

ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ

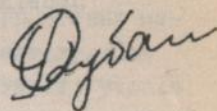
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

на правах рукопису

Рубан Олег Анатолійович

СТІЙКІСТЬ АРМОГРУНТОВИХ МАСИВІВ

В УМОВАХ ПІДТОПЛЕННЯ



Спеціальність 05.23.02 - Підвалини  
та фундаменти

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 1997

604.1

Ав 36.726

Дисертацією є рукопис  
Роботу виконано в Дніпропетровському державному технічному  
університеті залізничного транспорту

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00760921 (P)

- Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
Тимофєєв
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор  
Одеської державної академії будівництва та архітектури  
Школа Олександр Вікторович
- кандидат технічних наук, доцент  
Придніпровської державної академії  
будівництва та архітектури  
Головко Сергій Іванович

Провідне підприємство - Український державний проектно-технологічний інститут транспортного будівництва /УкрДПТТрансбуд/ м.Дніпропетровськ

Захист відбудеться "27" лютого 1997 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої Ради Д. 03.07.05 у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 320600, м.Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці академії. Автореферат розісланий "22" агн 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої Ради, кандидат технічних наук, доцент

Карпукіна А.К.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зсувні процеси часто є основною причиною порушення нормальної експлуатації транспортних споруджень, промислових громадянських будинків, особливо в той час, коли підтоплення міст приводить до зниження стійкості ґрунтових масивів і виникнення зсувів, що в свою чергу приводять до аварії споруджень, розташованих на схилах та укосах. Розроблені засоби часто не дають бажаного ефекту і виявляються на стільки трудомісткими і дорогими, що їх впровадження є неможливим. Тому розробка економічних і ефективних міроприємств, що дозволяють підвищити стійкість схилів і укосів та не порушити екологію середовища, є досить актуальною. Таким методом посилення схилів є армування укосів геотекстильними матеріалами. Однак відсутність методики посилення відповідних розрахункових комплексів, що дозволяють врахувати різні експлуатаційні фактори і визначити форми втрати стійкості армоґрунтових масивів, суттєво ускладнюють застосування цього методу. Для транспортних споруджень проблема підвищення стійкості укосів є тим більш важливою, тому що протяжність участків автомобільних доріг та залізниць уздовж берегів рік і морів складає десятки кілометрів, а порушення стійкості укосів земполотна внаслідок розвинення зсувних явищ приводить до закриття руху на тривалий час і значним витратам на утримання доріг.

Про високу ефективність застосування армоґрунтових конструкцій засвідчує той факт, що обсяг виготовлення синтетичних полімерних матеріалів в світі з 1970 -го року виріс в 100 разів і в наступний час складає більше 500 мільйонів м<sup>2</sup> на рік, з яких 70 відсотків використовуються при спорудженні земляного полотна.

В порівнянні з викладеним треба зауважити значне відставання України, де застосування ГТІ при зведенні земполотна не знайшло належного поширення. Причинами такого відставання є як відсутність достатнього серйозного досвіду будівництва і експлуатації армованих конструкцій земляного полотна, так і відповідної методики їх проектування. Відомі методики проектування або не враховують інженерно-геологічних особливостей України, або недостатньо досконалі.

Метод дослідження - вивчення механізму порушення стійкості схилів при підтопленні і хвильових впливах та розробка найбільш ефективного методу їх посилення за допомогою геотекстильних матеріалів.

У відповідності з цією метою необхідно було вирішувати такі задачі:

- провести аналіз існуючих конструктивних рішень, методів розрахунків та експериментальних досліджень стійкості укосів, що підтоплюються;
- встановити закономірності гідродинамічних впливів на стійкість природних і закріплених різними засобами укосів та визначити можливі форми втрати стійкості армогрунтових укосів при різноманітних засобах укріплення і видах геоматеріалів;
- виявити умови взаємодії армируючих прошарків з різними ґрунтами і характер розподілення зусиль в армогрунтовому масиві з допомогою чисельного експерименту;
- розробити програму розрахунку стійкості на ЕОМ для різних випадків втрати стійкості;
- розробити інженерний метод розрахунку стійкості ухилів для різних випадків армування з урахуванням підтоплення і хвильових впливів.

Об'єкт дослідження - армогрунтові спорудження, що підтоплюються.

Предмет дослідження - стійкість зсувних укосів транспортних споруджень, що підтоплюються.

Методологічна основа і методика дослідження.

Дослідження базується на комплексному методі, що включає аналіз сучасних наведень про армування ґрунта і існуючих кріпленнях конструкцій, що підтоплюються, експериментальні дослідження таких конструкцій на хвильові впливи, дослідження стійкості моделей зсувних укосів методом відцентрового моделювання, чисельному аналізі НДС армогрунтових споруджень з різними типами засипок і висотами геотекстильних оболонки, розрахунків стійкості з застосуванням методів механіки ґрунтів і суцільного середовища.

Наукова новизна роботи полягає в наступному: проведені комплексні експериментально-теоретичні дослідження армогрунтових масивів, що підтоплюються геотекстильними оболонками різних ти-

пів і засобів укріплення, які дозволили одержати наступні наукові результати:

- встановлено характер втрати стійкості укосів, укріплених різними засобами з використанням різних видів геоматеріалів і типів анкерування в ґрунті при хвильових впливах на основі модельних випробувань в гідравлічному лотку;

- було виявлено механізм виникнення поверхні ковзання неоднорідних укосів, закріплених різними засобами, за допомогою методу відцентрового моделювання і проведено порівняння одержаних даних з результатами натурних спостережень;

- встановлені закономірності розподілення зусиль в армоґрунтових укосах на основі чисельного експерименту за допомогою МСЕ;

- розроблено програму розрахунків стійкості укосів з урахуванням підтоплення на основі трьох основних можливих форм утрати стійкості з використанням класичних методів розрахунку;

- розроблено інженерний метод розрахунку гідродинамічного впливу на укис, що підкріплені геоматеріалами.

Практичне значення роботи полягає в застосуванні методики розрахунку стійкості армоґрунтових укосів з врахуванням підтоплення і хвильових впливів за допомогою програми "ОТКОС" для IBM. Армоґрунтові конструкції з геотекстильними оболонками, методика розрахунку і проектування втілені на Донецькій залізниці. Передбачений ефект за розрахунок зниження вартості БМР - біля 30 тис. гривнів. При використанні запропонованих конструкцій для захисту від підтоплення скорочується витрата бетону і металу в 1,3 - 1,4 рази, вартість одного квадратного метру поверхні закріпленого укосу зменшується в 1,5-2 рази.

