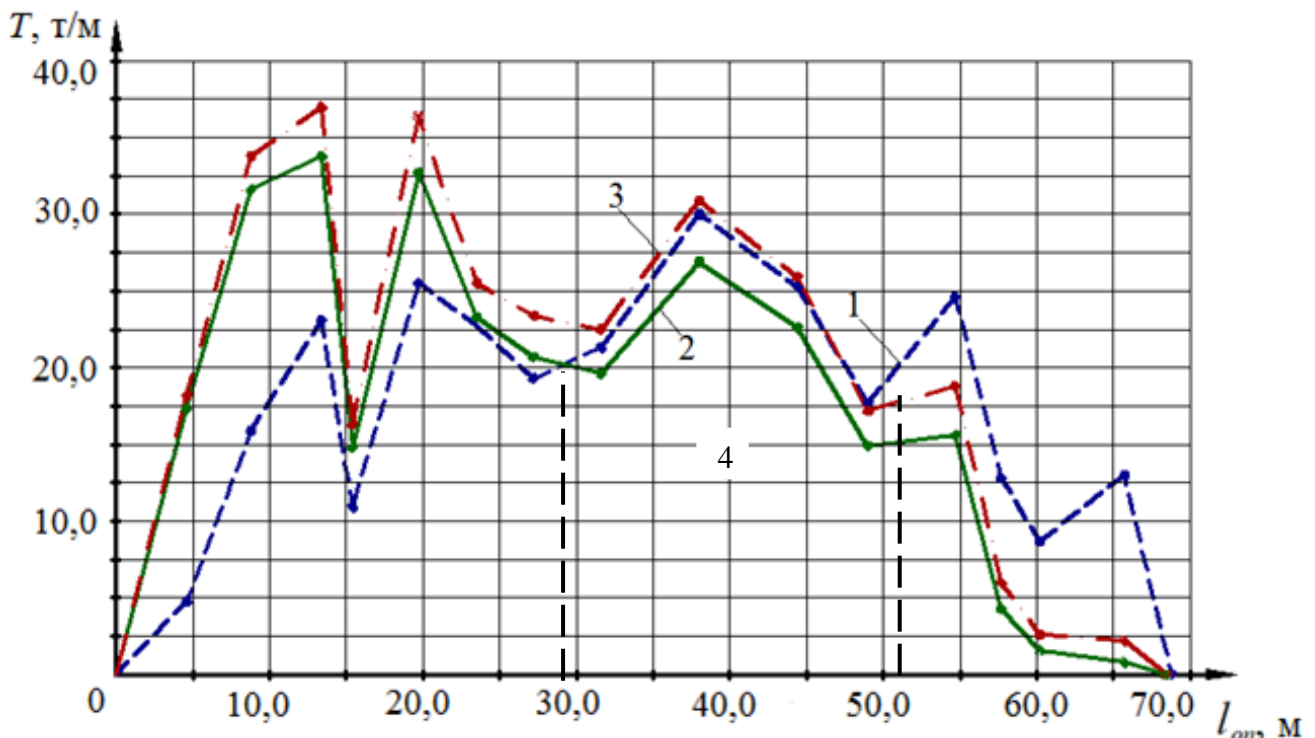


Рис. 2. Розподіл зсувних та затримуючих сил по довжині зсувного тіла: 1 - $T_{y\delta}$; 2 - $T_{c\delta}$ при основному сполученні навантажень; 3 - $T_{y\delta}$ при особливому сполученні навантажень (сейсмічна дія); 4 - буферна область зсуву

Також було встановлено, що на даній ділянці коефіцієнт стійкості підпорядковується лінійній залежності і змінюється у порівняно малих межах, а

отримані результати дали можливість виділити буферну ділянку в зсувному тілі і обґрунтувати найбільш раціональну область її ін'єктування.

Для дослідження напружено-деформованого стану і виявлення закономірностей розподілу дотичних напружень у зоні ковзання та зсувному тілі до і після ін'єкційного закріплення, виконано комп'ютерне моделювання зсувного схилу методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу «Lira 9.6 R9».

Моделювання зсувного масиву посиленого за допомогою методу напірної цементації проводилось виходячи з просторово-геометричних і фізико-механічних характеристик. Відповідно до інженерно-геологічних умов та технологічною схемою нагнітання цементного розчину приймалась наступна конструкція свердловин: довжина – 8 м; діаметр буріння – 112 мм; діаметр обсадження – 75 мм; щільність розчину що нагнітався – 1800 кг/м³.

Аналіз зсувного схилу у природному стані показав, що дотичні напруження зсуву в зоні ковзання характеризуються напруженнями розтягування і напруженнями стиску, значення яких збільшуються від головної до центральної частини зсуву, згасаючи до базису його розвантаження (рис. 3).

