

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет**  
**«Дніпровська політехніка»**

---

---

**Навчально-науковий інститут природокористування**  
**Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**

студентки Шмельової Валерії Єгорівни  
(ПІБ)

академічної групи 101-18-1  
(шифр)

спеціальності 101 «Екологія»  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Екологія»  
(офіційна назва)

на тему «Оцінка зсувонебезпечності балки Діївська м. Дніпро  
та обґрунтування протизсувних заходів»  
(назва за наказом ректора)

<b>Керівники</b>	<b>Прізвище, ініціали</b>	<b>Оцінка</b>	<b>Підпис</b>
кваліфікаційної роботи	Ковров О.С.		
<b>розділів:</b>			
Теоретичного	Ковров О.С.		
Технологічного	Ковров О.С.		
Охорона праці	Чеберячко Ю.І.		
<b>Рецензент</b>	Козій Є.С.		
<b>Нормоконтролер</b>	Ґрунтова В.Ю.		

**Дніпро**  
**2022**

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
Завідувачка кафедри екології та  
технологій захисту навколишнього  
середовища

\_\_\_\_\_  
(підпис) Борисовська О.В.  
(прізвище, ініціали)  
«02» травня 2022 року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавра**

студентці Шмельовій В.Є. академічної групи 101-18-1  
(прізвище та ініціали) (шифр групи)  
спеціальності 101 «Екологія»  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Екологія»  
(офіційна назва)

на тему «Оцінка зсувонебезпечності балки Діївська м. Дніпро та обґрунтування  
протизсувних заходів», затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська  
політехніка» від 03.05.2022 р. №234-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Виконати теоретичні дослідження стосовно техноекологічної проблеми зсувів: їх виникнення та розвиток в природних схилах та техногенних укосах. Навести характеристику б. Діївська м. Дніпро.	02.05.2022 15.05.2022
Технологічний	Дослідити фактори негативного впливу на стійкість схилів балки Діївська м. Дніпро та виконати комп'ютерне моделювання зсувонебезпечності. Запропонувати протизсувні заходи та надати прогноз рівня зниження екологічної небезпеки від зсувів.	16.05.2022 05.06.2022
Охорона праці	Проаналізувати екзогенні та ендогенні фактори техноекологічної небезпеки від зсувів та запропонувати протизсувні заходи.	06.06.2022 19.06.2022

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Ковров О.С.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 02.05.2022 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 21 червня 2022 р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Шмельова В.Є.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 21 рис., 5 таблиць, 51 літературних джерел, 5 додатків.

**Мета роботи:** Оцінити зсувонебезпечність балки Діївська м. Дніпро методами чисельного моделювання та запропонувати протизсувні заходи для зниження техноекологічної небезпеки.

*Об'єктом дослідження є зсувні процеси в природних схилах яружно-балкових мереж, як чинники екологічної небезпеки.*

*Предметом дослідження є закономірності оцінювання і прогнозування стійкості та зсувонебезпечності природних схилів та ефективність протизсувних заходів.*

У вступі розкрито актуальність проблеми боротьби зі зсувами.

В теоретичному розділі виконана характеристика балки Діївська м. Дніпро і розкрита проблематика зсувів: їх виникнення та розвиток в природних схилах.

В технологічному розділі виконано оцінку стійкості схилів балки Діївська в програмі скінчено-елементного аналізу Scad Soft «ОТКОС». Встановлено умови виникнення зсуву за умов перезволоження ґрунтів та зниження їх міцнісних властивостей. Запропоновано протизсувні заходи у вигляді закріплення схилів деревино-чагарниковою рослинністю.

У розділі «Охорона праці» проаналізовані природні та техногенні фактори, які можуть зумовити виникнення зсувонебезпечності в природних ландшафтах, а також запропоновані протизсувні заходи.

**СХИЛ БАЛКИ, ЗСУВ, КОЕФІЦІЄНТ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ, ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНІСТЬ, ЗЧЕПЛЕННЯ, КУТ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ**

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗСУВІВ В ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТАХ ТА НА ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЯХ	8
1.1 Актуальність проблеми зсувів в Україні	8
1.2 Причини та наслідки виникнення зсувів	11
1.3 Етапи розвитку зсувного процесу	14
1.4 Інженерний захист територій від зсувів	17
1.5 Характеристика зсувонебезпечної балки Діївська м. Дніпро	18
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ СХИЛІВ БАЛКИ ДІЇВСЬКА М. ДНІПРО	22
2.1 Чисельне моделювання зсувонебезпечності схилів методом скінченних елементів	22
2.2 Критерії стійкості та зсувонебезпечності схилів	31
2.3 Моделювання стійкості схилу в програмі SCAD Soft «ОТКОС»	34
2.4 Армуючі властивості кореневих систем рослин як фактор зниження зсувонебезпечності схилів	39
2.5 Аналіз геомеханічної стійкості укошу армованого кореневою системою дерев	44
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ПРИ ЗАПРОВАДЖЕННІ ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ	48
3.1. Загальні вимоги техногенної безпеки та інженерного захисту від зсувів	48
3.2 Заходи щодо інженерного захисту об'єктів від зсувних процесів	52
3.3 Вимоги техногенної безпеки з освоєння зсувонебезпечних територій	60
3.4 Дії цивільного населення у разі виникнення зсуву	60
3.5 Вимоги безпеки при технічній рекультивації зсувонебезпечних ділянок	62

ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТКИ	
Додаток А. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	74
Додаток Б. Відгук зовнішнього рецензента	75
Додаток В. Довідка про результати перевірки тексту кваліфікаційної роботи бакалавра на присутність запозичень (плагіату)	76
Додаток Г. Результати перевірки на плагіат «UNICHECK»	77
Додаток Д. Відгук керівника розділу «Охорона праці» та нормоконтролера	78

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Зсуви - найбільш вірогідне джерело надзвичайних ситуацій (понад 60% загальної їх кількості) серед всіх явищ геологічного походження. Процес катастрофічного зсувоутворення сприяє руйнуванню населених пунктів і промислових об'єктів, залізних і автомобільних доріг, знижує родючість ґрунтів, призводить до деградації цінних сільськогосподарських угідь.

Останнім часом спостерігається активізація зсувних процесів майже у всіх регіонах України. Широке їх розвиток відзначається в Карпатському регіоні, Криму, в Харківській, Полтавській, Дніпропетровській, Київській і Черкаській областях. Зсув гірських порід з руйнуванням будівель і комунікацій реєструється в багатьох населених пунктах: Києві, Чернівцях, Дніпрі, Кам'янському, Маріуполі, Бердянську та ін. Під впливом антропогенного чинника зсуви значно активізувались.

Вивчення зсувонебезпечних територій і механізмів розвитку зсувів є необхідною умовою для прийняття відповідних інженерних рішень і коригування умов забудови на цих територіях, розробки ґрунтовних заходів з їх стабілізації. Ймовірний прогноз виникнення зсувних ситуацій і своєчасне виконання попереджувальних заходів щодо інженерного захисту територій від ЕГП є важливою складовою техногенної та екологічної безпеки населення.

Основними факторами впливу на стійкість природних схилів та техногенних укосів є кліматичні та гідрогеологічні показники території, зокрема кількість атмосферних опадів та рівень водонасичення переважно м'яких суглинистих порід. Аналіз світових тенденцій поширення зсувів за минуле та поточне сторіччя свідчить про тенденцію зростання їх кількості, масштабів та смертності серед цивільного населення через катастрофічні наслідки.

Враховуючи важливість проблеми зсувів в локальному та регіональному контексті, виникає потреба в обґрунтуванні упереджувальних заходів для зниження рівня зсувонебезпеки.

**Об'єктом дослідження** є зсувні процеси в природних схилах балок, як чинники екологічної небезпеки.

**Предметом дослідження** є закономірності оцінювання і прогнозування стійкості та зсувонебезпечності природних схилів та ефективність протизсувних заходів.

**Мета роботи та завдання кваліфікаційної роботи.** Метою роботи є зниження рівня зсувонебезпеки природних схилів балки Діївська м. Дніпро за рахунок їх закріплення кореневими системами деревинно-чагарникової рослинності.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1) виконати теоретичний аналіз поширення зсувів природного та техногенного походження в регіональному та локальному контексті та виявити тенденції екологічної небезпеки зсувних явищ;

2) виявити закономірності зниження стійкості схилів балки Діївська м. Дніпро та виникнення зсувів під впливом природно-кліматичних та техногенних чинників залежно від геометричних параметрів схилу та гідрогеологічних характеристик ґрунту; обґрунтувати протизсувні заходи для закріплення зсувонебезпечних схилів кореневими системами деревинно-чагарникових рослин;

3) проаналізувати природні та техногенні фактори, які можуть зумовити виникнення зсувів в природних ландшафтах чи техногенних об'єктах; а також запропонувати упереджувальні протизсувні заходи.

**Практична цінність** роботи полягає в можливості застосування протизсувних заходів на схилах балки Діївська м. Дніпро для зниження рівня зсувонебезпеки.

## **РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗСУВІВ В ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТАХ ТА НА ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЯХ**

### **1.1 Актуальність проблеми зсувів в Україні**

Одним з найбільш поширених екзогенних геологічних процесів (ЕГП), широка катастрофічна активізація якого відзначається в різних регіонах України, є зсувний процес, розвиток якого завдає суттєвий економічний і соціальний збиток, загрожує життю і здоров'ю населення. Зсуви - найбільш вірогідне джерело надзвичайних ситуацій (понад 60% загального їх кількості) серед всіх явищ геологічного походження. Процес катастрофічного зсувоутворення сприяє руйнуванню населених пунктів і промислових об'єктів, залізних і автомобільних доріг, знижує родючість ґрунтів, призводить до деградації цінних сільськогосподарських угідь [1].

Останнім часом спостерігається активізація зсувних процесів майже у всіх регіонах України. Широкий їх розвиток відзначається в Карпатському регіоні, Криму, в Харківській, Полтавській, Дніпропетровській, Київській і Черкаській областях. Під впливом антропогенного чинника зсуви значно активізувались (табл. 1.1).

Вивчення зсувонебезпечних територій і механізмів розвитку зсувів є необхідною умовою для прийняття відповідних інженерних рішень і коригування умов забудови на цих територіях, розробки обґрунтованих заходів щодо їх стабілізації.

Розвиток господарського комплексу України відбувається в умовах нарощування техногенної дестабілізації геологічного середовища, наслідком якої є подальше збільшення кількості кризових явищ в екологічних системах, в тому числі активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП), практично на всій території держави.



Таблиця 1.1

Загальна характеристика поширення зсувів у межах адміністративних утворень на території України

Назва адміністративної одиниці	Площа адміністративної одиниці, тис. км <sup>2</sup>	Загальна кількість зсувів, шт.	Площа зсувів, км <sup>2</sup>	Кількість активних зсувів, шт.	Площа активних зсувів, км <sup>2</sup>	Кількість зсувів, шт.	Кількість господарських об'єктів, шт
АР Крим	27,0	1 589	58,44	113	7,28	598	905
Вінницька	26,5	339	16,55	-	-	17	23
Дніпропетровська	31,9	382	20,84	8	0,314	164	167
Донецька	26,5	189	9,03	93	4,1	39	66
Закарпатська	12,8	3 276	384,75	14	0,24	8	64
Запорізька	27,2	205	3,6	103	1,943	24	2
Івано-Франківська	13,9	805	301	95	10,8	85	45
Київська	28,9	814	23,75	14	0,47	67	-
Кіровоградська	24,6	140	3,04	12	0,22	18	1
Луганська	26,7	769	6,62	339	4,82	36	20
Львівська	21,8	1 347	292,6	18	0,4	160	28
Миколаївська	24,6	1 149	8,96	99	0,77	51	59
Одеська	33,3	5 836	66,3	478	5,4	156	101
Полтавська	28,8	824	63,9	4	0,0014	116	20
Сумська	23,8	567	7,44	3	0,0001	30	1
Тернопільська	13,8	117	11,74	24	1,15	38	
Харківська	31,4	1 615	40,3	2	0,007	68	1
Херсонська	28,5	33	0,85	18	0,75	12	17
Хмельницька	20,6	421	20,98	1	0,003	38	43
Черкаська	20,9	1 033	33,99	161	4,61	281	2
Чернівецька	8,1	1 468	760,2	151	49,8	570	49
Чернігівська	31,9	9	0,027	1	0,004	1	-
<b>Загалом по Україні</b>	<b>603,7</b>	<b>22 937</b>	<b>2 134,92</b>	<b>1 751</b>	<b>92, 61</b>	<b>2 426</b>	<b>1 614</b>

\* Згідно Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році

Зсуви відрізняються різноманітністю зовнішніх факторів, складністю прогнозування моменту обвалу, неможливістю вірогідної оцінки геометричних характеристик тіла зсуву до його формування [2].

У таких містах, як Дніпро забудова території, витік води з водопровідних комунікацій, розвиток мережі доріг призводить до стрімкого підйому рівня ґрунтових вод і погіршення їх розвантаження. На сьогоднішній день Дніпро - один з найбільш зсувонебезпечних міст в Україні. Місто побудоване на пагорбах з розгалуженою мережею балок і ярів з дуже складними в геологічному відношенні ґрунтами. Третина території міста - це просадочні лесові суглинки. Вони не представляють ніякої небезпеки, коли знаходяться в сухому стані. Але в разі недостатнього дренажу або підтоплення з каналізаційних мереж або зливових колекторів лесові ґрунти насичуються вологою, їх пластичні властивості зростають а опір зрушенню зменшується, що призводить до утворення зсувних ділянок [1, 3].

В кінці 80-х в місті реєстрували 17 зсувних ділянок, зараз їх більше 100. Фахівці б'ють на сполох - 20 таких зон вимагають негайного запровадження протизсувних заходів. В іншому випадку можуть відбутися трагедії не менш масштабні, ніж у червні 1997 року на ж/м Тополя.

Місто побудоване на пагорбах і фактично виткане з мережі 36 балок і ярів з дуже складними в геологічному відношенні ґрунтами. Особливо це стосується правого берега. На рівнинній лівобережної частині м. Дніпро, крім кількох ділянок в Самарському районі, зсувних зон і зрушень ґрунту практично немає.

Серед основних причин виникнення зсувів 40% - неконтрольована забудова і засипка балок. Стихійне звалище побутових відходів і вирубка дерев стали першопричиною просадки ґрунту в Рибальській балці, неподалік від будинку № 19 по Запорізькому шосе. Зсув загрожує не стільки будівлі, скільки гігантським лініях ЛЕП.

На правобережжі Дніпра - 36 балок і ярів. Їх загальна площа становить приблизно 5 тис. гектарів. Тут визначено більше 140 ділянок, де, за оцінками

фахівців, існує загроза зсувів і підтоплень.

Експерти вважають, що проблеми, в першу чергу, обумовлені особливостями самих ґрунтів, численними житловими будівлями, які розміщені на схилах пагорбів і які перевантажують схили, а також підтоплення ґрунтів. У свою чергу ґрунти підтоплюються з багатьох причин: наприклад, в приватному секторі люди викидають в балки сміття, що навесні перешкоджає вільному стоку талої води, а в районі багатоповерхівок неправильно сплановані зливові стоки і каналізації.

Ймовірний прогноз виникнення зсувних ситуацій і своєчасне виконання попереджувальних заходів щодо інженерного захисту територій від ЕГП є важливою складовою техногенної та екологічної безпеки населення.