Особистий вклад автора полягає в:

- розробці ефективної конструкції армоґрунтового масиву, що підвищує стійкість споруджень, які підтоплюються;

- експериментальних досліджень закономірностей роботи армоґрунтового масиву на хвильовий вплив;

- експериментальних дослідженнях стійкості моделей зсувного масива, які підтоплюються ґрунтовими водами, за допомогою методу відцентрового моделювання;

- розроблено інженерний метод розрахунку стійкості армоґрунтових споруджень, що підтоплюються, із врахуванням хвильового впливу;

впливу;

- досліджені НДС армогрунтових масивів за допомогою МКЕ на базі програми СиБІНДІВа "REPLAN";

- розробці програми за пропонуємою методикою розрахунку стійкості армогрунтових укосів з урахуванням підтоплення і хвильових впливів.

#### Ступінь реалізації наукових розробок

Результати досліджень є основою для розробки рекомендацій по застосуванню геотекстильних оболонок, як елемента підвищення стійкості участків насипу залізниць, що підтоплюються, а також при розробці рекомендацій для підвищення стійкості зсувних участків насипів залізниць.

#### На захист виносяться:

- характер розподілення напруги і деформацій в армогрунтових спорудженнях в умовах підтоплення;

- результати експериментальних досліджень стійкості армогрунтового масива при підтопленні і хвильових впливах;

- чисельний аналіз НДС армогрунтових масивів, обмежених укосом;

- програма розрахунку на ЕОМ для розрахунку різних випадків утрати стійкості;

- розробка методики розрахунку стійкості армогрунтових споруджень в умовах підтоплення.

Апробація роботи. Результати досліджень доповідались на Республіканський нараді з проблем інженерного захисту територій від підтоплення ґрунтовими водами /м.Харків, 1994 р./, Республіканській науково-практичній конференції з проблем інженерного захисту берегів морів /м.Ялта, 1995 р./, Російській конференції з механіки ґрунтів і фундаментобудуванню /м.С.-Петербург, 1995 р./, II Українській науково-технічній конференції з механіки ґрунтів і фундаментобудуванню /м.Полтава, 1995 р./.

Публікації. За матеріалами дисертації є 5 публікацій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, загальних висновків, бібліографії та додатків, разом з яким її обсяг складає 185 сторінок. Текст ілюструється 68 малюнками і містить 7 таблиць.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми, сформульована мета досліджень, визначена наукова новизна і практична цінність роботи.

В першій главі проведено аналіз експериментальних і теоретичних робіт в області дослідження стійкості зсувних укосів і методів їх закріплення. Проблема стійкості зсувних укосів були присвячені роботи вітчизняних вчених і вчених близького зарубіжжя. Це В.В.Соколовський, В.Г.Березанцев, А.І.Білеуш, М.Н.Гольштейн, К.А.Гулаканян, А.М.Дьомін, Н.М.Дорошевич, А.Г.Дорфман, В.А.Жихович, Є.П.Смельянова, Г.С.Золотарьов, Н.Н.Маслов, М.В.Малищев, В.Н.Попов, Ю.И.Соловьев, А.Я.Туровська, Г.Л.Фісенко, Р.Р.Чугасв, В.К.Цетков, Н.А.Цитович, К.Ш.Шадуниц, Г.М.Шахуняц, А.В.Школа та багато інших. Сучасні методи закріплення зсувних укосів, в тому числі із застосуванням армування, розглянуті в роботі вітчизняних вчених В.Д.Казарновського, А.Г.Полуновського, Н.В.Братмана /Совздорніжі/, А.Ф.Кіма, В.А.Сидорова /СибЦНДІБ/, А.А.Чернанта, В.А.Барвашова, В.Р.Беркова, А.П.Фоміна /Діпродорніжі/, В.І.Заворницького, В.В.Товбича /КАДІ/, Л.М.Тимофєєвої /ДІІТ/, а також зарубіжних вчених А.Відаля, Ф.Шлоссера, І.Ріссе, К.Д.Джонса, Н.Т.Лонга, Д.Нараїна, З.Янга, І.Журяна, Т.Інгольда та багатьох інших.

Вперше метод армування ґрунта був розроблений французьким вченим А.Відалем в 60-х роках теперішнього сторіччя. Його ідея полягала в створенні матеріалу, що утворюється армуючими смугами, які укладаються горизонтально в ґрунт. Взаємодія між ґрунтом і армуючими елементами забезпечується за рахунок тертя за контактом "ґрунт-арматура".

При великих зсувних тисках більшість існуючих противозсувних споруджень не в змозі стабілізувати зсувний схил. Підтоплення таких укосів понижує стійкість даних споруджень. В цьому разі доцільно застосування геотекстильних оболонки, які збільшують стійкість зсувних укосів і укосів, що підтоплюються за рахунок включення в роботу сил, що виникають за контактом "ґрунт-геотекстиль".

Разом з тим, армоґрунтові конструкції з геотекстильними

оболонками не застосовувались широко на практиці, оскільки було невідомо, як такі споруди працюють на хвильові навантаження і при підтопленні, а також через відсутність методів їх розрахунку.

В другій главі наведено методику і результати досліджень стійкості армогрунтових укосів при підтопленні і хвильових впливах.