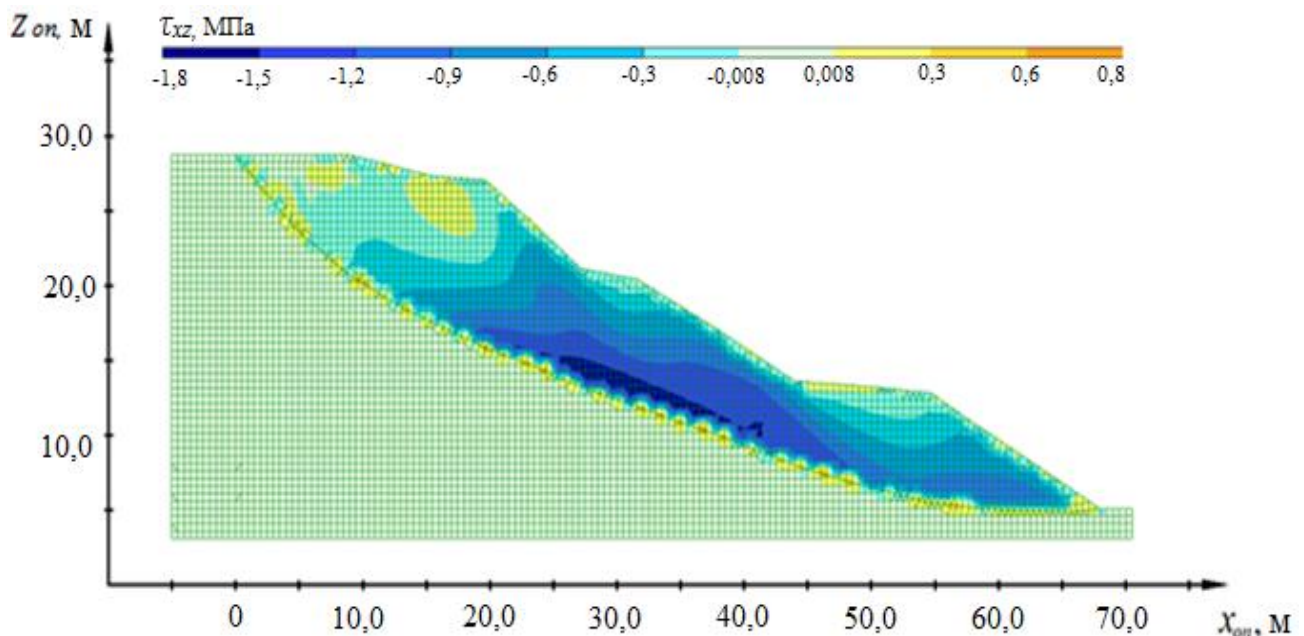


Рис. 3. Результати моделювання зсувного схилу у природньому стані

Напруження зсуву в зоні ковзання характеризуються зміною градієнта тиску і закон їх розподілу близький до гармонійного (рис. 4).

Дотичні напруження стиску в зоні поздовжнього зрушення зсуву розподіляються підкоуючись лінійної залежності, а їх величини практично не змінюються, що підтверджує наявність буферної зони (рис. 5).

Встановлені закономірності розподілу дотичних напружень в ґрунті після закріплення зсувного масиву методом напірної цементації (рис. 5, 6).