Розрахунок стійкості природних схилів і техногенних укосів є однією з найважливіших інженерно-геологічних завдань, вирішення якої спрямовано на своєчасне попередження зсувних ситуацій, що виникають внаслідок природних процесів і антропогенної діяльності. Сучасна активізація зсувів, що розвиваються на схилах різного генезису, досить часто пов'язана з розвитком супутніх ерозійних і абразивних процесів, які підсилюють розвиток основних екзогенних геологічних процесів. Серед домінуючих природних факторів активізації необхідно виділити гідрологічні (підняття рівнів і зміна витрати води в поверхневих водотоках, рівня води і хвильової режим морів, озер, інших водойм, ерозійна та абразивна дія поверхневих вод і відповідний підмив і розмив елементів зсувів, метеорологічні (атмосферні опади, температура тощо), гідрогеологічні (хімічний склад, умови харчування і дренажу підземних вод) [4].

## **1.2 Причини та наслідки виникнення зсувів**

Зсуви виникають тоді, коли порушується стійкість схилу внаслідок природних чи техногенних впливів. Сили зв'язності ґрунтів або гірських

порід виявляються в якийсь момент менше, ніж сила тяжіння, вся маса починає рухатися, і може статися катастрофа. Земляні маси можуть зсуватися по схилах з ледь помітною швидкістю (такі зміщення називають повільними, або крипових). В інших випадках швидкість зміщення продуктів вивітрювання виявляється вищою (наприклад, метри на добу).

Оповзання відбувається в пухких слабозцементованих породах внаслідок того, що крутий і високий схил в міру підрізання його річкою, водосховищем, морем втрачає свою стійкість, і значні гірські масиви великими блоками починають зміщуватися вниз по схилу.

Зсувний рух завжди пов'язаний з наявністю ґрунтових вод. Навіть невелика кількість вологи - необхідна умова зсуву. Однак не ґрунтові води служать причиною зсуву ґрунту. Часто трапляється, що крутий схил долин схильний до зсувів, а вище або нижче за течією при тому ж геологічну будову, при такому ж розташуванні водоносних горизонтів і однакової висоті рівня підземних вод ніяких зсувів немає внаслідок того, що схил більш пологий. Зсуви рідко відзначаються на схилах крутизною менше 10-12 градусів. І при ухилі 15 градусів зсуви виникають тільки за сприятливих геологічних і гідрогеологічних умов. Але достатня вологість порід, що забезпечує їх пластичність, завжди є тригерним фактором. Можна стверджувати, що при дотриманні ряду необхідних умов зсуви є функцією крутизни схилу та його висоти [5].

Для виникнення зсувів найбільш сприятливі такі геологічні умови, коли в основі зсувного схилу залягають водотривкі пласти, а вище лежать водоносні породи. Але навіть якщо схил і складний тільки водоносними породами, а водотривкому пласта немає, все одно буде відбуватися розвантаження підземних вод, рівень яких буде плавно знижуватися від міжріччя в сторону долини або берега моря (озера). При достатній крутизні і висоті схилів зсуви неминуче виникнуть.

Зсуви можуть бути викликані дією різних факторів. Земна поверхня складається головним чином з схилів. Деякі з них стійкі, інші в силу різних

умов стають нестійкими. Це відбувається тоді, коли змінюється кут нахилу укосу схилу або якщо схил виявляється обтяжений пухким матеріалом. Тим самим сила тяжіння виявляється більше сили зв'язності ґрунту. Схил стає нестабільним і при струсі. Тому кожний землетрус в умовах гірського рельєфу супроводжується зсувами по схилу. Утворенню зсувів особливо сприяє таке залягання порід, при якому падіння покрівлі водотривких порід збігається з напрямком ухилу поверхні. Водотривкий горизонт при цьому служить поверхнею ковзання, по якій більш-менш значний блок породи зісковзує вниз по схилу. Нестійкості схилу сприяє і підвищення обводнення ґрунтів, пухких відкладень або гірських порід. Вода заповнює пори і порушує зчеплення між частинками ґрунту. Міжпластові води можуть діяти подібно мастилі і полегшувати ковзання. Можливості підключення гірських порід може бути порушена при замерзанні, і в процесах вивітрювання. Нестійкість схилів може бути пов'язана і зі зміною виду насаджень або знищенням рослинного покриву. Для виникнення зсувів найбільш сприятливі такі геологічні умови, коли в основі зсувного схилу залягають водотривкі пласти, а вище лежать водоносні породи. Але навіть якщо схил і складний тільки водоносними породами, а водотривкому пласта немає, все одно буде відбуватися розвантаження підземних вод, рівень яких буде плавно знижуватися від міжрічч в сторону долини або берега моря (озера). При достатній крутизні і висоті схилів зсуви неминуче виникнуть [6].

Зсуви можуть бути викликані дією різних факторів. Земна поверхня складається головним чином з схилів. Деякі з них стійкі, інші в силу різних умов стають нестійкими. Це відбувається тоді, коли змінюється кут нахилу укосу схилу або якщо схил виявляється обтяжений пухким матеріалом. Тим самим сила тяжіння виявляється більше сили зв'язності ґрунту.

Схил стає нестабільним і при струсах. Тому кожний землетрус в умовах гірського рельєфу супроводжується зсувами по схилу. Утворенню зсувів особливо сприяє таке залягання порід, при якому падіння покрівлі водотривких порід збігається з напрямком ухилу поверхні. Водотривкий

горизонт при цьому служить поверхнею ковзання, по якій більш-менш значний блок породи зісковзує вниз по схилу. Нестійкості схилу сприяє і підвищення обводнення ґрунтів, пухких відкладень або гірських порід. Вода заповнює пори і порушує зчеплення між частинками ґрунту. Міжпластові води можуть діяти подібно мастилі і полегшувати ковзання. Можливості підключення гірських порід може бути порушена при замерзанні, і в процесах вивітрювання. Нестійкість схилів може бути пов'язана і зі зміною виду насаджень або знищенням рослинного покриву.

Насправді все серйозно і тоді, коли скельні гірські породи на схилі бувають перекриті пухким матеріалом або ґрунтом. Пухкі відкладення легко відокремлюються від підстилаючих порід, особливо якщо площина ковзання «змазана» водою. Неприятливими є (з точки зору можливості виникнення зсувів) і ті випадки, коли гірські породи представлені пластами міцних вапняків або пісковиків з підстилаючими м'якшими глинистими сланцями. В результаті вивітрювання утворюється площину розділу, і пласти ковзають по схилу. У цьому випадку все залежить головним чином від орієнтування пластів. Коли напрямок їх падіння і нахил паралельні схилу, це завжди небезпечно. Складно точно визначити значення кута укусу, більш якого схил не стійкий, а менш якого стійкий. Іноді такий критичний кут визначають в 25 градусів. Більш круті схили, мабуть, вже не стійкі. На виникнення зсувів найбільший вплив мають дощові опади і струсу. При сильних землетрусах зсуви виникають завжди. Що ж стосується дощових опадів, то це залежить від багатьох умов. Наприклад, в Альпах як критичної межі прийнято кількість опадів вище 2500 мм. Випадання такої кількості опадів в короткий проміжок часу представляє гостру небезпеку [6].

### **1.3 Етапи розвитку зсувного процесу**

За визначенням І.В. Попова [7], зсувом називається зміщення блоків породи, об'ємом в десятки кубічних метрів і більше на крутих схилах в

результаті змочування поверхонь відриву підземними водами. Зсуватися саме блоки породи, що зберігають при цьому (в межах блоків) свою первісну структуру. Зсуватися гірські породи зазвичай пухкі або слабозцементовані. У зсуватися блоці можуть бути окремі прошарки або лінзи з міцних скельних порід. При зсуву порода частково дробиться, перетворюючись в брекчієвидну безструктурну масу. Скупчення зсувних мас біля підніжжя схилів називають деляпсієм.

Розміри зсувів сильно варіюють. Зустрічаються величезні зсуви, захоплюючи сотні тисяч кубометрів породи, і малі зсуви в кілька десятків кубометрів.

Зсуви приурочені до крутих схилів ярів, балок, річкових долин. Вони зустрічаються в горах в області розвитку слабкозцементованих порід. Зсуви поширені на платформних рівнинах, де вони приурочені до берегів річок і морів. Але всюди на рівнинах зсувні схили займають невеликі площі через те, що взагалі круті схили (понад 15 градусів) вузько локалізовані і відсоток території, зайнятої ними до загальних площях рівнини не складає і 1% [8].

При зсуві утворюється певний комплекс форм рельєфу: зсувній цирк, обмежений стінкою зриву зсуву (зсувним уступом), зсувній блок, який характеризується в більшості випадків скидом верхньої площі (зсувна тераса) в сторону зсувного схилу з крутим уступом, зверненим у бік річки, моря або озера у напрямку руху зсуву. Поверхня відриву зсуву має сферичну форму, яка прагне наблизитися до кола. У деяких випадках в результаті деформації поверхневих шарів породи рухомим зсувним блоком виникає напірний зсувній вал. Такі зсуви називають детрузивними на відміну від деляпсивних, вільно зсковзують до урізу річки [9].

Такий типовий зсув зображений на рис. 1.1. Особливу небезпеку такі зсуви створюють на територіях поблизу водних об'єктів, шляхопроводах і гідротехнічних спорудах при погіршенні як кліматичних, так і гідрогеологічних умов.

1 - початкове положення схилу; 2 - непорушений схил;  
3 - зсув; 4 - поверхня ковзання

**Рисунок 1.1 – Схема типового зсуву при зсувах середньої швидкості**

Зсувна ділянка складається із зони відриву, ковзання і фронтальної зони акумуляції (рис. 1.2).

**Рисунок 1.2 – Поздовжній розріз зсуву**

У зоні відриву бувають помітні основна тріщина відриву і площина ковзання, по якій тіло зсуву відокремлюється від підстильної породи. Зсуви призводять до значних матеріальних збитків, однак правильно організована



евакуація запобігає людським жертвам. Небезпечно при цьому виникнення повені, тому що зсув може завалити долини, де зазвичай тече річка [10].

Для виявлення зсувних схилів першорядне значення має вивчення морфології схилів. Поява безладної бугристості в підставі схилу, наявність тріщин, терасовидних уступів, особливо зі зворотним ухилом, свіжих стінок відриву і інших форм, явно чужих звичайному схилу долини або берега озера, вказує на розвиток зсувних явищ. Іноді на зсув вказують і горбисті нагромадження на дні долини. Бувають випадки, коли величезні, слабкорухливі зсувні блоки схилів глибоких і крутосхилих долин, зміщуючись, мало-помалу стискають вузьку долину річки, ледь не перегороджуючи її. Їхній рух відновлюється лише в міру зрізу нагромаджень біля основи зсуву [11].

#### **1.4 Інженерний захист територій від зсувів**

Найбільш дієвим захистом від зсувів є їх попередження. Ідеальним було б взагалі уникати схилових ділянок, однак в наших умовах це не можливо. Тому фахівцями з інженерної геології, механіці ґрунтів та будівельної техніки були розроблені комплексні попереджувальні заходи. Коли оповзання вже почалося, вести превентивні роботи пізно. Щоб уникнути сповзання, не можна допускати: 1) перевантаження верхній частині зсуву; 2) підрізання підстави (річкою, водосховищем, інженерними заходами); 3) додаткове зволоження всього косогору. Відомо, що вода є головною причиною зсуву. Тому першим етапом охоронних робіт повинно з'явитися збирання і відведення поверхневих вод. На зсувонебезпечній ділянці рекомендується вичерпати воду з колодязів. Потім слід осушення за допомогою підземного дренажу. Велике значення має і штучне перетворення рельєфу. У зоні відриву зменшують навантаження на схил, послаблюючи тим самим дію сили тяжіння і підвищуючи сили зчеплення гірських порід. Існує цілий комплекс рекомендованих технічних операцій, як то: анкерного

кріплення схилів, руйнування площин ковзання, ін'єкція зміцнювальних розчинів, фіксація схилів за допомогою паль і будівництво опорних стінок. Важливими є й ступінь готовності, і швидкість дій: на більш пізніх етапах боротьба з зсувними процесами вимагатиме значно більших зусиль.

В Україні зсуви виникають на узбережжі Чорного моря, в Закарпатті і на урбанізованих територіях. Більшість зсувів можна запобігти, регулюючи стоки вод (талих і зливових), водостоки і дренажі, а також проводячи озеленення схилів. Прикладом результатів дії зсуву є трагедія 6 червня 1997 року в м. Дніпропетровську на житловому масиві «Тополя». Раптово земля твердь поглинула дитсадок і 9-поверховий житловий будинок, що стояв біля кромки глибокого яру. Причиною зсуву став підпір ґрунтових вод і порушення нормальної експлуатації систем водовідведення житлового масиву, в результаті чого виник зсув глинистих ґрунтів [12, 13].

Попереджувальними заходами по боротьбі з зсувами, селями і лавинами і іншими природними геологічними катастрофами є контроль за станом схилів, оцінка і прогноз їх довготривалої стійкості, виконання на схилах укріплювальних заходів (забивання паль, лісонасадження, зведення стін, дамб), будівництво дренажних систем і гребель [14, 15].

### **1.5 Характеристика зсувонебезпечної балки Діївська м. Дніпро**

Балка Діївська (Безп'ята, Кринична) м. Дніпро, що знаходиться вздовж житлового масиву Діївка в західній частині Новокодакського району м.Дніпро. Наразі вся територія балки являє собою техноекологічну небезпеку через масштабні зсувні явища, які загрожують знищенням приватним будинкам та дачним ділянкам.

Крім того, на зону геологічних зрушень земної поверхні припадає ділянка залізниці державного значення в районі станції 178 км в районі вул. Геологічної. У геоморфологічному відношенні досліджувана територія розташована в межах вододільного плато правого берега р. Дніпро.

а) загальний план балки (ст. 178 км)      б) глибоке урочище

в) зсувна ділянка поблизу приватної      г) тріщина-закол нового зсуву  
забудови

### **Рисунок 1.3 – Зсувонебезпечні ділянки балки Діївська (м. Дніпро)**

Формування балки проходило внаслідок діяльності тривалих екзогенних процесів неоген-четвертинного віку під впливом клімату, як чинника формування рельєфу. Загальна довжина балки сягає приблизно 3000 м. Балка має субмеридіальний напрямок з півдня на північ, звивисту форму, впадає в долину р. Дніпро, характеризується широкою розгалуженістю, різною крутизною схилів. Загальна глибина урізу балки змінюється від 15 м до 40 м. Верхів'я деяких із них ускладнені яружною мережею, глибина врізання від 3 м до 8 м, ширина від 1 м до 25 м, кут ухилу укосів 30-60°. Довжина ярів від

30 м до 100 м. Ширина відрогів по бровці змінюється в межах 200 - 400 м, глибина врізання – до 25м, довжина – від 300 м до 550 м.

На цей час балка є зсувонебезпечною через низьку стійкість (міцність) лесових ґрунтів, кліматичні особливості місцевості та штучні впливи. Вздовж усієї балки та її відрогів спостерігаються геоморфологічні порушення у вигляді зсувів, поверхневої ерозії та вимоїн. Крім того, зменшується кількість дернового покриву схилів, дно балки засипається відходами металургійного виробництва, а схили – побутовим і будівельним сміттям. Профіль балки змінюється внаслідок підрізки схилів, будівництва гаражів, вібраційних впливів від залізничних доріг та автомагістралей, підтоплення внаслідок підйому рівня підземних вод. Загальна площа зсувних ділянок в балці Діївська може сягати приблизно 45000 м<sup>2</sup> [16].