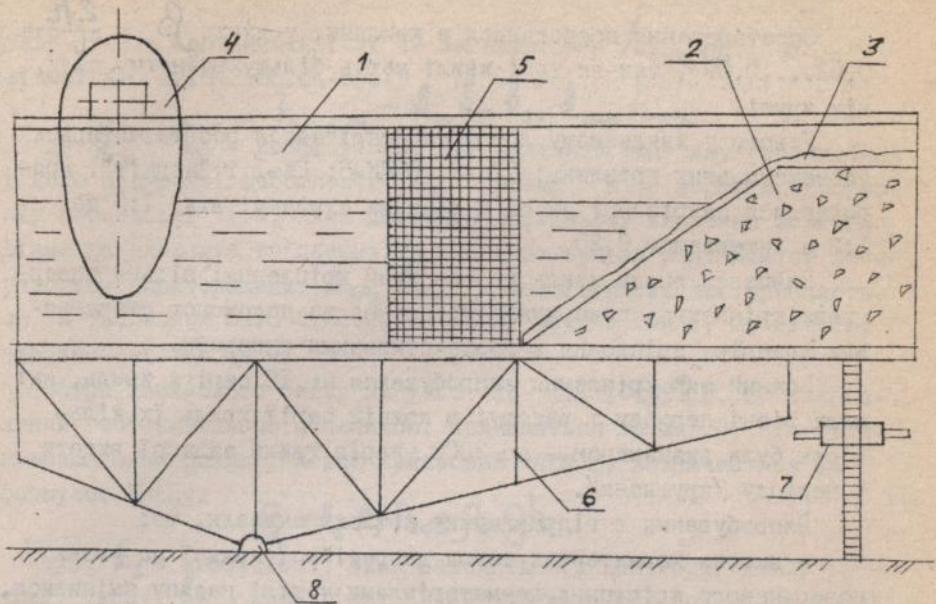
Вивчення впливу підтоплення на армовані різним геотекстилем укоси насипів проводилося у гідравличному лотку. Моделі виконувалися з піску різного гранулометричного складу з фарбованими прошарками з метою спостереження за міграцією окремих часток при гідродинамічному тиску.

Розміри моделі зверху — 35 см, знизу 125 см, висота 30 см, схил укосів 1:1,5, ширина лотка 27 см. Вивчалось положення депресійної кривої в армованому і неармованому тілі насипу за допомогою п'єзометричних трубок, які були встановлені на відстані 16–18 см. Підтоплення здійснювалось таким чином, щоб створити різницю натискання у верхньому і нижньому б'єсах.

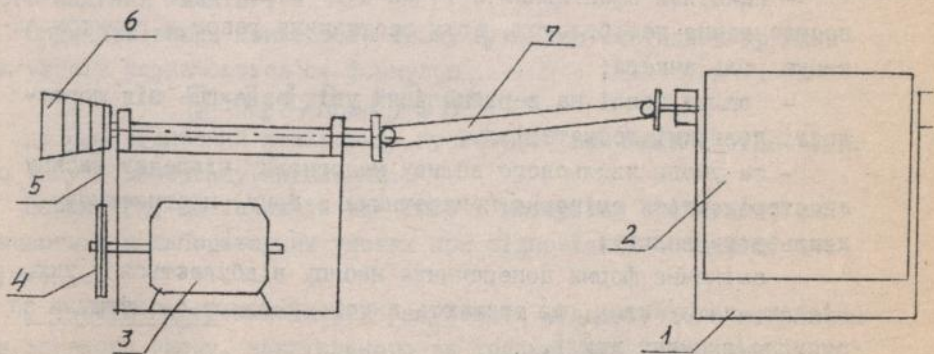
При поверхневому кріпленні укосів було одержано, що практично в усіх трубках рівень води підвищився, хоча витрата води зменшилася і рівні води у б'єсах були такими, як і біля незакріпленого тканиною укосу. У разі спокійного піднімання води розмивання укосів не відбулося. Було також проведено дослідження впливу швидкості течії води на стійкість армованих укосів у гідравличному лотку, в якому можливо поміняти уклін дна. Спостереження стійкості поверхнево закріплених різними геотекстильними матеріалами укосів показало, що відбувається трансформація форми укосів, які знаходяться за геотекстильною оболонкою, але сповзання укосу не відбувається.

Лоток мав розміри перерізного перерізу 36x70 см і прозорі стінки по всій довжині /мал.1/.

На мал.2 показана схема хвилепродуктора. Конструкція хвилепродуктора дозволила одержати чотири швидкості обертання барабану і хвилі різної висоти, що дало можливість одержати хвилі, які мали чотири фіксовані періоди:  $2T = 8$  сек; 3,82 сек; 2,88 сек; 1,94 сек.



Мал. 1. Гідравлічний лоток з хвилепродуктором: 1- лоток з прозорими стінками; 2- насип; 3- геоматеріал; 4- хвилепродуктор; 5- координатна сітка; 6- металічна ферма; 7- штурвал; 8- шарнір



Мал. 2. Хвилепродуктор: 1- лоток; 2- хвилепродуктор; 3- електродвигун; 4- шків; 5- реїмна передача; 6- шківні різних діаметрів; 7- гнучкий зв'язок

Спостереження проводилися з хвилями, у яких  $\beta = \frac{2h}{T} = 0,03 \dots 0,09$ , так як такі хвилі мають більшу руйнівну силу, ніж круті.

Усього у хвильовому лотці спостерігалася робота чотирьох геотекстильних кріплень: СТН-1; СТН-3; СЖ-1 і "Дорніт". Розглядалися закріплені укоси з різними схилами: від 1:0 до 1:2 з інтервалом 0,25.

Вивчався вплив хвиль на три типи кріплення: вільне поверхневе кріплення, поверхневе кріплення за допомогою стержневих анкерів, кріплення з геотекстильними анкерами.

Кожний тип кріплення випробувався на 10 серіях хвиль, які мали різні періоди і висоту: в кожній серії хвиль їх кількість була визначеною - до 3000 ударів хвиль заданої висоти і періоду /крутизни/.

Випробування в гідравлических лотках показали, що:

- висоти характерних точок депресійної кривої за умови поверхневого кріплення геоматеріалами у тілі насипу змінилися, рівень води підвищився, хоча втрата зменшилася;

- застосування анкерів нагельного типу не дало бажаного результату у зв'язку зі зниженням тертя анкера у ґрунті, що викликано замоченням;

- найбільш ефективним з точки зору підвищення стійкості є застосування геоболонок, коли геотканина разом з ґрунтом виконує роль анкера;

- вплив хвилі на вертикальний укос залежить від шорсткості поверхні геоматеріалу;

- за умови хвильового впливу на основну площадку насипу спостерігається змінення поперечника з боку, протилежного хвильовому впливу;

- змінення форми поперечника насипу відбувається у тих місцях, де зусилля, що тримають анкер, виявляються меншими за зусилля /всміку хвилі/.

На основі проведених спостережень був розроблений наближений метод визначення навантажень від дії хвилі на укис, що закріплені геотекстильними матеріалами.