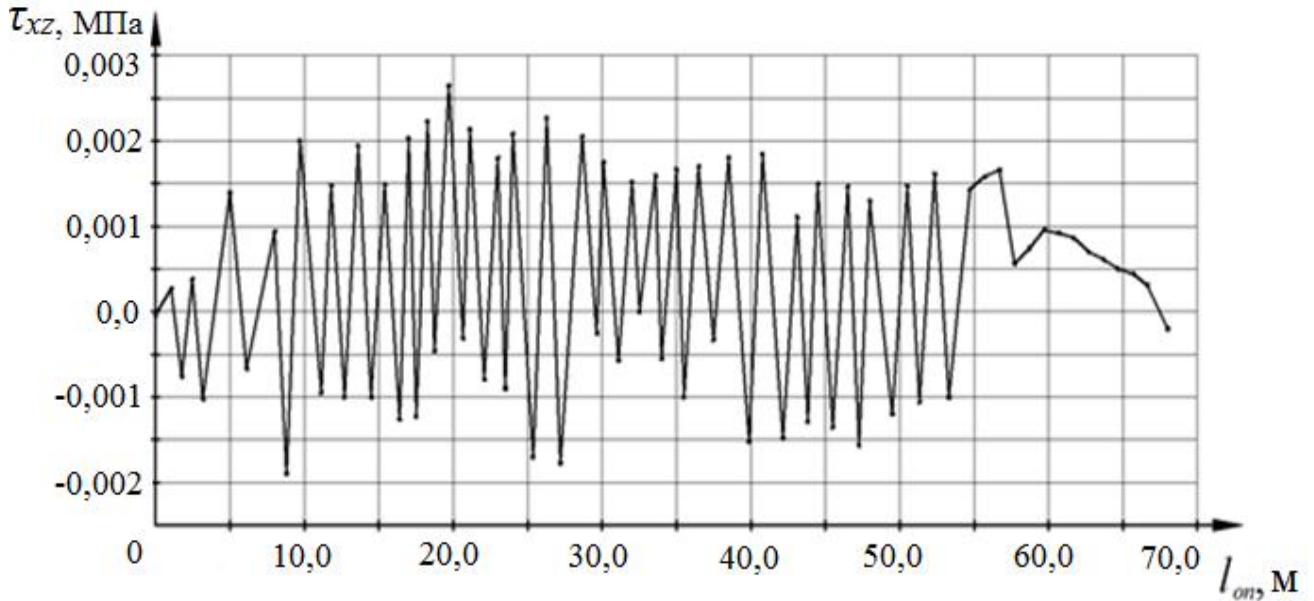


Рис. 4. Розподіл дотичних напружень τ_{xz} в зоні ковзання зсуву

Характер отриманої залежності свідчить про те, що деформації змінили свій вигляд, переходячи від в'язкопластичних в природньому стані, до пружних після закріплення.

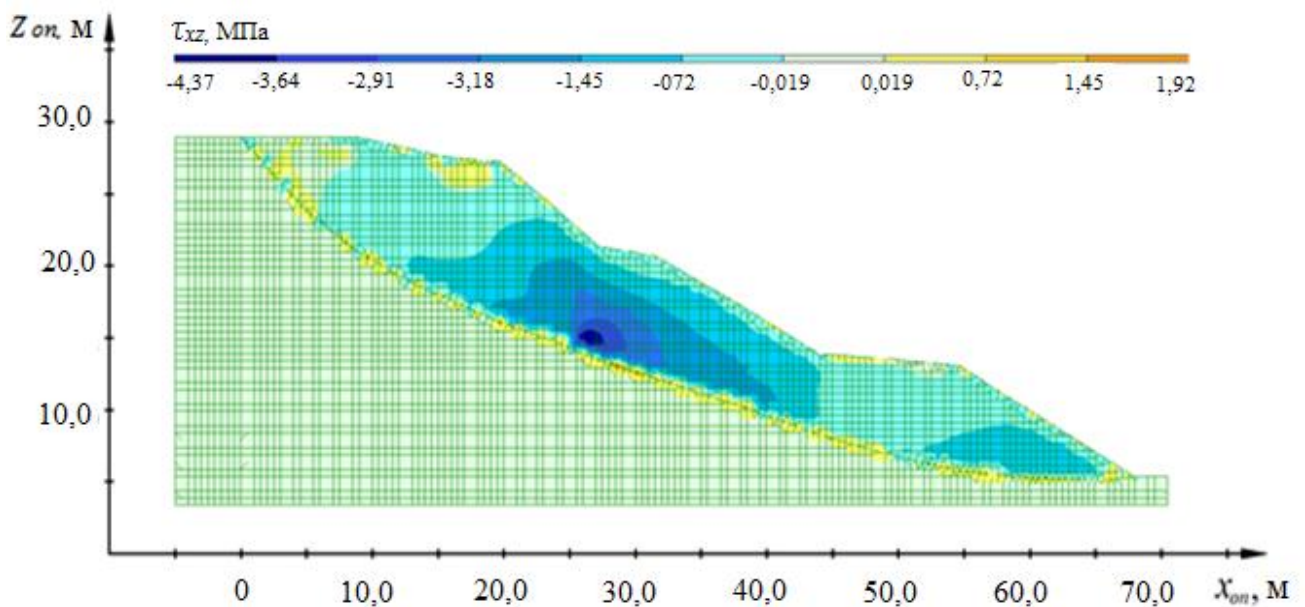


Рис. 5. Результати моделювання зсувного схилу після закріплення методом напірної цементації

Максимальні величини дотичних напружень стиску τ_{xz} концентруються у верхній частині області посилення ($\tau_{xz} = -0,043$ МПа), далі по схилу відбувається значне зниження напружень та їх загасання.