Лівий схил балки Діївська розташовується на заплаві, частково - на другій терасі р. Дніпра і примикає до лесової четвертій терасі. Протяжність схилу із залізничним полотном 2,1 км. Підставою схилів балки служать четвертинні алювіальні відкладення заплави і Ш-й надзаплавної тераси р. Дніпро, представлені пісками, супісками і суглинками потужністю від 3 до 22 м. Нижче залягають кристалічні породи архей-протерозою (граніти, гнейси). У складі четвертинних відкладень переважають дрібнозернисті піски, прикриті суглинками і супісками, місцями мулистими. В присхильовій частині другої тераси на відмітках основи схилу залягають делювіальні супіщано-суглинні відкладення потужністю до 5 м. У сполученні лівого схилу з тальвегом балки беруть участь лесові ґрунти, представлені супіщаними і суглинними різницями.

Гранулометричний склад глино-піщаних фракцій, що складають схил, характеризується наступними параметрами:

- середній вміст фракцій 0,1-0,25 мм - 68,4%;
- сума фракцій менше 0,1 мм коливається від 0 до 32%, при чому в сумі зазначених фракцій різко переважають дрібнопіщані частки 0,1-0,05 мм;
- вміст пилу і глини на 71%. Питома вага пісків - 2,65 т / м<sup>3</sup>.

Значення коефіцієнта фільтрації коливаються в незначних межах - 7,4-33,6 м /добу при середньому значенні 16 м/добу [17-19].

За даними 38 визначень середнє значення щільності сухого ґрунту склало 1,60 т/м<sup>3</sup> при крайніх значеннях від 1,56 т/м<sup>3</sup> до 1,63 т/м<sup>3</sup>. Невеликі відмінності в мінімальних і максимальних значеннях щільності свідчить про високий ступінь однорідності намиву пісків в поперечному перерізі схилу.

Розрахункові параметри фізико-механічних властивостей ґрунтів в схилі наступні:  $\rho_d = 1,60$  т/м<sup>3</sup>;  $tg\varphi = 0,65$ ;  $C = 0$ .

Для верхньої зони інтенсивно розуцільнених пухких суглинків (зона I) рекомендуються такі розрахункові показники:  $\rho_d = 1,47$  т/м<sup>3</sup>; коефіцієнт пористості (e) - 0,80;  $tg\varphi = 0,45$ ;  $C = 0$ ; E (модуль деформації) - 120х0,3 МПа.

Для пісків середньої щільності з прошарками пухких пісків (зона II) відповідно:  $\rho_d = 1,59$  т/м<sup>3</sup>; коефіцієнт пористості (e) - 0,61;  $tg\varphi = 0,50$ ;  $C = 0$ ; E = 200-300х0,1 МПа.

Зони розуцільнених суглинків I і II залягають вище відм. 16.0 м. Нижче цієї позначки повсюдно залягають суглинки щільні червоно-бурі і середньої щільності (зона III) з наступними параметрами фізико-механічних властивостей:  $\rho_d = 1,67$  т/м<sup>3</sup>; коефіцієнт пористості (e) - 0,59;  $tg\varphi = 0,60$ ;  $C = 0$ ; E = 400х0,1 МПа [19].

Діївська балка є вельми зсувонебезпечною. Тут скупчилися тисячі тон побутового сміття. У 2016 році на вирішення цієї проблеми з міського бюджету було виділено 2 млн. грн, і після чистки русла в балці рівень ґрунтових вод значно знизився [20]. Проте, дослідження розвитку зсувів в цій балці є доцільним.

## РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ СХИЛІВ БАЛКИ ДІВСЬКА М. ДНІПРО

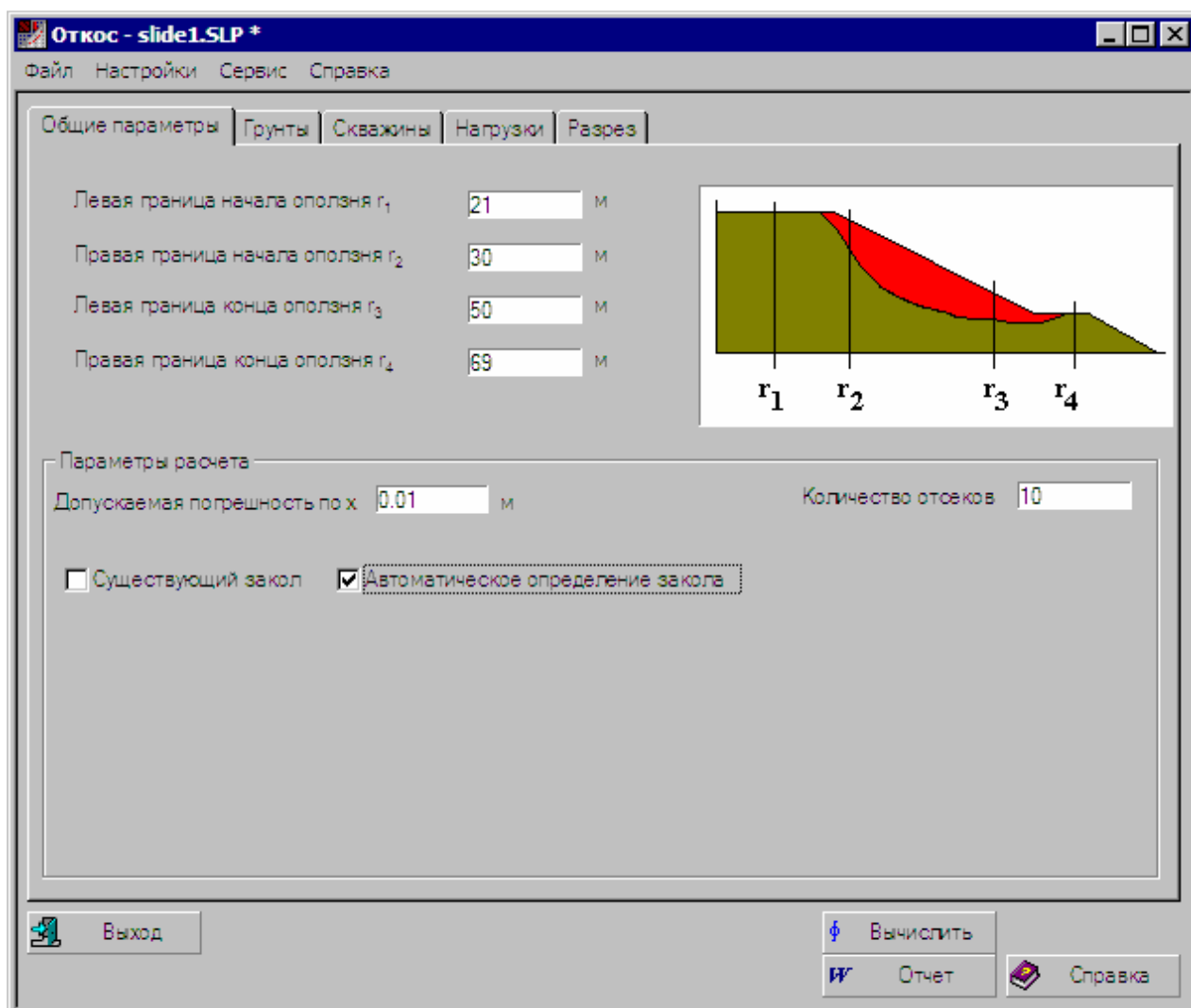
### 2.1 Чисельне моделювання зсувонебезпечності схилів методом скінченних елементів

Розрахунок стійкості укосів (схилів) - одна з найважливіших інженерно-геологічних завдань. Для її рішення розроблені численні методи в рамках теорії граничної рівноваги. Ці методи, як правило, виходять з нижчевикладених передумов. В якості механізму втрати стійкості приймається механізм ковзання масиву, що сповзає відносно нерухомої частини укосу. Межа розділу називається поверхнею ковзання.

Опір зрушенню по поверхні ковзання розраховується для статичних умов. Уздовж всієї поверхні витримується критерій руйнування ґрунту, що приймається у вигляді закону Кулона. Реальне зрушуюче напруження, що отримується розрахунком, зіставляється з граничним опором зсуву, і результат цього порівняння виражається у вигляді коефіцієнта запасу стійкості (КЗС). Для обраної поверхні ковзання КЗС являє собою таке число, що якщо характеристики міцності (кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення) уздовж всієї поверхні зменшені в  $n$  раз, то відокремлюваний масив в цілому виявиться в стані граничної рівноваги. Коефіцієнт запасу стійкості схилу (укосу) - це мінімальний з коефіцієнтів запасу стійкості по всіх можливих поверхнях ковзання, що задовольняє заданим обмеженням.

Реальна поверхня ковзання тримірна. Але в переважній більшості методів розрахунку, в тому числі і в програмі укіс, прийнята передумова про плоскої деформації, коли поверхня ковзання - циліндрична з утворюючими, паралельними поверхні схилу, а завдання зводиться до пошуку критичної направляючої, званої лінією ковзання. Такий підхід заснований на гіпотезі, що неврахування просторовості мало впливає на величину коефіцієнта запасу стійкості і йде в запас міцності [21].

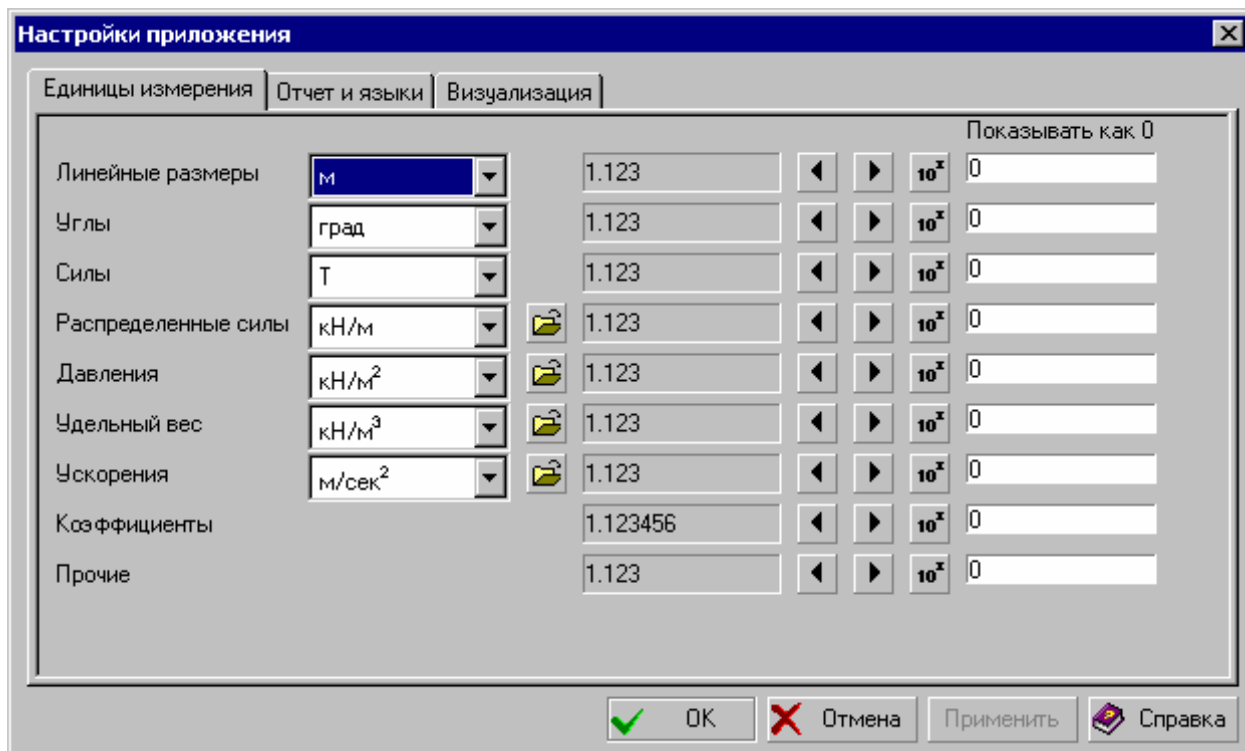
В основі алгоритму розрахунку, реалізованого в програмі укис, лежить методика, запропонована в роботах [22, 23] і заснована на методі змінного ступеня мобілізації опору зрушенню. Програма використовує відому техніку роботи з багатосторінковими вікнами (рис. 2.1). Активізація сторінки відбувається при натисканні, крім того, використовується меню. Вихідні дані готуються на чотирьох сторінках - *Загальні параметри*, *Грунти*, *Свердловини* і *Навантаження*. Контроль вихідних даних з геологічного розрізу схилу, а також графічне відображення результатів розрахунку (поверхні ковзання) виконується на сторінці *Розріз*.



**Рисунок 2.1 – Вкладка *Загальні параметри* програми «ОТКОС»**

Вікно *Налаштування програми* (рис. 2.2) викликається з меню *Налаштування* і містить три сторінки - *Одиниці виміру*, *Звіт та мови*,

## Візуалізація.

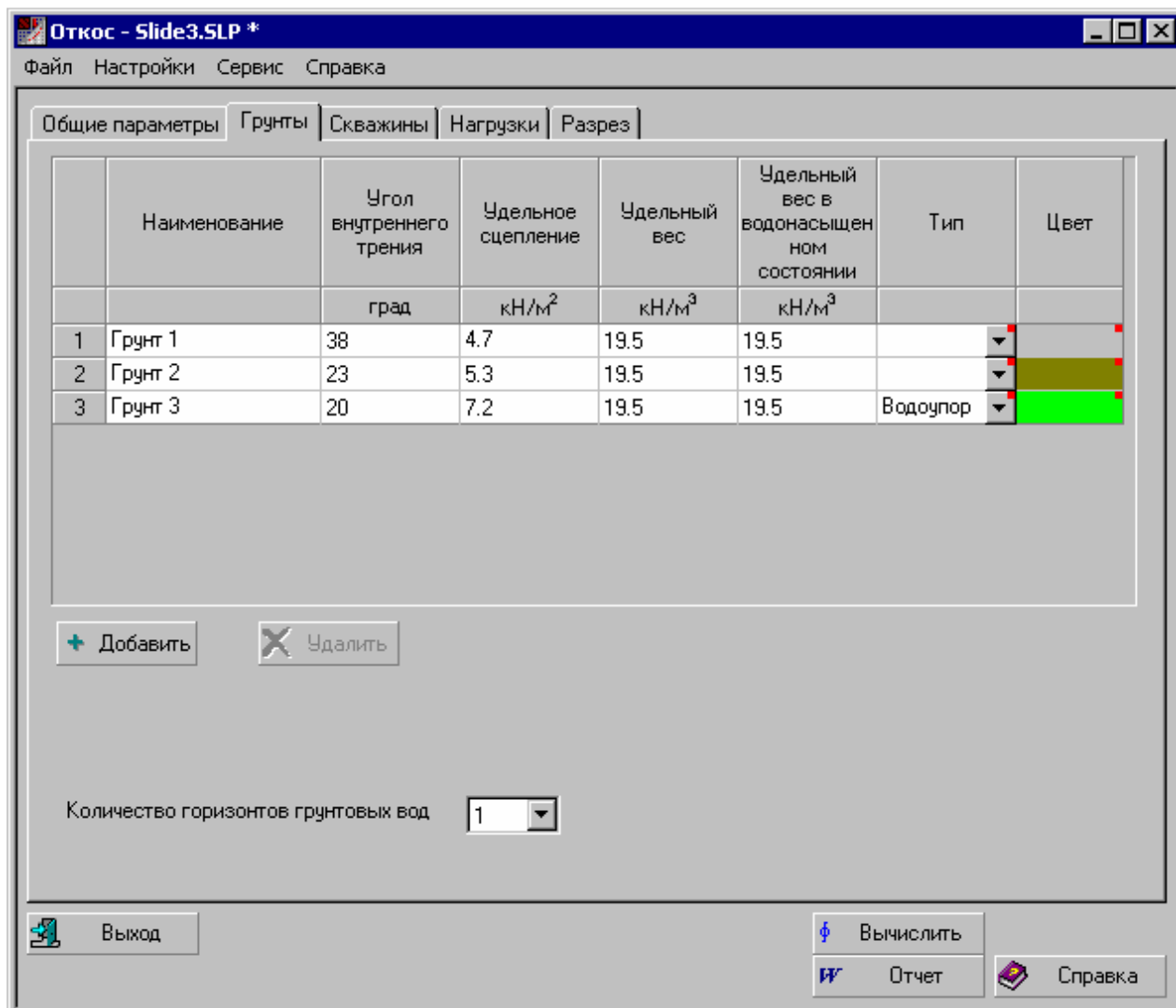


**Рисунок 2.2 – Сторінка *Одиниці виміру* діалогового вікна *Налаштування***

У більшості випадків вихідні дані в програмі задаються в табличному вигляді (рис. 2.3). Загальні правила введення даних в таблиці наступні:

- дані в таблицю вводяться в вигляді десяткових чисел; вид роздільника між цілою і дробовою частиною числа (кома або крапка) залежить від налаштувань середовища Windows;
- в тих випадках, коли кількість рядків в таблиці призначається користувачем, поруч з таблицею встановлені кнопки *Додати* і *Видалити*; перша з них дозволяє ввести новий рядок після зазначеного рядка, а друга - видалити зазначений рядок;
- щоб відзначити одну або кілька послідовних рядків слід встановити курсор на номер першої з них, натиснути ліву кнопку миші і, не відпускаючи її, провести курсор по номерам відзначаються рядків;
- перехід між осередками таблиці виконується натисканням клавіші *Tab* (Табуляція) на клавіатурі.