Ключовою характеристикою для визначення навантажень на армоґрунті спорудження укосного профілю є висота нахату на

укіс хвиль забезпеченістю 1% за накатом /  $h_{\text{хвиль, 1\%}}$  м/  
відповідно БНІП 2.06.04-82.

$$h_{\text{хвиль, 1\%}} = k_z k_p k_{sp} k_{\text{хвиль}} h_{1\%}$$

де  $k_z$  і  $k_p$  - коефіцієнти, які залежать від типу геотекстиля і його відносної шерсткості  $z/h_{\text{хвиль}}$ ; причому  $z$  - характерний розмір шерсткості у м, який дорівнює середньому значенню величини діаметра елемента кріплення, що визначається за результатом лабораторних спостережень;  $k_{sp}$ ,  $k_{\text{хвиль}}$  - коефіцієнти, які приймаються за таблицями БНІП 2.06.04-82;  $h_{1\%}$  - висота хвилі, що біжить, забезпеченістю 1%, м.

Еюра хвильового тиску на укіс за  $1,5 \leq \text{ctg} \varphi \leq 5$ , що закріпленений геотекстильною оболонкою, приймається за мал.3, при цьому максимальний розрахунковий хвильовий тиск  $P_d$ , визначається за формулою БНІПу.

$$P_d = k_s k_t P_{\text{rel}} \rho_w g h$$

тут  $k_s$  - коефіцієнт, який залежить від пологості хвилі і схилу укосу;  $k_t$  - коефіцієнт, який залежить від пологості хвилі;  $P_{\text{rel}}$  - максимально відносний тиск хвилі на укіс, що залежить від висоти хвилі.

Вказані величини визначаються по БНІП 2.06.04-82.

$h$  - висота хвилі;  $\rho_w$  - щільність води;  $g$  - прискорення вільного падіння /мал.3/.

Одинати еюри хвильового тиску  $P_c$  на геотекстильні кріплення укосів визначаються за формулою

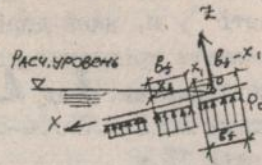
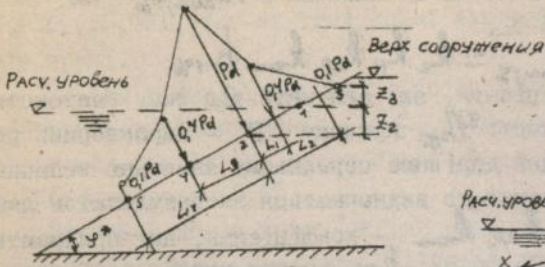
$$P_c = k_s k_t P_{\text{rel}} \rho_w g h$$

де  $P_{\text{rel}}$  відносний хвильовий протитиск, приймаєми відповідно до типу і матеріалу кріплення.

Параметри, що залежать від типу і матеріалу кріплення, визначаються в лабораторних умовах при відповідній специфіці досліджень.

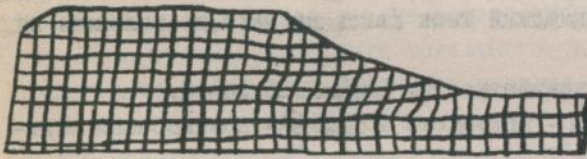
У третій главі наводяться результати відцентрового моделювання зсувного укосу, закріпленого як традиційними методами, так і за допомогою геотекстильних оболонок. Досліди проводилися на установці для відцентрового моделювання ДііТу, яка дозволила моделювати укоси в масштабі моделювання, який дорівнює 300.

Моделювався реальний зсувний шаруватий укіс. Геологічний розріз, представлений насипними ґрунтами, суглинком м"якопластич-

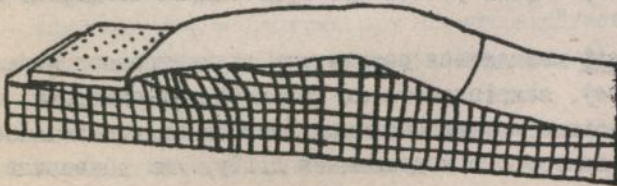


Мал. 3 а/ Епюра максимального  
розрахункового хвильового впли-  
ву на укіс, що закріплений гео-  
текстильною оболонкою

б/ Епюра хвильового  
протитиску



Мал. 4а. Результати моделювання незакріпленого укосу



Мал. 4б. Результати моделювання зсувного укосу, що закріплений  
пальовими рядами

ним, глиною напітведом, піском м'яким, вапняком.

В результаті натурального обстеження і результатів буріння зсуву, були визначені три характерні поверхні ковзання. Одна з них подавала собою лавний зсув /поверхня ковзання проходить в основному по глині/; друга проходить по основній площадці насипу, пересікає суглинок і закінчується у підніжжя укосу, третя лінія ковзання проходить по кордону суглинка і глини, яка є водоспіром. Друга і третя лінія ковзання зумовлені підтопленням ґрунтовими водами.

Для виготовлення моделей були підібрані ґрунти з фізико-механічними характеристиками, які аналогічні ґрунтам зсувного укосу.

Дослідження стійкості проводилося для моделей без підтоплення і за умов підтоплення ґрунтовими водами, для чого була розроблена методика підтоплення укосу на установці для відцентрового моделювання.

Досліджувались: незакріплений промаркуватий укіс; закріплений у підніжжя пальовими рядами, об'єднаними залізобетонною плитою; утримуєми підпорою стіною з переформуванням поперечника насипу, а також закріплений геотекстильними оболонками.

Проведні спостереження показали ідентичність утворених поверхнів ковзання реального і модельного зсувів.

Посилена пальовими рядами зсувна ділянка, практично не закріпила діючий зсув. Улаштування пальової основи у місці розвинення язика зсуву привело тільки до зміни поверхньої ковзання, стабілізація розвитку зсуву не була досягнена.

Пристосування масивних штучних споруд у виді підпорок стінок з фундаментом з буронабивних паль в умовах, що існують, не є стабілізуючим чинником у зсувному процесі. В результаті застосування такої конструкції, підвищення стійкості укосу не було досягнено, вона тільки змінила характер деформування укосу.

Використання штучних опорних споруд, що тримають, виконаних з важких традиційних матеріалів, не дає бажаного результату, оскільки необхідно улаштовувати міцні протизсувні споруди, які дозволяють сприймати значні зсувні тиски.