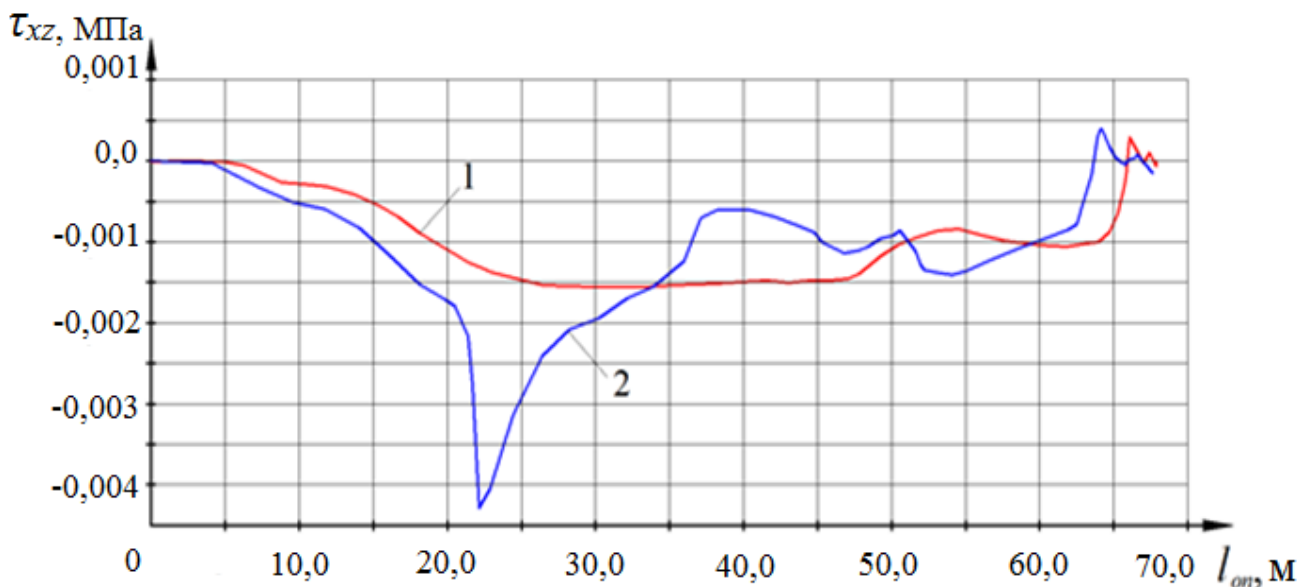


Рис. 6. Розподіл дотичних напружень τ_{xz} в зсувному тілі: 1 - в природному стані; 2 - після закріплення методом напірної цементації

У **третьому розділі** досліджені властивості ґрунтів, які складають зсувні схили в районі південного берега Криму. Лабораторними та польовими методами визначені основні фізико-механічні характеристики і розраховані їх значення. Для визначення реологічних характеристик зсувних ґрунтів, на основі критеріїв моделювання зсувного процесу розроблена конструкція і виготовлений експериментальний стенд.

В результаті експериментальних досліджень визначено швидкість зсуву і в'язкість ґрунту ($\eta = 1285$ МПа·с).

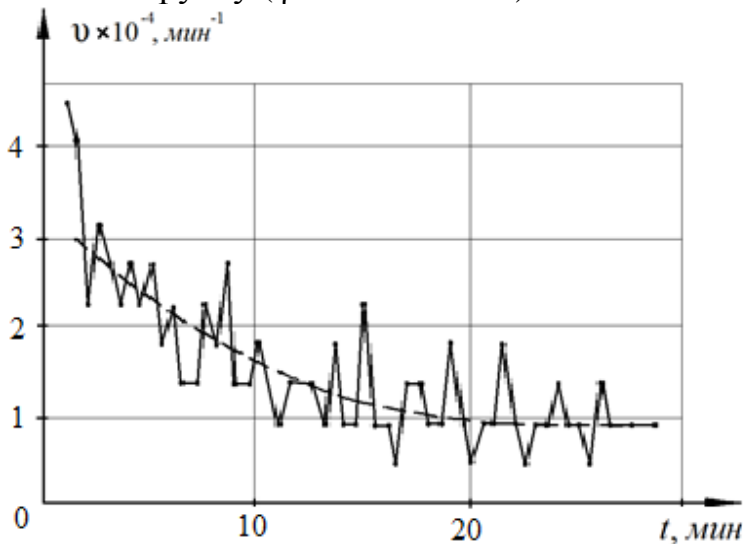


Рис.7. Зміна швидкості повзучості на стадії уповільненого руйнування за рахунок ущільнення ґрунту (рис. 7).

У модернізованому приладі стандартного ущільнення проводилися експериментальні дослідження процесів консолідації зсувних водонасичених суглинків (рис. 8).

Для визначення кінетичних властивостей ущільнених зсувних ґрунтів на зсувному приладі проводилися випробування ґрунту на тривалу дію зрізуючих напружень. Встановлено, що кінетика зсувного процесу має гармонійний характер зі швидкості зміщення ґрунту. Експериментально підтверджено коливальний процес затухаючого деформування оповзня

Експериментально доведено лінійну зміну прирощення об'ємної маси скелету $\Delta\gamma_{ск}$ зразків ґрунту при фільтраційній консолідації в залежності від вологості. Встановлено, що значення об'ємної маси скелету зсувних ґрунтів у результаті ущільнення при оптимальній вологості збільшуються на 0,15-0,20 $\text{кН/м}^3 \cdot 10^{-1}$ (рис. 9).