**Рисунок 2.3 – Приклад таблиці з характеристиками ґрунтів**

Розрахунок стійкості схилу і пошук найбільш вірогідною поверхні ковзання здійснюється при заданих інтервалах його початку і кінця. На цій сторінці задаються розміри зсувної ділянки схилу. У загальному випадку це чотири числа:  $r_1$ ,  $r_2$ , що визначають інтервал зміни допустимих значень абсцис початку зсуву, і аналогічні дані для кінця зсуву -  $r_3$ ,  $r_4$ . Оскільки схил може бути спрямований як зліва направо, так і навпаки, то поняття «початок зсуву» і «кінець зсуву» умовні і можуть помінятися місцями при направленні схилу справа наліво (рис. 2.4). Незалежно від напрямку схилу повинні дотримуватися таких правил значень  $r$ :  $r_4 > r_1$ ,  $r_2 \geq r_1$ ,  $r_4 \geq r_3$ .

Напрямок схилу визначається характеристиками свердловин (задаються на сторінці *Свердловини*).

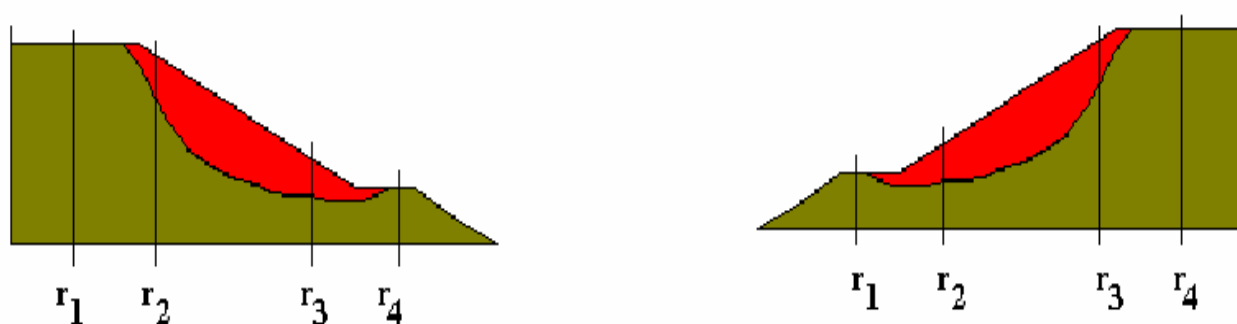


Рисунок 2.4 – Профіль схилу

Крім розмірів зсувної ділянки на сторінці Загальні дані задаються параметри розрахунку, які включають такі дані:

- допустима похибка по  $X$  – точність визначення відміток поверхні ковзання;

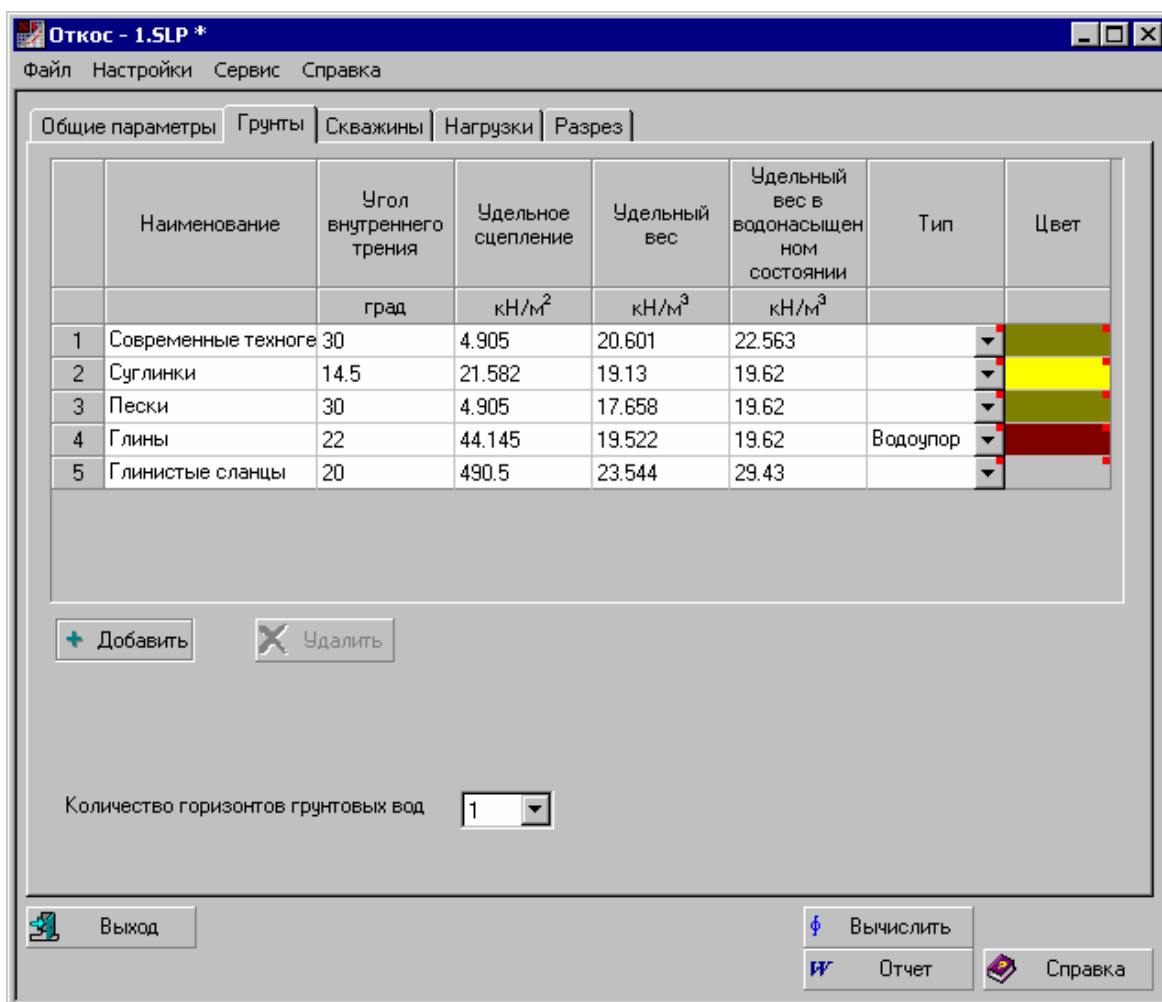
- наявність заколювання – маркер, який вказує на наявність заколювання біля кордону початку зсуву. Якщо цей маркер активний, то слід активізувати маркер, який вказує, де знаходиться межа початку зсуву (заколи зліва - схил зліва направо, заколи справа - схил справа наліво). Глибина заколювання задається в поле введення *Величина заколювання*. Відзначимо, що закіл повинен бути розташований на початку зсуву (в більш високій точці лінії ковзання). Програма не контролює правильність завдання положення заколювання (альтернатива закіл зліва / справа).

- автоматичне визначення заколювання - маркер, який вказує, що при аналізі слід враховувати можливість утворення (або розвитку, при зведеному маркері *Наявність заколювання*) вертикальної тріщини в верхній частині лінії ковзання.

На сторінці *Грунти* (рис. 2.5) задаються параметри ґрунтів. Порядок завдання ґрунтів не має значення. Для вирішення завдання необхідні наступні дані про ґрунти (вказані прийняті за замовчуванням одиниці виміру): кут внутрішнього тертя (градуси); питоме зчеплення ( $t/m^2$ ); питома вага сухого ґрунту ( $t/m^3$ ); питома вага ґрунту в насиченому стані ( $t/m^3$ ).

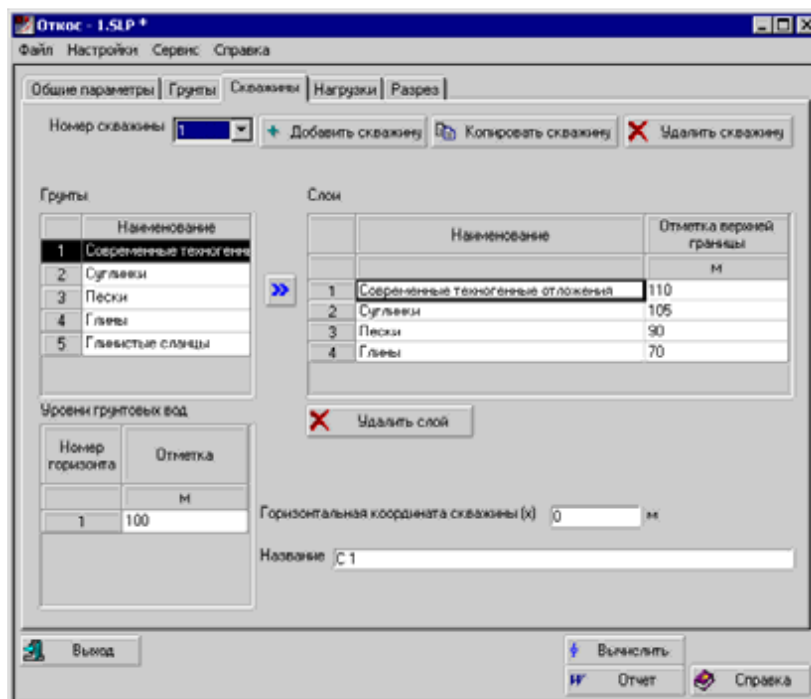
Крім того, для водотривких ґрунтів в графі *Тип* зі списку вибирається

відповідна ознака. Кожному виду ґрунту може бути призначений колір, що полегшує контроль структури ґрунтового масиву на сторінці *Розріз*. Кількість горизонтів ґрунтових вод (від 0 до 3) призначається шляхом вибору відповідного числа з однойменного списку. Рівень кожного горизонту задається на сторінці *Свердловини*.



**Рисунок 2.5 – Вкладка *Грунты***

Сторінка *Свердловини*. Геологічний розріз досліджуваного схилу задається шляхом опису свердловин на однойменній сторінці (рис. 2.6). Саме позначки верхньої межі перших шарів ґрунту визначають напрямок схилу і його ухил. Відмітки можуть бути задані в будь-якій системі координат, єдиної для всіх свердловин.



**Рисунок 2.6 – Сторінка Свердловини**

Для завдання параметрів свердловин виконуються наступні дії:

- натиснути кнопку *Додати* свердловину (в списку *Номер свердловини* з'явиться її поточний номер);
- в таблиці *Грунти* вибрати рядок з найменуванням верхнього шару ґрунту поточної свердловини і натисканням кнопки *Далі* перенести його в таблицю *Шари*;
- повторити цю операцію для кожного ґрунту поточної свердловини в порядку їх слідування від поверхні;
- задати позначки верхньої межі шару для кожного ґрунту;
- якщо кількість горизонтів ґрунтових вод не дорівнює нулю, то задати в таблиці *Рівні ґрунтових вод* позначку рівня (м) для кожного горизонту;
- вказати горизонтальну координату свердловини щодо початку системи координат зсувного схилу (горизонтальні координати свердловин не повинні збігатися);
- задати найменування свердловини (це ім'я відображається на розрізі схилу і в таблиці опису свердловин *Звіт*);
- повернутися до першої позиції списку дій і повторити всі описані дії

для кожної наступної свердловини.

Порядок опису свердловин не має значення, тому що враховується прив'язка кожної свердловини по осі X.

Сторінка *Навантаження*. На цій сторінці (рис. 2.7) задаються навантаження (напір), що діють на певну ділянку схилу.

Навантаження апроксимуються кусочно-лінійними функціями координати  $x$ , і для зручності опису прив'язуються до свердловин. Розглядаються розподілені навантаження, спрямовані вертикально і / або по дотичній до схилу в верхній точці зазначених свердловин. За замовчуванням значення навантаження зліва і праворуч від кожної свердловини дорівнюють нулю.