Пристосування геотекстильних оболонок збільшує стійкість і привносить до стабілізації зсуву у зв'язку з пристосуванням

конструкції, що тримає, до підвищеного зсувного тиску, коефіцієнт стійкості при цьому виявився у 2 рази вищим, ніж при закріпленні пальовими рядами.

Примістосування геотекстильних оболонок потребує відповідних забор'язань щодо геотехнічного контролю шару ґрунту, що кладуть. Якщо вкладати ґрунт більш щільно, стійкість армоґрунтового масиву підвищується.

Армоґрунтові масиви, що підтоплюються, у яких насипна є ґрунтом, який не дрежує, потрібно улаштування дренажних споруд для підвищення стійкості армоґрунтової конструкції.

Відстань між геотекстильними прошарками по висоті насипу повинна бути оптимальним і визначається розрахунком.

Результати відцентрового моделювання наведені на мал.4.

Таким чином, можна вважати, що метод кріплення геотекстильними оболонками в умовах підтоплення є найбільш ефективним. Однак, треба мати на увазі, що найбільш прийнятним у даних умовах, як показує досвід, є комбінація класичних методів і армування геоматеріалами.

В четвертій главі поставлена і розв'язана задача про вплив на НДС типу засипки і кроку геотекстильних оболонок за допомогою чисельного моделювання МКЕ. Чисельний аналіз був виконаний за допомогою програмного комплексу "PEPLAN", який розроблено СибЦНДІБом під керуванням Чернаїта А.А.

Для проведення чисельного експерименту була вибрана розрахункова схема МКЕ, яка показана на малюнку 5. Для розрахунку МКЕ був вибраний уміс, для якого раніш були проведені дослідження стійкості з фіксацією напружень і деформацій.

Конструкція являє собою закладені у геотекстильні оболонки шари ґрунту товщиною 0,5м. Кінці оболонок заведені в ґрунт на глибину від 2м /внизу/ до 1,5м /зверху/, по кінцям, що закладені, зроблено заанкерування. Уміс має крутизну в куті по вертикалі, рівному приблизно  $15^\circ$ .

Попереднє глибинне армування і висота об'єму визначалась розрахунком місцевої і загальної стійкості конструкції, що обусловлено можливою поверхнею ковзання. Методи попередніх розрахунків базувалися на класичних теоріях лінійно-деформованого середовища і теорії граничної рівноваги. Найкращим елементом для моделювання конструкції з'являється трикутний трохкуз-

ловий елемент Лагранжевої родини з лінійними функціями форми, який прийнято в програмі СИОНДІБА.

Схема трикутного елемента ґрунта показана на мал.6, вектор його вузлових невідомих має вигляд:

$$x_e^e = (U_i, V_i, U_m, V_m, U_n, V_n)$$

де  $U, V$  - переміщення вузлів вздовж осі  $X$  та  $Y$  відповідно;  $M, M, L$  - номери вузлів елемента.

Функція напруження має вигляд:

$$F(p, q) = q - M(p + c \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

де  $q$  - пружий інваріант дивіатора напруження:

$$q = \sqrt{3\tau_{xy}^2 + (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}$$

$P$  - тиск;  $P = -\frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ ;  $M$  - коефіцієнт внутрішнього тертя;  $M = \sqrt{3} \sin \varphi$ ;  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя;  $c$  - зчеплення.

Матеріальна матриця шорсткості ґрунту, який ще не досяг пластичного стану, має вигляд:

$$D_e = \frac{E}{(1-\nu)(1-2\nu)} \begin{Bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu \end{Bmatrix}$$

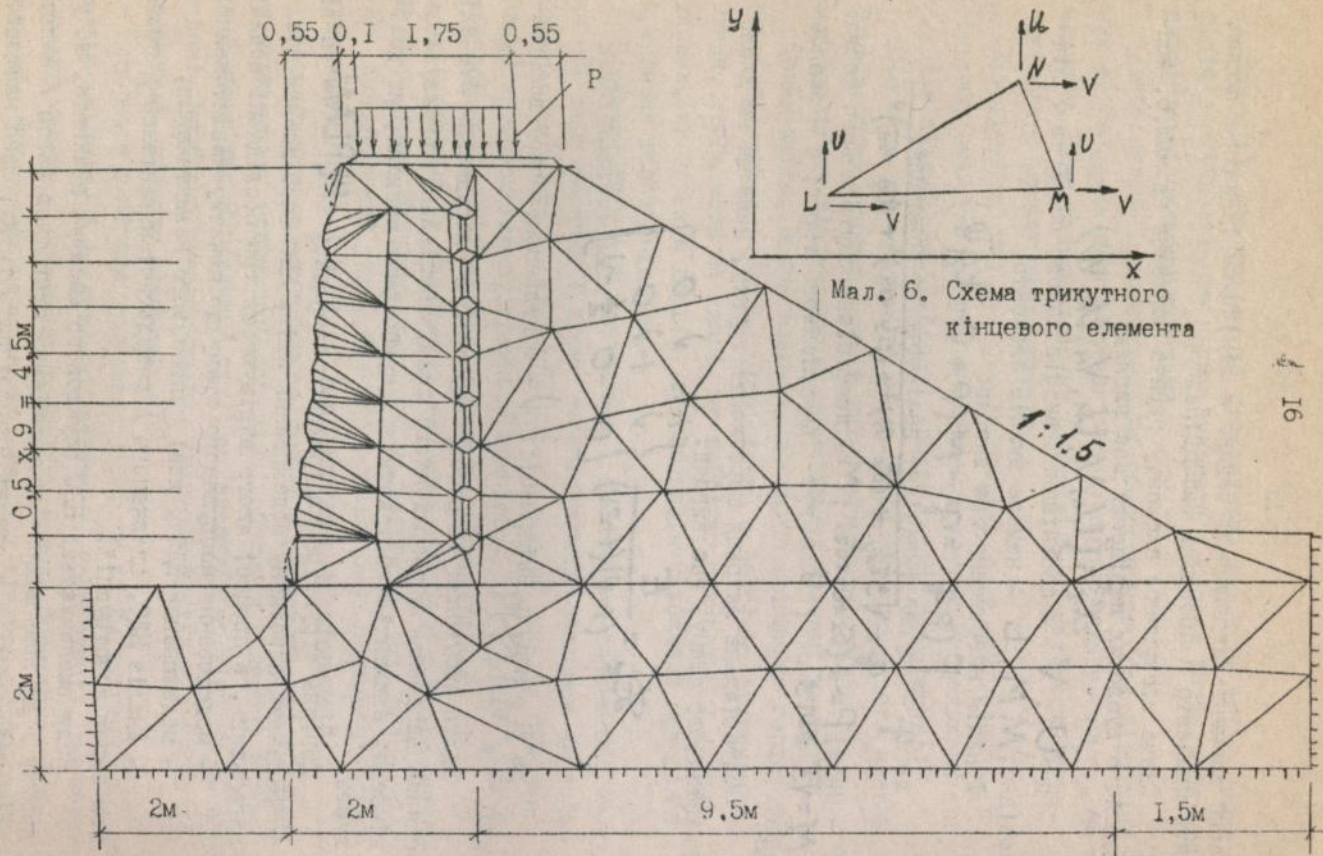
де  $E$  - модуль деформації;  $\nu$  - модуль поперечної деформації.