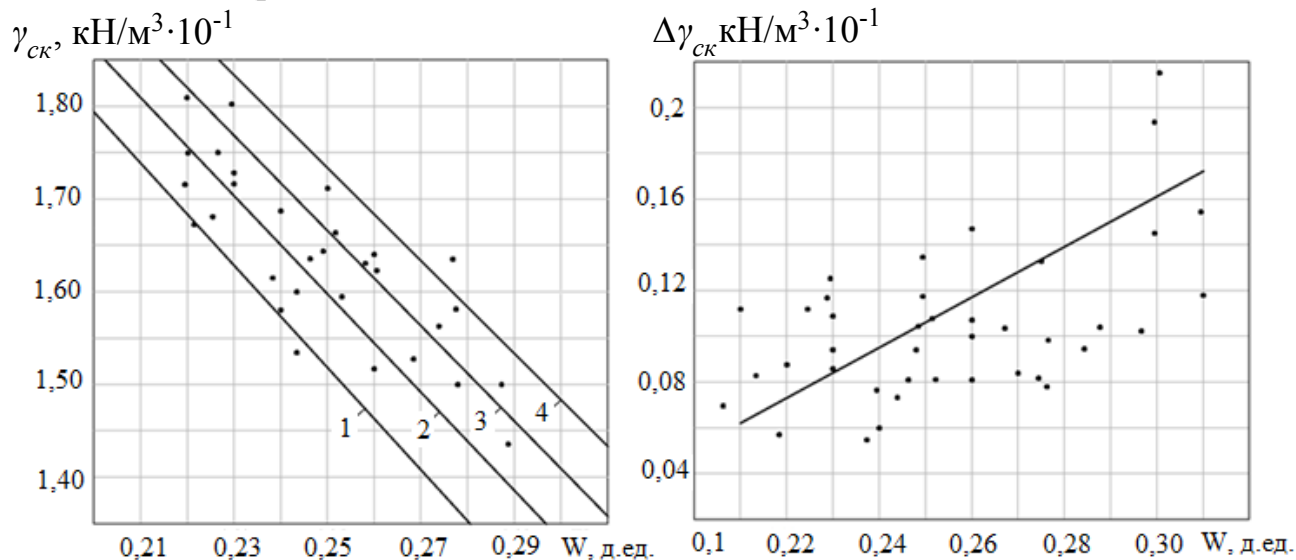


Рис. 8. Зміна об'ємної маси скелету ґрунту після ущільнення в залежності від вологості: 1-4 - при ступені вологості відповідно 0,85; 0,9; 0,95; 1,00

Рис. 9. Зміна прирощення об'ємної маси скелету ґрунту в залежності від вологості

Так само проводилися досліди у лабораторних умовах з оцінки впливу ущільнення на зниження їх стисковості у компресійних приладах і підвищення опору зрушенню у зрізних приладах, де було встановлено зміну модуля деформації ущільненого водонасиченого глинистого ґрунту у 1,3-1,8 рази і визначені зміни зсувних властивостей ґрунту за рахунок збільшення їх міцності.

На спеціальному експериментальному стенді проводилися дослідження стабілізації зсувних ґрунтів, при їх ін'єкційному закріпленні. Математична обробка результатів експериментів виконувалася за допомогою регресійного аналізу з використанням програмних комплексів для персональних комп'ютерів Microsoft[®] Excel та Mathcad[®] 14, у результаті чого були отримані емпіричні параметри (табл. 1). На підставі отриманих результатів було доведено поліпшення властивостей ґрунту при напірній цементації, а саме - зчеплення, кута внутрішнього тертя і коефіцієнта консолідації, отримані емпіричні залежності (6-8). Зчеплення ущільненого водонасиченого глинистого ґрунту збільшилося у 1,45-2,0 рази, кут внутрішнього тертя змінюється на $2-3^0$, коефіцієнт консолідації збільшується до 1,17.

$$C_2 = \alpha_2 P^2 + \beta_2 P + \gamma_2 \quad (6)$$

$$\varphi_2 = \alpha_3 P^2 + \beta_3 P + \gamma_3, \quad (7)$$

$$K_k = a \cdot P^b + c \quad (8)$$

Таблиця 1

Емпіричні параметри щодо визначення зчеплення, кута внутрішнього тертя та коефіцієнта консолідації ущільнених ґрунтів

Початкова об'ємна маса скелета (суглинок), кН/м ³ ·10 ⁻¹	Емпіричні параметри			
	$\alpha_2, 10^{-3}$ МПа ⁻¹ ; α_3 , град/МПа ² ; a , м/сут	$\beta_2, 10^{-3}$ МПа ⁻¹ ; β_3 , град/МПа ² ; b , м/сут	$\gamma_2, 10^{-3}$; γ_3 , град/МПа ² ; c , м/сут	Коефіцієнти кореляції, $r_2; r_3; r$
1,5	-0,08; -0,02; 0,06	1,15; 0,33; 0,60	33,25; 27,91; 0,99	0,88; 0,93; 0,88
1,65	-0,12; -0,07; 0,04	1,98; 0,86; 0,59	28,18; 25,99; 0,99	0,85; 0,88; 0,92
2,0	-0,22; -0,05; 0,03	3,22; 0,85; 0,43	22,10; 24,84; 0,99	0,83; 0,92; 0,93

У **четвертому розділі** на підставі проведених аналітичних та експериментальних досліджень розроблена методика проектування ін'єкційної стабілізації зсувних процесів, що включає в себе:

- комплексний підхід щодо оцінки стійкості зсувонебезпечних схилів;
- визначення геометричних параметрів ін'єкції:
 - визначення найбільш ефективної області ін'єктування;
 - R_0 – радіус поширення ін'єкційного розчину;
 - L – відстань між свердловинами;
 - n – кількість свердловин.
- визначення технологічних параметрів ін'єкції:
 - P_3 – тиск нагнітання;
 - Δh_{max} – максимальна ступінь ущільнення;
 - V – обсяг ін'єкційного розчину.
- розрахунок коефіцієнта підвищення стійкості;
- проведення контролю якості виконаних робіт.