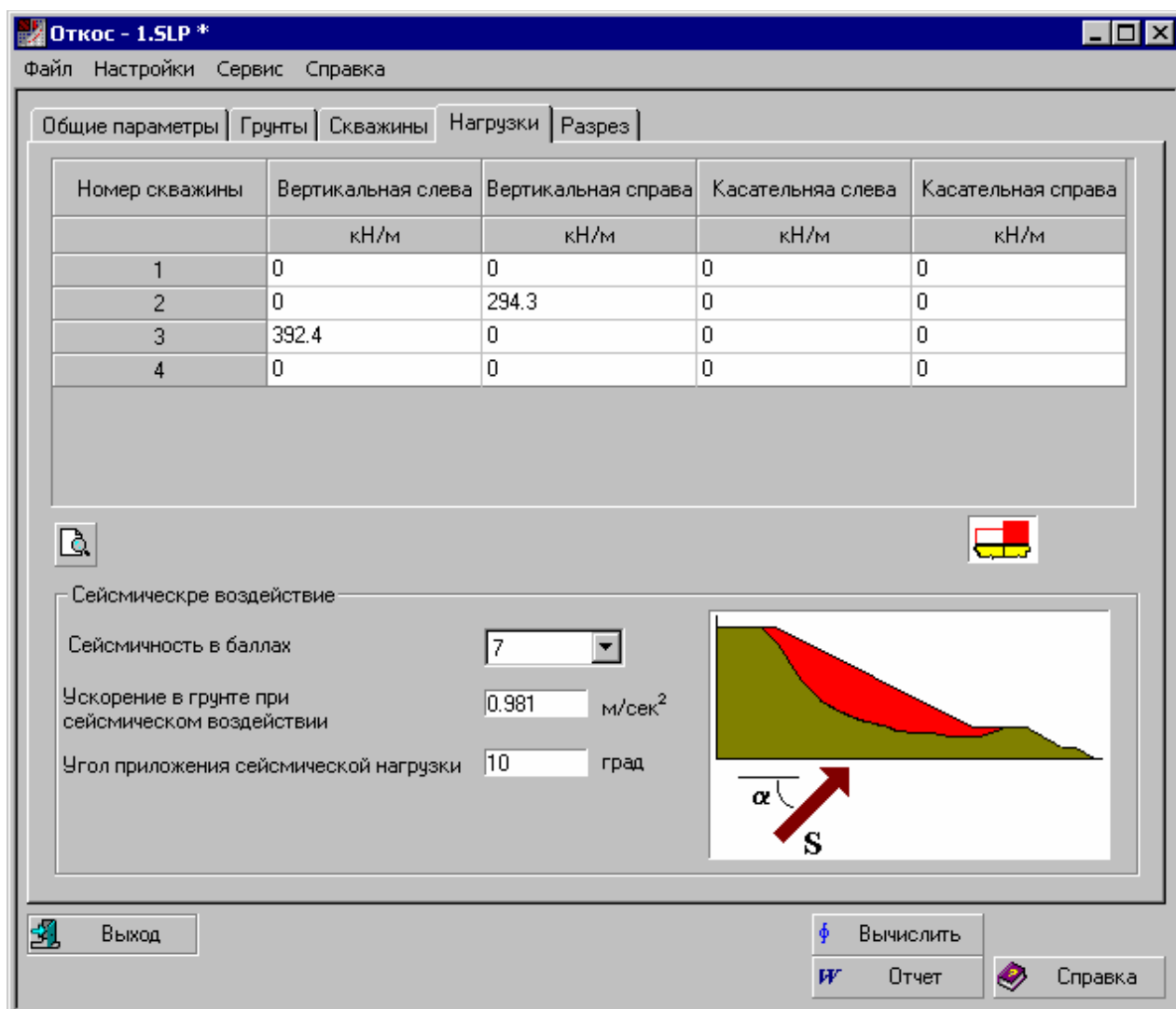
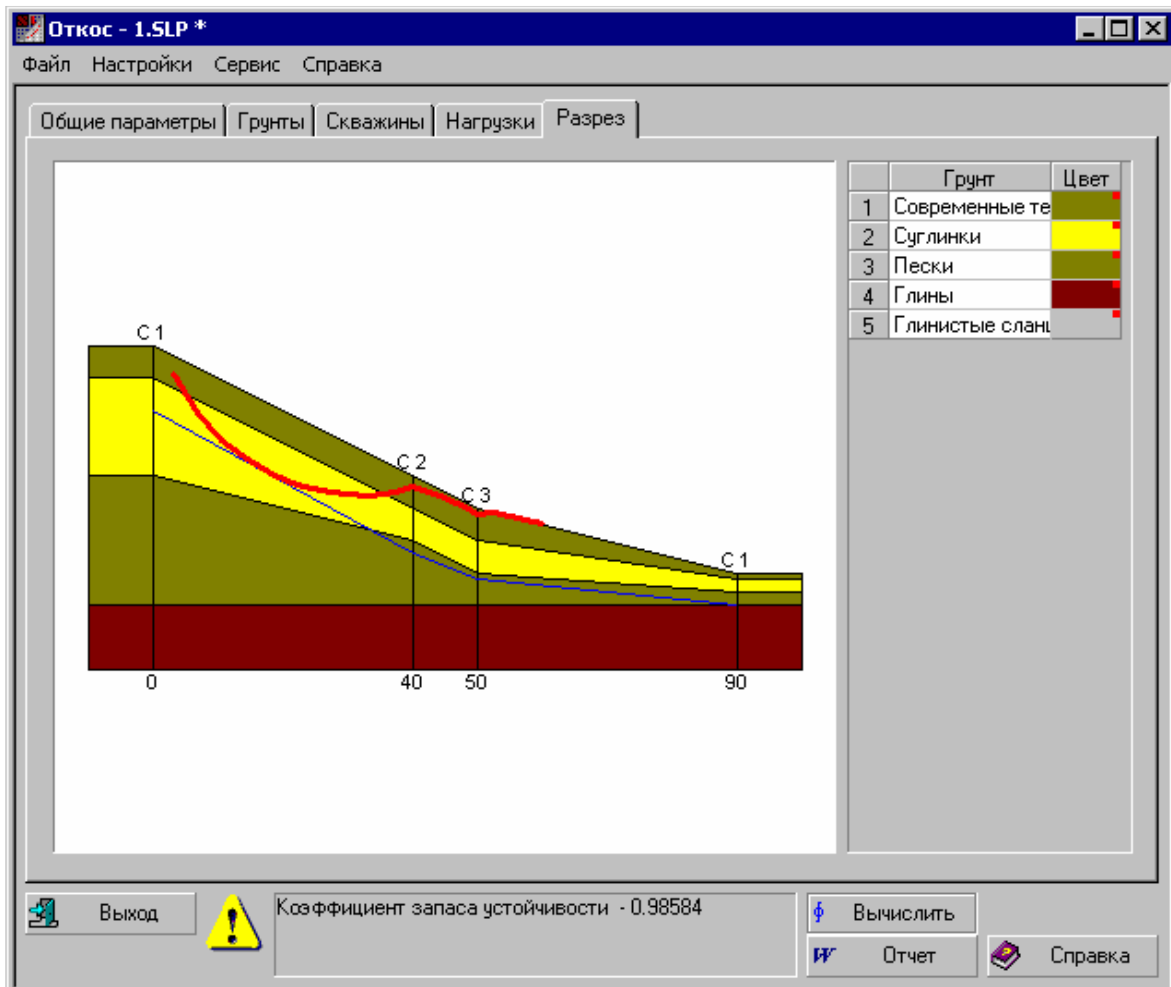


Рисунок 2.7 – Сторінка *Навантаження*

Таким чином, якщо необхідно задати деяку розподілену навантаження, що діє на ділянці схилу між двома сусідніми свердловинами, слід вказати, від якої свердловини вона починається і на якій свердловині закінчується. Контроль заданих навантажень виконується у вікні *Діаграма навантажень*, яке викликається натисканням кнопки *Перегляд епюри навантажень*.

Розрахунок і відображення результатів розрахунку. Обчислення коефіцієнта запасу стійкості виконується після натискання кнопки *Обчислити*. Розрахунок включає два кроки - уточнення початкового наближення а також обчислення коефіцієнта запасу і побудова поверхні ковзання. Поверхня ковзання виводиться на розрізі схилу на сторінці *Розріз* (рис. 2.8).



**Рисунок 2.8 – Сторінка *Розріз* з відображенням поверхні ковзання**

При розрахунку коефіцієнта запасу стійкості з урахуванням сейсмічного впливу необхідно вибрати зі списку значення сейсмічності

майданчика в балах, а також задати прискорення в ґрунті при сейсмічній дії (якщо його значення відрізняється від стандартного) і кут додатку сейсмічного навантаження. Якщо необхідно повторити розрахунок без урахування сейсміки досить задати рівними нулю (обнулити) один з параметрів, наприклад, прискорення в ґрунті. Облік сейсмічного навантаження проводиться в припущенні, що весь ґрунтовий масив рухається синхронно з прискоренням, яке задано, а напрямок вектора прискорення відповідає заданому куті додатка сейсмічного навантаження. При цьому виникають об'ємні інерційні сили рівні твору питомої ваги на прискорення, які враховуються в розрахунку.

За результатами розрахунку може бути сформований звіт [21, 23].

## 2.2 Критерії стійкості та зсувонебезпечності схилів

Для вирішення проблеми стійкості природних схилів розроблені численні методи в рамках теорії граничної рівноваги. В якості алгоритму втрати стійкості приймається механізм ковзання масиву, який зсувається відносно нерухомої частини схилу по поверхні ковзання. При цьому, опір зрушенню по поверхні ковзання розраховується для статичних умов. Опис всій поверхні ковзання описується критерієм руйнування ґрунту у вигляді закону Кулона-Мора:

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.1)$$

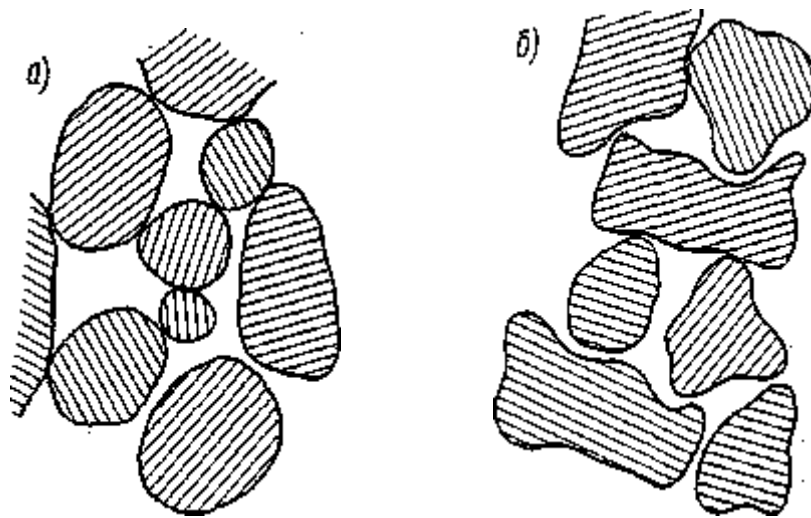
де  $\tau$  - дотичне напруження,  $\sigma_n$  - нормальна напруження,  $C$  - зчеплення ґрунту,  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя.

*Зчеплення ґрунту (C)* – це один із параметрів, від якого залежить міцність ґрунту при його руйнуванні чи зрушенні. Його обчислюють за формулою співвідношенням вертикального та дотичного напруження або визначають графічно. Вимірюється зчеплення в кілопаскалях (кПа). Питоме зчеплення ґрунту характеризує зчеплення між частинками ґрунту і характеризує залежність опору ґрунту зрізу від вертикального тиску, що

визначається як відрізок, що відсікається цією прямою на осі ординат (рис. 2.9).

*Кут внутрішнього тертя* ( $\varphi$ ) – це відношення вертикальної або нормальної напруги до горизонтального (дотичного). Їхня спільна дія провокує зміщення частинок ґрунту відносно один одного. Кут внутрішнього тертя  $\varphi^\circ$  характеризує тертя між частинками ґрунту і більшою мірою залежить від величини вертикального тиску на ґрунт.

Структурні зв'язки між частинками ґрунту обумовлюють міцнісні властивості ґрунту, а саме зчеплення і кут внутрішнього тертя. Так, порівняно з зернами круглої форми зерна неправильної ребристої форми мають більший контакт, що і визначає більше значення зчеплення і кута внутрішнього тертя в масиві ґрунту (рис. 2.9).



*a* – округлі зерна; *б* – ребристі зерна

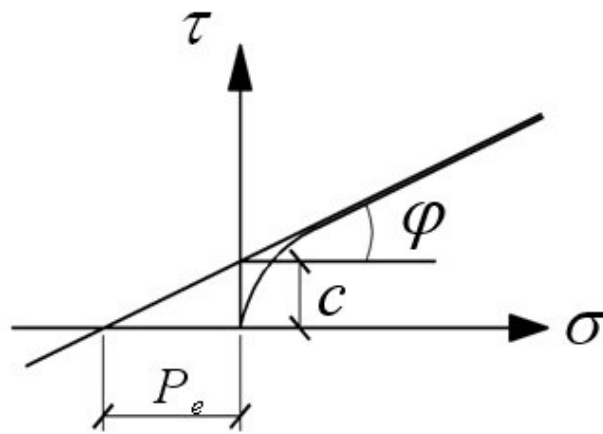
**Рисунок 2.9 – Структурні зв'язки між частинками ґрунту**

Умова міцності Кулона може застосовуватися, коли мова йде про ґрунтах або сипучих породах, а огинаюча граничних кіл Мора навіть при випробуваннях піску має криволінійну форму (рис. 2.10).

Критерій Мора-Кулона [24] передбачає, що обвалення відбувається уздовж площини і може бути виражений в основних напруженнях як

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{2C \cos \varphi}{\sigma_3 (1 - \sin \varphi)} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (2.2)$$





**Рисунок 2.10 – Криволінійна огинаюча граничних кіл Мора на графіку співвідношення вертикального ( $\sigma$ ) та дотичного напруження ( $\tau$ )**

В даний час для моделювання стійкості природних і техногенних укосів широко використовуються різноманітні програмні продукти з інтегрованими модулями, що дозволяють виконувати розрахунки методами кінцевих елементів, граничних елементів, дискретних елементів, кінцевих різниць і ін. В даній роботі в якості інструменту моделювання стійкості укосів і бортів кар'єрів використана спеціалізована програма кінцево-елементного аналізу «укіс». Програма дозволяє виконувати аналіз стійкості укосів методом кінцевих елементів, аналізуючи процес зниження межі міцності на зрушення (*Shear Strength Reduction Method*) в породному масиві.

Функція зниження міцності на зрушення (*Shear Strength Reduction*) дозволяє автоматично виконувати кінцево-елементний аналіз і обчислювати критичний коефіцієнт зниження міцності КЗМ (*SRF, Strength Reduction Factor*) для обраної моделі, який за своїм змістом є еквівалентним коефіцієнтом запасу стійкості укосу [25].

Алгоритм розрахунку коефіцієнта стійкості масиву включає ітераційне обчислення міцності у всіх елементах масиву за допомогою поетапного навантаження моделі, в результаті чого напруги на схилі досягають межі міцності на зрушення і виникає зрушення порід (зсув). Процес обчислень КЗС повторюється до моменту втрати укосом стійкого стану і графічно

виражається у вигляді найбільш вірогідною лінії ковзання, по якій відбувається зрушення масиву. Якщо  $K3C > 1$ , то укіс знаходиться в стійкому стані, а при  $K3C < 1$  виникають зсувні процеси [26].

В основі алгоритму розрахунку, реалізованого в програмі «ОТКОС» версії 1.5 компанії SCAD Soft, лежить методика, запропонована в роботах В.Г. Федоровського і С. Курило [22, 23]. Крім того, в програмі реалізовано кілька класичних методів аналізу стійкості укосів: Фелленіуса, Бішопа (спрощена), Спенсера, Корпусу інженерів (метод № 1), Лоув Карафайт, Янбу (спрощена) і Янбу (коректований). Опис цих стандартних методів наведені в більшості книг, присвячених проблемі стійкості природних схилів і техногенних укосів [27-32].

### **2.3 Моделювання стійкості схилу в програмі SCAD Soft «ОТКОС»**

Стійкість техногенних укосів обумовлена геометричними параметрами, міцністю порід, що вміщують, тріщинуватістю і шаруватістю масиву, положенням площин тріщин, гідрологічним режимом ґрунтових вод та іншими факторами [33].

Підземні води – одна з основних причин виникнення зсувних та інших видів деформацій укосів; їх вплив зводиться до зміни механічних властивостей порід, зміни напруженого стану порід поблизу укосу і, нарешті, розвитку процесів механічного виносу і знесення (так звані фільтраційні деформації) [34].

Тому оцінка стійкості укосів і гребель гідротехнічних споруд з використанням сучасних методів чисельного моделювання є важливою інженерним завданням.

Вплив підземних і поверхневих вод на міцність водонасичених глинистих порід гідротехнічних споруд проявляється в основному в процесі їх набухання. В глинах, що володіють зчепленням зміцнення, ці процеси розвиваються лише, коли сила набухання перевищує міцність жорстких

структурних зв'язків, обумовлених цементують сполуками.