Вплив армування на роботу ґрунтового спорудження був здійснений введеним в розрахункову схему спеціальних двехвузових кінцевих елементів геотекстиля, сприймаючих зусилля, що розтягують.

Логічна структура програмного комплексу "PEPLAN" є відображенням алгоритму моделювання зміни НДС спорудження після напруження, в процесі якого вирішуються три послідовні задачі:

- моделювання напруженого стану до початку навантаження;
- моделювання НДС у ході покровового навантаження;
- аналіз НДС, одержаного в результаті навантаження приватною вагою конструкції.

Коли визначається НДС ґрунтового масиву, прийнято, що у насипу / до прикладення навантаження приватною вагою / напруження відсутні, а в основі відповідає тиску, який називають побутовим / всебічному тиску з інтенсивністю, відповідній вазі вишележачих шарів ґрунту.



Мал. 6. Схема трикутного кінцевого елемента

Мал. 5. Схема конструкції, що розбита на кінцеві елементи

Аналіз результатів виключає обробку даних про НДС спорудження з метою зведення її до виду, який був би зручним до користувача.

Чисельний експеримент армогрунтової конструкції з різними висотами геотекстильних об'єм і різними видами засипки показав:

- максимальні напруження виникають в зоні, яка близька до зовнішньої поверхні укосу, і практично рівномірно розподіляється напруження за довжиною анкера до кореня анкера;

- зони пластичних деформацій розвиваються і практично охоплюють вся половину ґрунтового масиву, що знаходиться ліворуч;

- результативна робота коренів анкерів можлива за кордоном утворення поверхні ковзання;

- найбільш небезпечною є зона, яка знаходиться на рівні, де зсувний тиск значний, а зусилля, що тримають, ще не достатні. Така зона знаходиться на відстані приблизно  $1/3$  висоти споруди від бровки укосу.

Порівняння результатів натурного експерименту дало розходження у визначенні зон нестійкого стану укосу. Так, самою безпечною є зона, яка знаходиться на рівні 0,3-0,4 висоти споруди від підніжжя укосу.

Ця розбіжність пояснюється тим, що чисельне моделювання не дозволяє врахувати особливості роботи армогрунтових конструкцій до змінення НДС /розвитку пластичних зон/.

У д'яній главі запропонована і описана програма розрахунку стійкості укосів на ЕОМ з використанням класичних методів і інженерний метод оцінки локальної та загальної стійкості.

Програма містить розрахунок стійкості за методами: Ю.І.Солов'єва, К.Терцагі, Маслово-Ферера, Г.М.Шахуняца, О.Г.Дорфмана.

Запропоновані підпрограми для визначення стійкості за методом Л.М.Тимофєєвої ефективних параметрів, з обліком хвильового впливу і гідродинамічного тиску води, а також методом *Rize*.

Для визначення коефіцієнта стійкості необхідно ввести такі початкові дані. Загальні для всіх методів, що розгляда-

ються, /див. мал. 7/: координати за вертикаллю контура укосу і поверхні ковзання, що припущена, визначити викину кожного блоку, визначити початок і довжину навантаження, що рівномірно розподілено, об'ємну вагу, питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя ґрунта.

При визначенні коефіцієнта стійкості за методом Л.М.Тимофєєвої необхідно додатково взяти: товщину, кількість, крок і довжину геотекстильних оболонок, кут тертя між ґрунтом і арматурою, модулі деформації матриці і геотекстиля.

У розрахунку стійкості укосу, коли є фільтраційний потік, вказують у якості початкових параметрів рівень ґрунтових вод, а також характеристики міцності ґрунта у замоченому стані.

Стійкість масива при хвильовому впливі визначається за наявністю таких характеристик: висоти і довжини хвилі, а також максимального відносного хвильового впливу і коефіцієнтів, що залежать від типу і матеріала кріплення геотекстилем укосу, які визначаються за спеціальними спостереженнями.

Розрахунок стійкості армоґрунтового масиву за методом **Рібе** за додаткову до вже зведених раніше береться довжина геотекстильного анкера, яка знаходиться у пасивній зоні дії зсуву.

Результатом роботи програми "ОТКОС" є значення коефіцієнтів стійкості. Оскільки за допомогою програми можна одержати тільки коефіцієнти загальної стійкості укосу, а коефіцієнти локальної стійкості в розробленій програмі не визначені, то був розроблений інженерний метод розрахунку стійкості армоґрунтових споруд.

Запропонована методика розрахунку, що відрізняється від прийнятих у закордонному досвіді проектування. Віліміна полягає в тому, що роздивляються три випадки втрати стійкості: два випадки локального зруйнування і один - загальної стійкості.

Локальна стійкість визначається стійкістю армоґрунтового анкера при зруйнуванні за контактом "геотекстиль-ґрунт" і міцністю геотекстильної оболонки на розрив.

Спір витягнення арматурних елементів складається з опору витягнення  $i$ -го армуючого шару геотекстиля та кореня анкера:

$$N_e = N_a + N_{an}$$

Опір витягненню армуючого прошарку  $l$ -го шару на  $I$  м поверхні армогрунтового масива  $N_a$  дорівнює

$$N_a = \sum_{j=1}^K 2 \cdot \mu_i \sigma_{zj}^{cp} l_j$$

де  $j$  - номер ділянки, на котрі розподілена епіюра /мал.8/;  $K$  - кількість ділянок, на яких залежність  $\sigma_z = f(x)$  може бути прийнята лінійною /мал.8/;  $\sigma_{zj}^{cp}$  - середня напруга  $\sigma_z$  на  $j$ -ої ділянці;  $l_j$  - довжина  $j$ -ої ділянки.