Впровадження методики проектування і дослідно-промислові роботи виконувалися на наступних натурних об'єктах.

1. «Протизсувні споруди на території бази «Могобі» у с.м.т. Лівадія». Роботи були спрямовані на запобігання зсувних деформацій в основі фундаментів існуючого адміністративного комплексу методом напірної цементації. Для цього були розраховані основні технологічні параметри ін'єкції цементно-силікатного розчину щільністю 1800 кг/м³ (табл. 2).

У результаті проведення ін'єкційних робіт була досягнута стабілізація зсувних процесів.

Таблиця 2

Параметри ін'єкції ґрунту

Δh_{max} , м	R_0 , м	L , м	P_3 , МПа	l , м	Діаметр буріння, мм	Інтервал заходки, м	Кількість свердловин	Об'єм на 1 п.м., м ³	Об'єм розчину, м ³
0,05	1,5	2,0	0,48	10	112	2-10	68	0,12	65,3

2. «Протизсувні споруди по вул. 1-го Травня у с.м.т. Алушка». Для запобігання схилових гравітаційних процесів застосовувалася методика проектування параметрів ін'єкційної стабілізації зсувів спільно з анкерними утримуючими конструкціями.

При тиску ін'єкції 0,5 МПа у свердловину нагнітався цементно-силікатний розчин в обсязі 1,3 м³, всього було пробурено 126 свердловин і закачано 169 м³ розчину, що дозволило стабілізувати зсувні процеси й уникнути їх подальшого розвитку при будівництві кліматопавильону.

Результатами впровадження розробленої технології ін'єктування зсувних ґрунтів стало збільшення зсувних і деформаційних характеристик закріпленого ґрунту: зчеплення збільшилося в 2 рази, кут внутрішнього тертя змінився на 3°, модуль деформації збільшився в 1,6 разів. Коефіцієнт стійкості змінився в 1,3 рази, коефіцієнт підвищення стійкості закріпленої ділянки склав 1,79.

Стабілізація зсувних процесів фіксувалася за отриманими графіками ущільнення зсувних ґрунтів, лабораторними випробуваннями закріплених ґрунтів і перевірочним розрахунком стійкості, а також геодезичними методами й методом ПЕМПЗ.

Визначена техніко-економічна ефективність при застосуванні методу напірної цементації в порівнянні з «класичним» методом стабілізації зсувних процесів, яка визначалася при проектуванні параметрів стабілізації зсуву на об'єкті «Інженерний захист території в західній частині с.м.т. Лівадія», яка склала 535381 грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей підвищення стійкості зсувних ґрунтів способом напірної цементації з урахуванням структурно-геологічних, гідрогеологічних та гірничо-технологічних факторів вирішено актуальне науково-технічне завдання з обґрунтування раціональних геометричних та технологічних параметрів ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних ґрунтових структур, що має важливе значення для підтримання безпечної експлуатації об'єктів, котрі знаходяться на зсувних та зсувонебезпечних схилах в районі південного берега Криму.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Аналітично і експериментально доведено існування в зсувному тілі в'язкопластичної зони ковзання та області з рівністю зсувних та затримуючих сил, що, зокрема, дозволило обґрунтувати ефективність напірної цементації зсувів і визначити найбільш раціональну область ін'єктування.

2. Вперше методом комп'ютерного моделювання встановлена закономірність зміни дотичних напружень і деформацій в зоні ковзання і в зсувному тілі після ін'єкційного закріплення ґрунту.

3. Доведено, що застосування напірної цементації для стабілізації зсувних ґрунтів призводить до зміни напружено-деформованого стану зони ковзання і трансформації деформацій з в'язкопластичних в пружні. Вперше введений коефіцієнт підвищення стійкості зсувного ґрунту, що становить 1,5-2,0.

4. Експериментально підтверджений коливальний процес затухаючого деформування зсуву та визначені критерії розвитку деформацій ґрунту у часі.

5. Лабораторними методами доведена зміна прирощення об'ємної маси скелету $\Delta \gamma_{ск}$ зразків ґрунту при фільтраційної консолідації в залежності від вологості. Встановлено, що значення об'ємної маси скелету зсувних ґрунтів в результаті ущільнення при оптимальній вологості збільшуються на 0,15-0,20 $\text{кН/м}^3 \cdot 10^{-1}$.