Глинисті породи, за складом відповідають супісках і легким суглинках, піддаються інтенсивному набухання лише поблизу самої поверхні фільтруючих укосів внаслідок малих розмірів максимальної напруги набубнявлення. Процес набухання таких порід на поверхні укосів зазвичай завершується повною втратою ними, зв'язності, і перетворенням в текучий стан, що призводить до опливання набряклих порід шарами в 15-20 см навіть при пологах кутах укосів (18-20°).

Набухання глинистих порід посилюється при наближенні дотичних напружень до граничних величин. Збільшення обсягу порід в області максимальних деформацій зсуву підсилює процес всмоктування води і набухання порід [35, 36].

Напрямок схилу і його геометричний профіль задається набором свердловин, які визначають границі і фізико-механічні властивості кожного інженерно-геологічного шару. У програмі «ОТКОС» є можливість задавати горизонти ґрунтових вод (від 0 до 3), враховувати зовнішні навантаження і сейсмічні впливи [32].

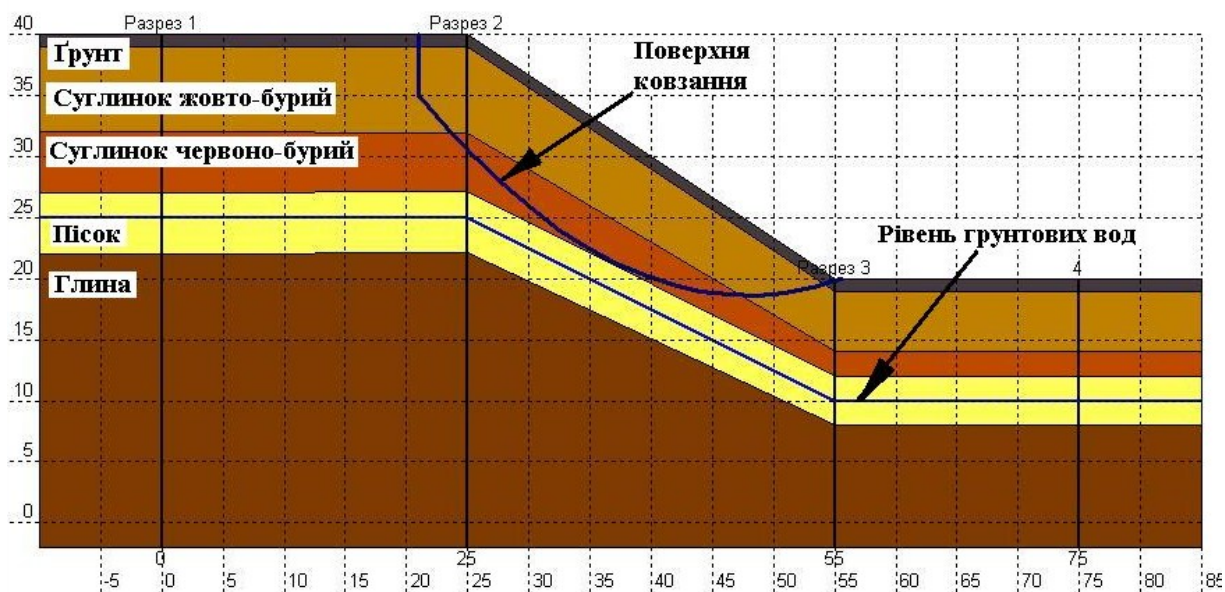
Для визначення стійкості схилу Діївської балки за обраним профілем в програмі SCAD Soft «Откос» побудовано геометричний профіль укосу та задано відповідні фізико-механічні властивості ґрунтів, що складають схил (табл. 2.1).

В результаті обчислення стійкості схилу без урахування водонасичення ґрунтів отримано значення КЗС за методами Федоровського-Курило (1,671), Фелленіуса (1,656), Бішопа (1,761) та Спенсера (1,764). На рис. 2.11 зображено результати моделювання стійкості схилу за розрахунковим методом Федоровського-Курило. Крива ковзання має круглоциліндричний профіль з висотою відриву  $H_{90} = 5$  м та виходом у нижній частині схилу на рівні підосви уступу. Результати моделювання за іншими методами дають аналогічну круглоциліндричну поверхню ковзання з вертикальною зоною відриву.

Таблиця 2.1

## Фізико-механічні властивості інженерно-геологічних шарів

Назва інженерно-геологічних шарів	Кут внутрішнього тертя $\varphi$ , град	Питоме зчеплення $C$ , кПа	Питома вага $P$ , кН/м <sup>3</sup>	Питома вага у водонасиченому стані $P_v$ , кН/м <sup>3</sup>
Ґрунт	24	26,4	16,2	17,7
Суглинок жовто-бурий	28	38,5	17,8	18,9
Суглинок червоно-бурий	24	35,2	18,3	19,8
Пісок	30	10,0	22,7	24,3
Глина	15	750,0	21,0	22,2



**Рисунок 2.11 – Моделювання стійкості схилу за розрахунковим методом Федоровського-Курило ( $K_{ЗС}=1,671$ )**

За вихідними умовами схил з усередненим кутом нахилу  $\alpha = 30^\circ$  знаходиться в стійкому стані. Але погіршення гідрологічного режиму території, зокрема підйом ґрунтових вод, може привести до активізації зсувних процесів. Використовуючи залежності фізико-механічних властивостей суглинків від їх водонасичення [37], можна визначити коефіцієнт запасу стійкості для зсувних схилів з урахуванням їх обводнення за наступними рівняннями:

$$\varphi = -0,06W_0^2 + 0,12W_0 + 39,86, \quad (2.3)$$

$$C = 0,07W_0^2 - 3,87W_0 + 58,78, \quad (2.4)$$

де  $\varphi$  - кут внутрішнього тертя, град,  $C$  - зчеплення ґрунту, кПа.

У табл. 2.2 наведені значення зчеплення і кута внутрішнього тертя ґрунтів в залежності від вологонасичення. Використовуючи отримані результати розрахунків фізико-механічних властивостей ґрунтів, обчислюємо відповідні значення КЗС для водонасиченого ґрунтового масиву.

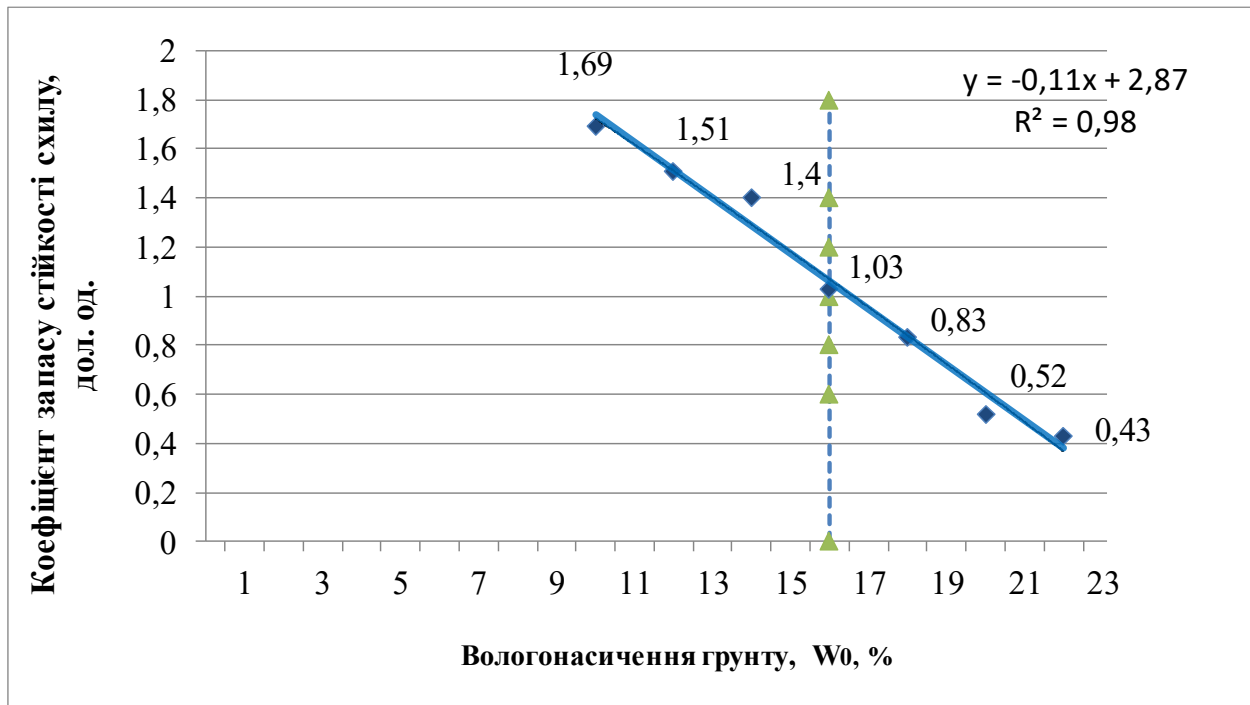
Таблиця 2.2

Залежність фізико-механічних властивостей ґрунтів від вологонасичення

Вологонасичення ґрунту $W$ , %	Зчеплення $C$ , кПа	Кут внутрішнього тертя $\varphi$ , град.
10	27,08	35,06
12	22,42	32,66
14	18,32	29,78
16	14,78	26,42
18	11,8	22,58
21	8,38	15,92

На рис. 2.12 представлено результати стійкості схилу за умов водонасичення у діапазоні  $W = 10 \dots 21$  %.

За умов критичних значень вологонасичення  $W = 16$  %, КЗС = 1,0, що відповідає стадії руйнування схилу. Тому для забезпечення стійкості схилу вологість порід не повинна перевищувати отриманих значень. Залежності, отримані за методами Фелленіуса, Спенсера та Бішопа мають лінійний вигляд, при чому останні два практично співпадають за значеннями. Поліномна крива, отримана за методом Федоровського-Курило, відрізняється від вищезазначених лінійних залежностей лише до значень  $W = 14$  %, але при подальшому зростанні вологонасичення ґрунту значення КЗС практично співпадають.



**Рисунок 2.12 – Залежність КЗС від вологонасичення ґрунтового схилу**

Таким чином, активна господарська діяльність на досліджуваній території, відсутність належних інженерних та екологічних заходів захисту спричиняє активне поширення зсувних ділянок, що створює загрозу безпеці життєдіяльності населення, інфраструктурі та території в цілому.

Враховуючи геоморфологічні особливості об'єкта, згідно ДБН В.1.1-3-97 [38] необхідно здійснювати ефективні інженерні заходи щодо захисту схилу від зсувів.

Розрахунки КЗС для схилів балки Діївська м. Дніпро при різному вологонасиченні лесових ґрунтів в програмному середовищі SCAD Soft «Откос» показало, що за умов вологонасичення лесових ґрунтів  $W=16\%$ ,  $KЗС=1,0$ , що відповідає стадії руйнування схилу. Враховуючи геоморфологічні особливості об'єкта, згідно з ДБН В.1.1-3-97 [38] необхідно здійснювати ефективні інженерні заходи щодо захисту від зсувних процесів.

Результати досліджень дозволили сформулювати наступне наукове положення: Коефіцієнт запасу стійкості укосу  $\eta$ , що складається з лесових ґрунтів, залежить від вологонасичення ґрунтового масиву ( $W$ ), а критичне

значення, при якому відбувається зсув  $W=16\%$ , що дозволяє прогнозувати зсувонебезпеку природних схилів та штучних укосів.

#### **2.4. Армуючі властивості корневих систем рослин як фактор зниження зсувонебезпечності схилів**

Наявність деревино-чагарникової рослинності на схилах є важливим протиерозійним і протизсувним заходом, завершальним етапом біологічної рекультивації порушених земель, що забезпечує їх стійкість, як в геотехнічному, так і в екологічному контексті. При класичній оцінці стійкості схилів наявність або відсутність деревної рослинності в розрахунках зазвичай не використовується.

Посадка дерев на схилах розглядається як захід, що забезпечує додатковий «запас стійкості». Кореневі системи дерев і чагарників на схилах проявляють властивості своєрідних фітоанкерів, що обумовлюють додаткові утримуючі сили при зсувних процесах. Величини цих сил залежать від розмірів і конфігурації зони поширення коренів, від густоти їх розподілу в ґрунті, від їх середньої міцності.

Значною мірою саме завдяки армуючій дії коренів деревино-чагарникової рослинності схил утримується від обвалення в процесі розвитку зсувних процесів. Тому посадка дерев на зсувонебезпечних ділянках розглядається як захисний агролісомеліоративний захід.

Особливе значення ці заходи мають в практиці біологічної рекультивації порушених земель при відкритій і підземній розробці родовищ корисних копалин для створення стійкого рослинного покриву на схилах породних відвалів і неробочих бортах кар'єрів.

Іноді деревні породи на схилах можуть, навпаки, сприяти інтенсифікації зсувних процесів, що обумовлено значним надземним вагою дерев, підвищеною парусністю їх крон, здатністю коренів до утворення глибоких

тріщин в ґрунті, підняттям підземних вод до поверхні і зволоженню ґрунтів за рахунок всмоктуючої дії коренів.

Метою технологічного розділу роботи є оцінка армуючих властивостей корневих систем деревино-чагарникової рослинності на схилах з використанням програми скінчено-елементного аналізу Phase2 для обґрунтування протизсувних заходів.

У запропонованій геомеханічній моделі схилу (укоосу) кореневі системи дерев і чагарників представлені у вигляді своєрідних анкерів (фітоанкерів) морфологічно подібних до натурних об'єктів.

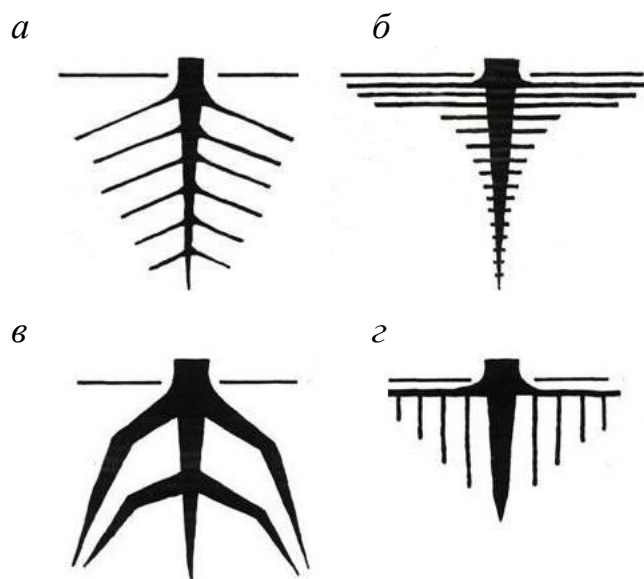
*Лісотехнічна рекультивация.* Біологічний етап рекультивациі включає комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів спрямованих на створення стійкого рослинного покриву на поверхні техногенних масивів порід. Світова практика показує, що завдання відновлення земель в значній мірі вирішуються за допомогою проведення фіторекультивациі техногенних ландшафтів, так як встановлення стійких рослинних угруповань (фітоценозів) визначає стабільність і продуктивність техноекосистеми в цілому [39]. Дерева і чагарники з потужною кореневою системою, здатною глибоко проникати в породний субстрат, є найкращим вибором для потреб лісотехнічної рекультивациі. За допомогою таких видів можна ефективно закріплювати схили техногенних насипних масивів і перешкоджати ерозійним процесів на схилах бортів кар'єрів і породних відвалів.