Опір витягненню кореня анкера визначається за формулою:

$$N_{an} = 2 \cdot \sigma_z \cdot B \cdot \eta_p + 2 \mu \tan \sigma_z$$

тут  $B$  - приведена ширина анкера /мал.8/;  $l_{an}$  - довжина анкера;  $\eta_p$  - коефіцієнт пасивного опору ґрунта перед анкером.

Умову локальної стійкості можливо записати у вигляді:

$$N_z \leq T_e \quad \text{чи} \quad N_z \leq R_a$$

де  $R_a$  - міцність геотекстилю на розтягнення;  $T_e$  - зусилля, що витягає від тиску ґрунта, хвильового впливу, що діє на геотекстильну оболонку і анкер.

Загальна стійкість армованого ґрунту визначається за методом Л.М.Тимофєєвої як умовно гомогенного середовища. Ефективні параметри міцності /кут внутрішнього тертя і зчеплення/ рекомендується визначати за наступним виразом:

$$\text{Питомне зчеплення} \quad C_c = \frac{R_T}{\Delta H} \cdot \frac{\sqrt{V_f}}{2}$$

де  $R_T$  - зусилля тертя ґрунта по арматурі, або міцність прошарка на розтягнення;  $\Delta H$  - довжина між армуючими прошарками.

$$\text{Ефективний кут внутрішнього тертя} \quad \varphi_c = \varphi + \varphi_0$$

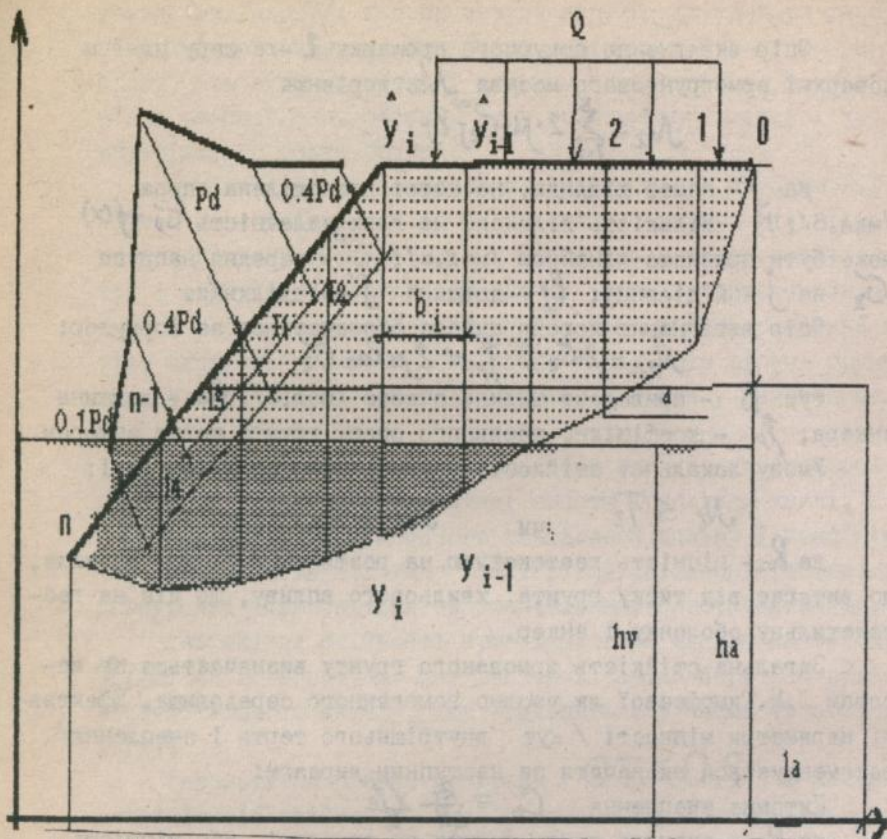
де  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя засипки

$$\varphi_0 = 90^\circ - 2 \alpha \arctg \sqrt{V_f} \cdot \rho \cdot (V_f + E_m \cdot E_f^{-1} (1 - V_f)) / 2B$$

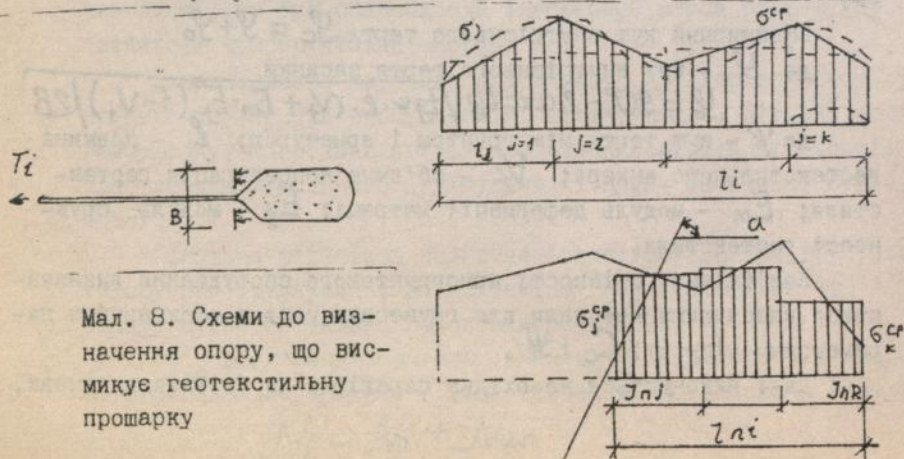
де  $\varphi$  - кут тертя між ґрунтом і арматурою;  $l$  - довжина геотекстильного анкера;  $V_f$  - об'ємна концентрація геотекстиля;  $E_m$  - модуль деформації матриці;  $E_f$  - модуль пружності геотекстиля.

Коефіцієнт стійкості армогрунтового спорудження визначається класичними методами для ґрунтових умов з ефективними параметрами міцності  $C_c$  і  $\varphi_c$ .

Далі виконується необхідна перевірка на стійкість основи,



Мал. 7. Схема до визначення стійкості укосів на ЕОМ за програмою "ОТКОС"



Мал. 8. Схеми до визначення опору, що викликає геотекстильну прошарку

стійкість проти зрушення і перекидання відповідно до потреби нормативних документів.

## ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

На основі проведених комплексних експериментально-теоретичних досліджень стійкості зсувних укосів і укосів, що підтоплюються, було встановлено наступне:

1. Метод кріплення укосів геотекстильними оболонками є ефективним засобом, підвищуючим стійкість зсувних укосів і укосів, що підтоплюються, за рахунок включення в роботу зусиль, виникаючих за контактом "грунт-геотекстиль".

2. Поверхнєве кріплення укосів змінює депресійну криву в тілі насипу і перешкоджає зміні поперечника насипу, хоча має місце зміна форми поперечного перерізу масива.

3. Найбільш ефективним з точки зору підвищення стійкості є застосування геоболонки, коли геотканина разом з ґрунтом виконує роль анкера, а хвильовий вплив на зовнішню поверхню оболонки залежить від шорсткості, водопроникнення, міцності і деформативності геоматеріалу, а також від характеру взаємодії оболонки з засипкою.

4. Ідентичність утворених поверхнів ковзання реального та модельного зсувів. Застосування геотекстильних оболонки збільшує стійкість і приводить до стабілізації зсуву у зв'язку з пристосуванням конструкції, що стримує, до підвищеного зсувного тиску.

5. Метод закріплення геотекстильними оболонками зсувних укосів в умовах підтоплення є найбільш ефективним у сполученні з класичними методами закріплення.

6. Чисельними розрахунками МКЕ встановлено, що висота геотекстильних оболонки і фізико-механічні характеристики матеріалу засипки значно впливають лише на величину напружень і деформацій у ґрунтовій матриці та геотекстилі, і практично не впливає при цьому на характер розподілення напружень та деформацій в елементах конструкції. Характер розподілення напружень і деформацій залежить від глибини армування та характеристик геотекстилю /особливо деформаційних/. У зв'язку з чим, за допомогою МКЕ можна оцінити тільки загальну стійкість і НДС укосів.

7. Розроблена програма розрахунку стійкості укесів, що підтоплюються, на ЕОМ з використанням класичних методів і інженерного методу розрахунку локальної і загальної стійкості. Порівняння результатів розрахунку за методикою, запропонованою в роботі і результатами експериментів, результатами чисельних досліджень МКС та розрахунків за іншими методиками вказує на те, що даний метод дозволяє дати достатньо повну оцінку стійкості споруд.

Основні положення дисертації викладено в роботах:

1. Тимофеева Л.М., Рубан О.А. Стійкість армогрунтових укесів при підтопленні. Республіканська нарада з проблем інженерного захисту територій від підтоплення ґрунтовими водами. м.Харків, 1994 р., с.35-37 /д.а.50%/. Результати досліджень підтоплення укесів.

2. Тимофеева Л.М., Рубан О.А. Устойчивость подтопляемых армогрунтовых откосов. Тр.Российской конф. по мех.грунтов и фундаментостроению, С.-Петербург, 1995, т.3, с.623-627 /д.а.40%/. Моделні дослідження стійкості укесів.

3. Тимофеева Л.М., Гейзен Р.Е., Рубан О.А. Динамическая устойчивость подтопляемых насыпей железных дорог. Тр.семинара по динамике оснований и фундаментов. С.-Петербург, 1995, с.64-65 /д.а.30%/. Вивчення впливу динаміки на стійкість насипу.

4.Тимофеева Л.М., Гейзен Р.Е., Рубан О.А. О динамической устойчивости подтопляемых насыпей. Тр.ІІ Украинской научно-техн.конференции по мех.грунтов и фундаментостроению.Полтава, 1995, т.ІІ, с.42-43 /д.а.30%/. Обґрунтування впливу підтоплення на роботу насипу.

5. Тимофеева Л.М., Рубан О.А. Теорія хвильового впливу на армогрунтові масиви. Науково-техн.конф. з проблем індивідуального захисту берегів морів. м.Ялта, 1995, с.24-25 /д.а.50%/. Дослідження хвильового впливу на армогрунтові укеси.

## АННОТАЦІЯ

Губан Олег Анатольевич. Устойчивость армогрунтовых массивов в условиях подтопления. Диссертация - рукопись на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 - основания и фундаменты. Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. Днепропетровск, 1997.

В диссертационной работе исследована устойчивость армогрунтовых массивов в условиях подтопления. Изучено влияние волнового воздействия на устойчивость закрепленного геотекстилем откоса. Исследована устойчивость армогрунтовых сооружений при подтоплении грунтовыми водами. Обосновано влияние различных видов засыпки и разных высот геотекстильных оболочек на устойчивость сооружений. Разработаны рекомендации по расчету устойчивости подтопляемых армогрунтовых массивов, в том числе с применением ЭВМ.

## ANNOTATION

Ruban Oleh Anatolievich. The Terra Armee Massives Stability in Condition of the Undermining. The manuscript thesis for a candidat of tehcnical scences' degree on the speciality 05.23.01- "Foots & Foundation", Frydniprovskaya Academy of Construction and Architecture. Dnipropetrovsk, 1996.

The work that is defenced contains:

- the research work about the undermined terra armee mas-sives stability;
- the study of the wave influence affect at the fastened by geotextile soil slope stability;
- the research of the terra armee constructions stability in condition of soil water undermining;
- the various types of fillings and different geotextile membranes heights influence at the constructions stability;
- worked out recomendations about terra armee massives stability calculations.

Ключові слова: стійкість, армогрунт, підтоплення,

хвильовий вплив, геотекстиль.

Ав 36.726

АВ 36.726

РУБАН ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ

Стійкість ерогрунтових масивів в умовах  
підтоплення

05.23.02 - Підвалини та фундаменти

Підписано до друку 15.01.97. Формат 80x64 1/16  
Папір для розмножувальних апаратів. Друк офсетний.  
Ум.-друк.арк. 1.4. Обл.-вид.арк.1,27.Зам. 32 . Тираж 60  
примірників. Безкоштовно.

Адреса дільниці оперативної поліграфії:  
320700, Дніпропетровськ, вул.Акад.Лазаряна, 2.