6. Доведена зміна зсувних характеристик зсувних ґрунтів посилених методом напірної цементації: зчеплення ущільненого водонасиченого глинистого ґрунту збільшилося у 1,45-2,0 рази, кут внутрішнього тертя на $2-3^0$, модуль деформації збільшується в 1,3-1,8 рази. Встановлені емпірію-аналітичні залежності дозволяють визначити зміну фізико-механічних характеристик і коефіцієнта консолідації ґрунту в залежності від тиску нагнітання розчину.

7. Розроблено нову методику проектування параметрів напірної цементації зсувних ґрунтів з метою стабілізації деформаційного процесу.

8. Виконані дослідно-промислові роботи зі стабілізації зсувних ґрунтів на об'єктах «Могабі» та климатопавільйону у с.м.т Алушка. Очікуваний економічний ефект при застосуванні методу напірної цементації, в умовах південного берега Криму при проектуванні параметрів стабілізації зсуву на об'єкті «Інженерний захист території у західній частині с.м.т. Лівадія», склав 535381 грн.

Основні результати досліджень опубліковані у наступних роботах:

1. Инъекционная стабилизация оползневых грунтов. Монография / П. Н. Должиков, П. Г. Фурдей, К. К. Кирияк, О. А. Рыжикова. – Донецк: Світ книги, 2012. – 212 с.

2. Кирияк К. К. Определение эффективной области инъектирования грунтов для стабилизации оползневых процессов / П. Н. Должиков, К. К. Кирияк // Сб. науч. тр. Донбасского государственного технического университета. Вып. 33 – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – с. 245-252.

3. Кирияк К. К. Применение метода напорной цементации для стабилизации оползневого процесса / П. Н. Должиков, К. К. Кирияк // Сб. науч. тр.

Донбасского государственного технического университета. Вып. 34 – Алчевск : ДонГТУ, 2011. – с. 179-186.

4. Кирияк К. К. Моделирование оползневого склона методом конечных элементов / К. К. Кирияк // Сб. науч. тр. Донбасского государственного технического университета. Вып. 35 – Алчевск : ДонГТУ, 2011. – с. 257-266.

5. Кирияк К. К. Стабилизация оползневого процесса методом напорной цементации / П. Н. Должиков, Ю. И. Кобзарь, К. К. Кирияк // Сб. науч. тр. Донбасского государственного технического университета. Вып. 36 – Алчевск : ДонГТУ, 2012. – с. 345-351.

6. Кирияк К. К. Инъекционный способ предупреждения и остановки оползневых процессов на побережье Крыма / П. Н. Должиков, К. К. Кирияк // Совершенствование шахт и подземных сооружений: Матер. междунар. науч.-техн. конф. Вып. 15. – Донецк: «Норд-Пресс», 2009. – с. 44-45.

7. Кирияк К. К. Об активизации оползневых процессов и способы их стабилизации / П. Н. Должиков, М. Н. Рыжий, К. К. Кирияк // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. IV междунар. науч.-практ. конф. (14-15 мая 2009 г., г. Антрацит) – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2009. – с. 182-188.

8. Кирияк К. К. Способы закрепления нестабильных грунтовых масс / П. Н. Должиков, К. К. Кирияк / Сборник трудов «Современные проблемы шахтного и подземного строительства». – Донецк: Норд-Пресс, 2009, вып. 10-11. – с. 45-48.

Особистий внесок здобувача у роботах, написаних у співавторстві: [1] дослідження ін'єкційної стабілізації зсувних грунтових структур, розробка методики проектування, [2] визначення ефективної області ін'єктування ґрунтів для стабілізації зсувних процесів; [3] аналіз методу напірної цементації для стабілізації зсувного процесу, [5] розробка технологічних параметрів ін'єкції, [6-8] аналіз процесів активізації зсувних процесів та їх стабілізація методом напірної цементації.

АНОТАЦІЯ

Кіріяк К. К. Обґрунтування технологічних параметрів ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних грунтових структур. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ 2013.

Дисертація присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання з обґрунтування технологічних параметрів ін'єкційної стабілізації зсувонебезпечних грунтових структур.

В роботі доведено поліпшення властивостей ґрунту при напірній цементації - коефіцієнта консолідації, зчеплення, кута внутрішнього тертя і модуля деформації. Значення об'ємної маси скелету ґрунту в результаті ущільнення при

оптимальній вологості збільшуються на $0,15-0,20 \text{ кН/м}^3 \cdot 10^{-1}$. Зчеплення ущільненого водонасиченого глинистого ґрунту збільшилося в 1,45-2,0 рази, кут внутрішнього тертя φ - на $2-3^{\circ}$, модуль деформації збільшився в 1,3-1,8 рази.

Закономірності, отримані в результаті експериментальних досліджень зразків гірських порід і чисельного моделювання, використані для розробки методики проектування параметрів ін'єкційної стабілізації зсуву для умов південного берега Криму.

Ключові слова: зсув, стійкість схилів, зона ковзання, напірна цементация, коефіцієнт підвищення стійкості, методика проектування, технологічні параметри.