Ключовим завданням успішної рекультивациі є створення стійких фітоценозів здатних не тільки існувати, але й виступати в якості сили, що прискорює природне відновлення порушених земель. Так, наприклад, повна фіторекультивациі неробочого борта на одному з найбільших буровугільних розрізів «Хамбах» (Рейн-Вестфальський буровугільний басейн, Німеччина) забезпечило не тільки захист від масштабних зсувних явищ, а також створило передумови для відновлення природного середовища.

*Анкерні властивості корневих систем рослин.* Різні види деревно-чагарникової рослинності мають специфічні кореневі системи та



відрізняються морфологічною неоднорідністю [40]. На рис. 2.13 представлені найбільш типові кореневі системи деревино-чагарникової рослинності за класифікацією П.К. Красильникова.



**Рисунок 2.13 – Типи первинних корневих систем дерев і чагарників  
(По П.К. Красильникову, 1970)**

Стрижневі інтенсивно розгалужені або стрижневі-пальчаста системи, представлені багатьма представниками роду дуб, мають стрижневий корінь, який галузиться майже на всьому протязі, а бічні корені розташовані по ньому більш-менш рівномірно (рис. 2.13, а). Поверхнево-стрижнева система характеризується добре розвиненими стрижневим і бічними корінням (рис. 2.13, б), причому останні розташовуються в поверхневому горизонті ґрунту (ялиця сибірська, сосна звичайна на середневлажних і глибоких ґрунтах). Дзвоноподібних-стрижнева система (рис. 2.13, в) відрізняється наявністю вираженого стрижневого кореня, а основні бічні коріння дугоподібною форми спочатку ростуть пологопохила, а потім Крутопохилий (липа широколиста, ряд представників роду ільмових). Поверхнево-стрижневі-якірна або поверхнево-стрижневі-гребенчатая система (рис. 2.13, г) відрізняється від поверхнево-стрижневий добре вираженими якірними коренями, розташованими поблизу стрижневого кореня (модрина сибірська, сосна звичайна).

Глибина проникнення коренів залежить від породи дерева, його віку, ґрунтових характеристик. Виділяють породи дерев з «поверхневим укоріненням» – до 0,6 м (ялина звичайна і ін.), з неглибоким проникненням коренів – 0,6...1,5 м (береза повисла, береза бородавчаста, липа великолиста, ялиця біла та ін.), середнім проникненням коренів – 1,5...3,0 м (тополя, клен гостролистий, горіх волоський, бук європейський, каштан їстівний і ін.), з глибоким проникненням – 3,0...5,0 м (сосна звичайна, ялина сибірська і ін.) і дуже глибоким – понад 5 м (дуб звичайний, клен, явір) [41, 42]. Ці глибини можуть змінюватися в досить широких межах залежно від віку, ґрунтових умов. У більшості порід максимальна глибина проникнення коренів досягається у віці 25...40 років, після чого вона майже не збільшується.

У дослідженнях стійкості схилів з рослинністю [43], опір шару ґрунту зрушенню в межах ґрунтово-кореневого шару визначався у вигляді інтегрального показника питомого зчеплення, визначеного стандартним методом при інженерно-геологічних вишукуваннях (без урахування коренів), і додатковою частиною питомого зчеплення, що визначався в залежності від насиченості цього шару корінням.

В роботі [44] показано, що екзогенні геологічні процеси майже відсутні в укосах з ухилом до  $40^\circ$  і покритті рослинністю більше 70%. Залежно від густоти фітоценозу, в кореневій зоні формується характерна фітоанкерна структура, що зв'язує ґрунт в єдиний моноліт та додає стійкості схилу. В даному випадку термін «стійкість» має відношення не до всього схилу, а до незначної його частини, поширену на глибину проникнення коренів рослин.

*Чисельне моделювання стійкості схилу з деревинною рослинністю.* Розглянемо однорідний укіс з довільно обраним кутом нахилу  $\alpha = 37^\circ$ , що складається з лесових суглинків (рис. 2.14). Для ґрунту прийняті наступні фізико-механічні властивості: модуль деформації  $E = 20$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,35$ , об'ємна вага ґрунту  $\gamma = 0,017$  МН/м<sup>3</sup>, межа міцності на розтяг  $\sigma_p = 0,040$  МПа, зчеплення  $C = 0,040$  МПа, кут внутрішнього тертя  $\varphi = 24^\circ$  [45].

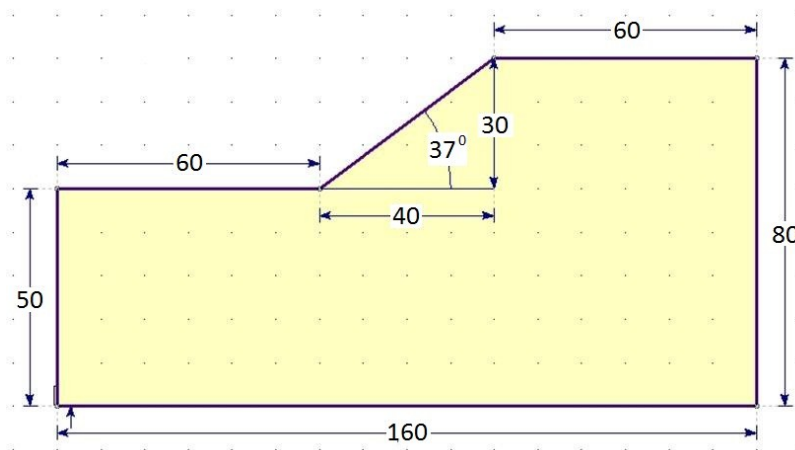


Рисунок 2.14 – Геометричні параметри гіпотетичного укосу

Згідно з результатами розрахунків укіс знаходиться в гранично стійкому стані, а КЗС = 1,14. Дві зони максимальних зсувних деформацій у верхній частині укосу ( $e_{\max} = 0,015$ ) і на рівні нижньої бровки ( $e_{\max} = 0,042$ ) ідентифікують потенційну поверхню ковзання (рис. 2.15, а). Загальні зміщення порід варіюють в діапазоні  $U_{x-y} = 0,131...0,225$  м (рис. 2.15, б).

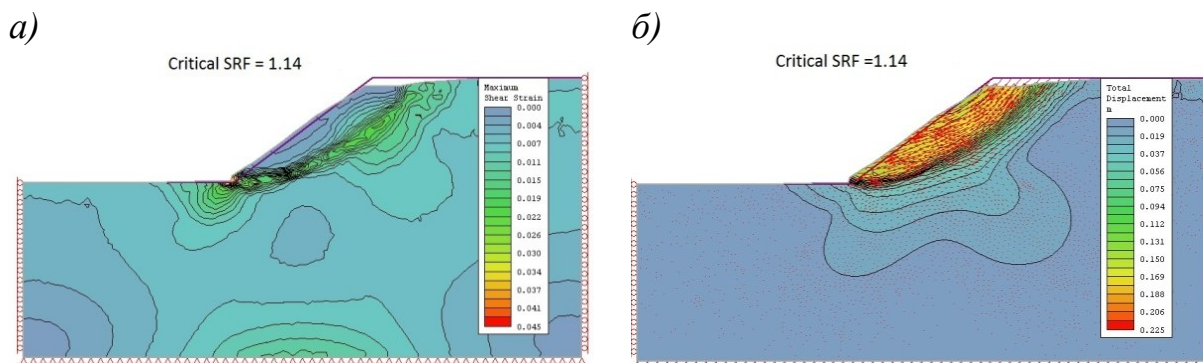


Рисунок 2.15 – Максимальні зсувні деформації (а) і зміщення (б) в схилі

Оскільки геометричні параметри мають першорядне значення при оцінці стійкості укосів, були виконані розрахунки КЗС при різних кутах нахилу укосу в діапазоні  $\alpha = 30...70^\circ$  і висотах уступу  $h = 15...40$  м з урахуванням фізико-механічних характеристик породного масиву. При цьому, обвалення укосу (КЗС = 1,0) виникає при наступних геометричних параметрах:  $H_3 = 25$  м і  $\alpha = 65^\circ$ ,  $H_4 = 30$  м і  $\alpha = 55^\circ$ ,  $H_5 = 35$  м і  $\alpha = 50^\circ$ ,  $H_6 = 40$  м і  $\alpha = 45^\circ$ . В цілому, при заданих геометричних параметрах і фізико-механічних характеристиках стійкість укосу забезпечується при  $\alpha \leq 40^\circ$ .

## 2.5 Аналіз геомеханічної стійкості укосу армованого кореневою системою дерев

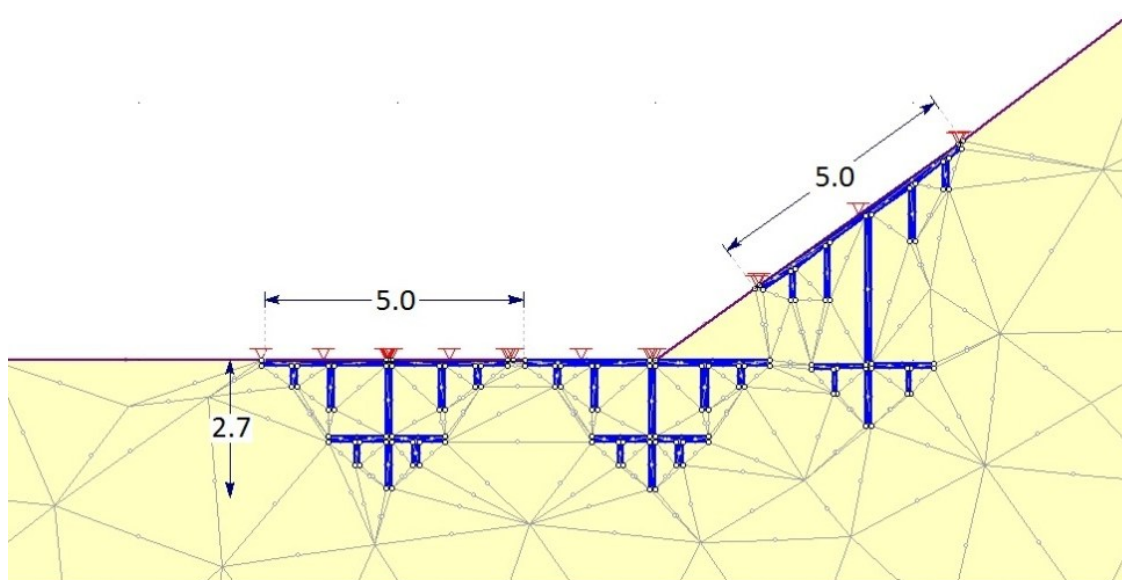
Геомеханічна оцінка впливу корневих систем на стійкість земної поверхні носить міждисциплінарний характер, так як знаходиться на стику біологічних і геотехнічних наук.

Розглянемо тепер описаний вище схил за умови наявності на його поверхні деревино-чагарникової рослинності. З огляду на результати чисельного моделювання, представлених на рис. 2.15, очевидно, що зони максимальних деформацій знаходяться в межах нижньої бровки укосу. Беручи до уваги деякі побоювання щодо зниження стійкості схилів з урахуванням ваги дерев, парусності їх крон, меншою приживлюваністю рослинних угруповань у верхній частині схилу, виникає припущення про доцільність здійснення часткової фіторекультивациі схилу в межах нижньої його частини.

В гіпотетичній моделі укосу з урахуванням армуючих властивостей корневих систем дерев приймається схема посадки дерев в три ряди: середній ряд – біля основи нижньої бровки укосу, а два інших ряду – на відстані  $l = 4...5$  м від середнього ряду (рис. 2.16). При цьому, один ряд дерев слід висаджувати безпосередньо на схилі. У моделі приймається середня відстань горизонтального поширення коренів до 5 м.

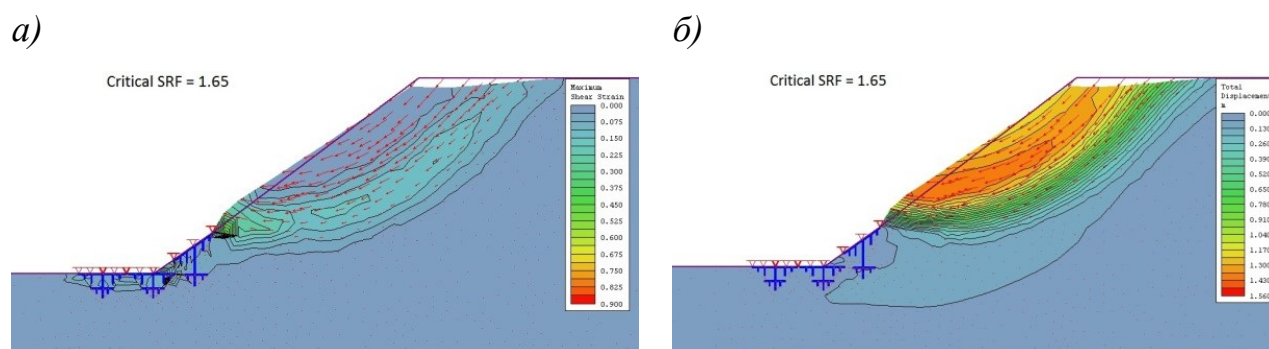
Враховуючи потенційне розташування поверхні ковзання масиву порід поблизу нижньої бровки укосу, доцільно виконати геомеханічну оцінку армуючих властивостей корневих систем деревино-чагарникових рослин на схилі в програмі Phase2. Для урахування армуючих властивостей коренів дерев у нижній частині укосу задається складна форма гіпотетичного фітоанкера наближену морфологічно до корневих систем деревної рослинності [46].

Параметри складного фітоанкера наступні: нормальна жорсткість – 100000 кПа/м; жорсткість на зсув – 10000 кПа/м.



**Рисунок 2.16 – Геометричні параметри і розташування корневих систем деревної рослинності (гіпотетичних фітоанкерів) на схилі**

Графічне зображення максимальних деформацій і зсувів на схилі з урахуванням армуючих властивостей коренів дерев на схилі, представлено на рис. 2.17.



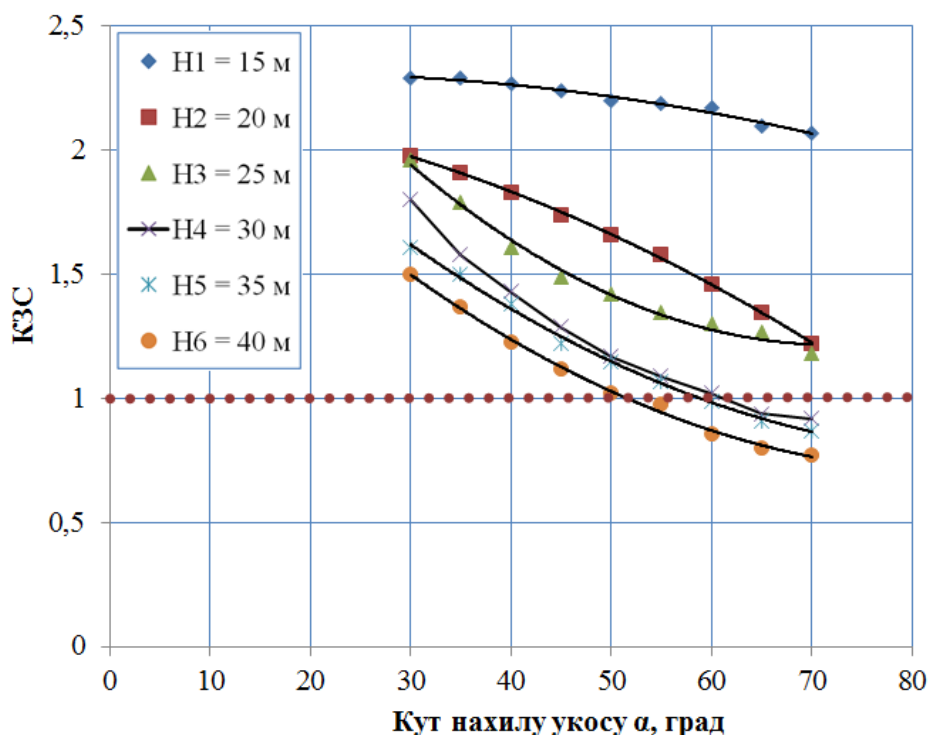
**Рисунок 2.17. Графічне зображення максимальних деформацій (а) і зміщень (б) на схилі з урахуванням армуючих властивостей коренів**

Згідно з результатами розрахунків стійкість укусу, закріпленого деревинною рослинністю, збільшилася на 44,7% ( $K_{ЗС} = 1,65$ ) в порівнянні з незакріпленим. Круглоциліндрична поверхня ковзання є менш вираженою, а нижня її частина виходить поблизу верхнього фітоанкера, де максимальні

зсувні деформації збільшилися на порядок, і досягають значень  $e_{\max} = 0,450$ . Друга зона зсувних деформацій ( $e_{\max} = 0,150$ ) спостерігається на рівні нижньої бровки між верхнім і центральним фітоанкером (рис. 2.17, а).

Загальні зміщення порід збільшилися в 2 рази і варіюють в діапазоні  $U_{x-y} = 0,65 \dots 1,43$  м (рис. 2.17, б). Зміщення порід біля фітоанкерів практично відсутні.

Результати розрахунків КЗС для закріпленого укосу, представлені на рис. 2.18, свідчать, що стійкість укосу з кутами нахилу в діапазоні  $\alpha = 30 \dots 70^\circ$  збільшується: при  $H_1 = 15$  м,  $\Delta KЗС = 5,0 \dots 51,1\%$ ;  $H_2 = 20$  м,  $\Delta KЗС = 6,5 \dots 16,2\%$ ;  $H_3 = 25$  м,  $\Delta KЗС = 17,4 \dots 22,9\%$ ;  $H_4 = 30$  м,  $\Delta KЗС = 7,4 \dots 16,1\%$ ;  $H_5 = 35$  м,  $\Delta KЗС = 12,6 \dots 20,8\%$ ;  $H_6 = 40$  м,  $\Delta KЗС = 9,7 \dots 16,7\%$ . При цьому, явище обвалення укосу ( $KЗС = 1,0$ ) виникає при наступних геометричних параметрах:  $H_4 = 30$  м і  $\alpha = 62^\circ$ ,  $H_5 = 35$  м і  $\alpha = 60^\circ$ ,  $H_6 = 40$  м і  $\alpha = 52^\circ$ .



**Рисунок 2.18 – КЗС схилу з урахуванням фітоанкерів**

Отримані результати геомеханічної оцінки армуючих властивостей корневих систем на зсувонебезпечних схилах свідчать про достатню ефективність рекультивації природних схилів і техногенних укосів за умови

правильного вибору видів деревної рослинності і способу їх висадки на схилі.

Встановлено, що стійкість укосу, закріпленого деревною рослинністю в нижній частині, збільшується на 5,0...51,1% в порівнянні з незакріпленим схилом та залежить як від геометричних параметрів, так і від фізико-механічних властивостей ґрунту. В цілому, при заданих геометричних параметрах і фізико-механічних характеристиках стійкість укосу з фітоанкерами забезпечується при  $\alpha \leq 52^\circ$ , що на 16% більше ніж без закріплення [46].

Закріплення зсувонебезпечних схилів особливо при крутих кутах нахилу за допомогою дерев і чагарників є найбільш екологічним способом захисту поверхні від ерозії, тому що при цьому створюються зелені насадження, які виконують фітомеліоративні функції.

Результати досліджень армуючих властивостей корневих систем на зсувонебезпечних схилах дозволили сформулювати наступний висновок: Стійкість природних схилів та штучних укосів з кутами нахилу в діапазоні  $\alpha = 30^\circ \dots 70^\circ$  та довжиною  $l_s$  збільшується на 5...51% за умови його закріплення вздовж нижньої бровки та вгору по схилу на відстань  $0,1 \dots 0,2 l_s$  кореневою системою деревинної рослинності (фітоанкери), що дозволяє розробляти ефективні заходи інженерного захисту схилів від зсувів.

## ВИСНОВКИ

Станом на 2020 р. на території України зафіксовано близько 23 тис. зсувів та їх кількість постійно зростає. Сприятливі умови для активізації зсувів склались в межах забудованих міських територій Вінницької, Дніпропетровської, Донецької, Закарпатської, Івано-Франківської, Київської, Луганської, Одеської, Харківської, Чернівецької та інших областей.

В кваліфікаційній роботі розкрита актуальність проблеми зсувів і запропоновані заходи зі зниження зсувонебезпечності балки.

В теоретичному розділі виконана характеристика балки Діївська м. Дніпро і розкрита проблематика зсувів: їх виникнення та розвиток в природних схилах.

В технологічному розділі виконано оцінку стійкості схилів балки Діївська в програмі скінчено-елементного аналізу Scad Soft «ОТКОС». Визначено коефіцієнти запасу стійкості для схилів балки з урахуванням геологічного профілю за допомогою програм SCAD Soft «ОТКОС» та Phase2 компанії Rocscience. Виконано оцінку впливу вологонасичення ґрунтового масиву на стійкість схилу для прогнозу зсувних ситуацій. Встановлено, що при вологонасичення лесових ґрунтів  $W = 16\%$ , коефіцієнт запасу стійкості дорівнює 1,0 що відповідає стадії ініціації зсувних процесів на схилах. Запропоновано протизсувні заходи у вигляді закріплення схилів деревино-чагарниковою рослинністю.

У розділі «Охорона праці» проаналізовані природні та техногенні фактори, які можуть зумовити виникнення зсувонебезпеки в природних ландшафтах, а також запропоновані протизсувні заходи.

Здійснення рекультиваційних робіт на схилах призведе до мінімізації техногенної небезпеки і ліквідації соціально-екологічних наслідків, викликаних екзогенними геологічними процесами.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2011.html>. – К: Міністерство надзвичайних ситуацій України, 2012. – 218 с.
2. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов территории Украины (инженерно-геологические аспекты) [Текст] - К.: Наук, думка, 1992. - 256 с.
3. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы); в 2 т. [Текст] / Под ред. Г.И. Рудько, В.А. Осюка. - Черновцы; Букрек, 2012. - Т. 1. - 592 с.
4. Вакарчук С.Г. Геологія, літологія і фації карбонівих відкладів візейського ярусу центральної частини Дніпровсько-Донецької западини у зв'язку з нафтогазоносністю [Текст]. - Чернігів: Центр наук.-техн. і економ, інформації, 2003. - 162 с.
5. Великий Г.Г. Типы оползней Левобережья Среднего Приднепровья [Текст] / Материалы Харьков отд. геогр. об-ва Украины. Вып. 5. - М.: Недра, 1968. - С. 135-141.
6. Виленкин В.Л. О некоторых направлениях развития современного овражно-оползневого рельефа Левобережной Украины [Текст] / Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. - М.; Л., 1946. - № 1. - С. 26-34.
7. Попов И.В. Принципы естественной классификации оползней [Текст] // Докл. АН СССР. - 1946. - 54, № 2. - С. 157-159.
8. Рудько Г.І. Екологічний моніторинг геологічного середовища [Текст] / Г.І. Рудько, О.М. Адаменко. - Львів: Вид-во Львівського ун-ту, 2001.– 260 с.
9. Великий Г.Г. Влияние погребенных оползней на устойчивость железнодорожного полотна [Текст] / Вестн. Харьков, ун-та № 173. - Харьков: Вища шк., 1978. - С. 56-59.

10. Волков Н.Г. Локальные морфоструктуры Днепровско-Донецкой впадины [Текст]. - К.: Наук, думка, 1977. - 154 с.
11. Глебчук Г. С. Дослідження впливу щільності гідрографічної мережі та територіального підтоплення на динаміку розвитку зсувів у Харківській області [Текст] / Екологія і ресурси. - 2005. - Вип. 1. - С. 87-91.
12. Демчишин М.Г. Лессовый покров территории Украины в сфере техногенеза [Текст] / М.Г. Демчишин, В.Ф. Краев, Т.С. Саенко - К.: ИГН НАН Украины, 1991. - 54 с.
13. Доценко Н.Ф. Оползневые деформации вдоль проектируемой трассы канала Днепр-Донбасс [Текст] / Доценко Н.Ф., Панфилов В.К. – Вестн. Харьков, ун-та. № 173. – Харьков: Вища шк., 1978.-С. 59-61.
14. Емельянова Е.П. О методах прогноза оползневых явлений [Текст] / Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии // Труды ВСЕГИНГЕО. Сб. 16. - М.: Госгеолиздат, 1959. – С. 61-79.
15. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов [Текст]. - М.: Недра, 1972. - 310 с.
16. Ковров О.С., Колесник В.Є. Прогнозна оцінка зсувонебезпеки в регіонах України та на локальних територіях яружно-балочної мережі [Текст]/ Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – 2018. – № 1(20), Т.1. – С. 32–38.
17. Краев В.Ф. Инженерно-геологическая характеристика платформенной части Украины [Текст] / В.Ф. Краев, Б.Г. Еськив, М.Г. Демчишин и др. – К.: Наук, думка, 1982. – 163 с.
18. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 р. [Текст] - К.: МНС України, 2007. - 236 с.
19. Краев В.Ф. Инженерно-геологическая характеристика пород лессовой формации Украины [Текст]. - К.: Наук, думка, 1971. - 204 с.
20. Луцник А.В. Спостереження в системі моніторингу за екзогенними геологічними процесами на території України і станом навколишнього природного середовища промислово-міських агломерацій [Текст] / А.В.

- Лущик, О.С. Романюк, Є.О. Яковлев // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2007. - № 1.-С. 3-11.
21. Перельмутер М.А. Руководство пользователя к программе «Откос» [Текст] / М.А. Перельмутер, В.Г. Федоровский // Анализ устойчивости откосов и склонов. – Версия 1.5. – М: SCAD Soft, 2007. – 15 с.
22. Федоровский В.Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов [Текст] / М.А. Перельмутер, В.Г. Федоровский // Геоэкология, 1997, №6. – С. 95-106.
23. Федоровский В.Г. Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов [Текст] / М.А. Перельмутер, В.Г. Федоровский // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1998, № 4-5, 18-22.
24. Шашенко О.М. Деформованість та міцність масивів гірських порід [Текст] / Шашенко О.М., Сдвижкова О.О., Гапєєв С.М.; Монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. – 224 с. – рос. мовою.
25. Шашенко А.Н. Механика горных пород [Текст]: Учебник для ВУЗов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко – К.: Новый друк, 2004. – 400 с.
26. Шашенко А.Н. Механика грунтов [Текст]: Учебный пособие / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Н.В. Хозяйкина. – К.: Новый друк, 2008. – 128 с. іл.
27. Шустер Р. Оползни. Исследование и укрепление [Текст] / Р. Шустер, Р. Кризек. – М.: Мир, 1981. – 368 с.
28. Кукал З. Природные катастрофы [Текст]. - М.: Знание, 1985г. – 330 с.
29. Мироненко В. А. Основы гидрогеомеханики [Текст] / В. А. Мироненко, В. М. Шестаков.- М.: «Недра», 1974. – 296 с.
30. Гальперин А.М. Техногенные массивы и охрана окружающей среды [Текст] / А.М. Гальперин, В. Фёрстер, Х.Ю. Шеф. – М.: Изд-во МГГУ, 1997.
31. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров отвалов [Текст]. – М.: Недра,

1965. – 378 с.
32. Маслов К.Н., Котов М.Ф., Зиюхина Н.В. Задачник по механике грунтов с подробными решениями [Текст] / К.Н. Маслов, М.Ф. Котов, Н.В.Зиюхина - М.: Высшая школа, 1963. – 312с.
33. Коломенский Н.В. Специальная инженерная геология [Текст]. – М.: Недра, 1969. – 36 с.
34. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека [Текст]. - М.: Недра, 1978. - 187 с.
35. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика [Текст]. – М.: Недра, 1977. – 480 с.
36. Сергеев М.Е. Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды [Текст]. - М.: Наука, 1981. - 240 с.
37. Деревягина Н. И. Исследование влияния физического состояния лессовых грунтов на их механические свойства в условиях объемно-напряженного состояния [Текст] / Матер. VII межд. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «География, геоэкология, геология: опыт научных исследований». – Днепропетровск: ІМА-прес, 2010. – Вып. 7. – С.72–74.
38. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Основные положения [Текст]: ДБН В.1.1-3-97. – К.: Госстрой Украины, 1998. – 41 с.
39. Ковров А.С. Экосистемный подход при лесотехнической рекультивации техногенных ландшафтов // Зб. наук. праць Національного гірничого університету, 2013. – № 40. – С. 194–203.  
<http://znp.nmu.org.ua/pdf/2013/40.pdf>.
40. Красильников П.К. Классификация корневых систем деревьев и кустарников // Лесоведение. – 1970. – № 3. – С.35–44.
41. Калинин М.И. Корневедение. – М.: Экология, 1991. –173 с.
42. Рыжков И.Б., Мустафин Р.Ф., Арсланов А.А. Влияние корневой системы

- древесной растительности на устойчивость склонов // Вестник МГСУ №1/2011, Т. 1. – М: МГСУ. 2010. – С. 210-214.
43. Арсланов А.А., Рыжков И.Б., Мустафин Р.Ф. Расчет устойчивости склонов при наличии древесно-кустарниковой растительности / Российский электронный научный журнал. Режим доступа: <http://journal.bsau.ru/directions/06-00-00-agricultural-sciences/315/>.
44. Автономов А.Н. Комплексная оценка биологической устойчивости экзогенных склоновых экологических систем / Вопросы современной науки и практики. Университет им В. И. Вернадского. – №4 (48). 2013. Тамбов, С. 30–33.
45. Ковров А.С. Моделирование устойчивости борта карьера методом конечных элементов / А.С. Ковров // Форум гірників–2010: Матеріали міжнар. конф. 21–23 жовт. 2010 р.: доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – Т.2. – С. 94–102.
46. Ракишев Б.Р. Геомеханическая оценка армирующих свойств корневых систем древесной растительности на склонах и техногенных откосах / Б.Р. Ракишев, А.С. Ковров, В.В. Федотов / Журнал «Разработка месторождений полезных ископаемых». Днепропетровск: Национальный горный университет. 2015. С. 355–362. <https://doi.org/10.15407/mining09.03.355>.
47. СНиП 2.01.15-90 Инженерная защита территорий зданий и сооружений от опасных геологических процес сов [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 67с.
48. ДБН В.1.1-3-97 Защита от опасных геологических процессов. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Основные положения [Текст]. – К.: Государственные строительные нормы Украины, 1997. – 76 с.
49. Инструкция Главного управления Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям в Днепропетровской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dp.mns.gov.ua/news/818.html>.

50. Бекаревич Н.Е. Рекультивация земель [Текст] / Сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДСХИ, 1987. – 187 с.
51. Моторина Л.В. Экологические основы рекультивации земель [Текст] / Л.В. Моторина, А.М. Савич. – М.: Наука, 1985. – 183 с.