АННОТАЦИЯ

Кирияк К. К. Обоснование технологических параметров инъекционной стабилизации оползнеопасных грунтовых структур. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск 2013.

Диссертация посвящена решению актуального научно-технического задания по обоснованию технологических параметров инъекционной стабилизации оползнеопасных грунтовых структур.

В работе выполнен анализ инженерно-геологических свойств тела оползня, установлены причины и условия развития деформационных процессов грунтового массива. Проанализированы реологические процессы в вязкопластичных системах.

Рассмотрены основные подходы и методы расчета оползневого давления и определения коэффициента устойчивости. Выполнен анализ существующих способов стабилизации оползневых процессов.

Методом аналитических исследований геомеханических процессов в области скольжения получено уравнение по определению величины раскрытия зоны скольжения, которая зависит от отношения динамического напряжения сдвига к массовым силам с учетом плотности. Получено общее выражение для определения скорости движения глинистого слоя учитывающее изменение градиента давления, вязкость грунта и величину раскрытия зоны скольжения.

Введена формула для расчета коэффициента повышения устойчивости закрепленного участка оползня, с учетом изменения сдвиговых и деформационных характеристик оползневого грунта при совместной работе цемента скважин и цемента «корней».

Выявлена наиболее эффективная область в оползневом теле для устройства инъекционных скважин путем анализа распределения сдвигающих, удерживающих сил и коэффициента устойчивости, который проводился с учетом фактора сейсмического воздействия.

Для моделирования геомеханических процессов происходящих в оползневом теле и зоне скольжения в естественном состоянии и после закрепления методом напорной цементации, принят критерий прочности Кулона-Мора. В качестве инструмента численного моделирования использована программа конечно-элементного анализа Lira 9.6 компании ЛИРА-САПР, широко используемая в практике инженерного анализа, как в Украине, так и за рубежом.

Исследование свойств оползневых грунтов южного берега Крыма, в том числе с отбором проб грунтов, позволило провести анализ кинетики оползневого процесса. Определено что кинетика оползневого процесса имеет гармонический и затухающий характер по скорости сдвижения грунта.

Выполнены экспериментальные испытания образцов грунта. Доказано улучшение свойств грунта при напорной цементации – коэффициента консолидации, сцепления, угла внутреннего трения и модуля деформации. Значения объемной массы скелета грунта в результате уплотнения существенно увеличиваются на $0,05-0,1 \text{ кН/м}^3 \cdot 10^{-1}$, а при оптимальной влажности на $0,15-0,20 \text{ кН/м}^3 \cdot 10^{-1}$. Сцепление уплотненного водонасыщенного глинистого грунта увеличилось в 1,45-2,0 раза, угол внутреннего трения φ - на $2-3^{\circ}$, модуль деформации увеличился в 1,3-1,8 раза.

Закономерности, полученные в результате экспериментальных исследований образцов горных пород и численного моделирования использованы для разработки методики проектирования параметров инъекционной стабилизации оползня для условий южного берега Крыма.

Апробация разработанной методики проектирования проводилась на двух натуральных объектах «Могаби» и климатопавильона в п.г.т Алушка и показала позитивные результаты, которые фиксировались инструментальными и геофизическими методами.

Ожидаемый экономический эффект при применении метода напорной цементации, в условиях южного берега Крыма при проектировании параметров стабилизации оползня на объекте «Инженерная защита территории в западной части п.г.т. Ливадия», составит 535381 грн.

Ключевые слова: оползень, устойчивость склонов, зона скольжения, напорная цементация, коэффициент повышения устойчивости, методика проектирования, технологические параметры.

ANNOTATION

Kiriyak K.K. Justification technological parameters of injection landslide stabilization of soil structure. - Manuscript.

Thesis for obtain scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.15.09 – Geotechnical and rock mechanics. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovs’k, 2013.

The dissertation is devoted to solving important scientific and technical problem with the justification of technological parameters of injection landslide stabilization of soil structure.

It is proved to improve the properties of soil in the discharge of cementation - coefficient of consolidation, cohesion, angle of internal friction and modulus of deformation. The value of bulk density of soil skeleton as a result of compaction at optimum moisture content increases to $0,15-0,20 \text{ kN/m}^3 \cdot 10^{-1}$. Clutch saturated compacted clay soil increased 1,45-2,0 times, angle of internal friction φ - at 2-30, deformation modulus increased by 1.3-1.8 times.

Patterns derived from experimental studies of rock samples and numerical modeling techniques used to develop design parameters of injection stabilization bias conditions for the southern coast of Crimea.

Keywords: landslide, stability of slopes, slip zone, pressure grouting, the coefficient of resistance, methods of design, technological parameters.

КІРІЯК КОСТЯНТИН КОСТЯНТИНОВИЧ

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІН'ЄКЦІЙНОЇ
СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ҐРУНТОВИХ СТРУКТУР

(Автореферат)

Підп. До друку 17.09.2012. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № .