

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**КОВРОВ ОЛЕКСАНДР СТАНІСЛАВОВИЧ**

**УДК 624.131:504.06**

**УПРАВЛІННЯ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНІСТЮ ПРИРОДНИХ СХИЛІВ  
ТА ТЕХНОГЕННИХ УКОСІВ З НЕОДНОРІДНОЮ СТРУКТУРОЮ  
В МІНЛИВИХ ГЕОКЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ**

**Спеціальності: 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничча механіка»**

**21.06.01 – «Екологічна безпека»**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук**

**Дніпро – 2019**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівництва, геотехніки і геомеханіки та кафедрі екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Наукові консультанти:** доктор технічних наук, професор  
**ШАШЕНКО Олександр Миколайович**,  
професор кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України;  
доктор технічних наук, професор  
**КОЛЕСНИК Валерій Євгенійович**,  
професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**ПЕТРЕНКО Володимир Дмитрович**,  
професор кафедри мостів і тунелів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України;  
доктор технічних наук, професор  
**ПОЛЩУК Сергій Зіновійович**,  
завідувач кафедри опалення, вентиляції і якості повітряного середовища Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України;  
доктор технічних наук,  
**СКРИПНИК Олег Олександрович**,  
заступник директора з наукової роботи Інституту проблем природокористування та екології (м. Дніпро) Національної академії наук України.

Захист дисертації відбудеться “ 28 ” березня 2019 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Автореферат розісланий “ 27 ” лютого 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність проблеми.** Зсувонебезпечність є важливою складовою екологічної та техногенної безпеки територій як на регіональному, так і на локальному рівнях, а також геомеханіки ґрунтів і м'яких порід.

Природні схили та штучні укоси, що практично завжди присутні на різних територіях, є джерелами потенційної небезпеки, надзвичайної ситуації чи катастрофи. Під впливом сили тяжіння та техногенних зовнішніх навантажень схили руйнуються спричиняючи значні екологічні, економічні та соціальні збитки. Враховуючи тенденції зміни клімату в світовому та регіональному масштабах, зсувонебезпека в природних схилових ландшафтах та в техноекосистемах зі складним або штучно створеним рельєфом зростає.

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, а також їх геомеханічні властивості. Господарська діяльність, промислова та цивільна забудова, сейсмічні впливи виступають в ролі ініціюючих тригерних факторів зсувів. Аналіз тенденцій поширення зсувів у світі за минуле та поточне сторіччя свідчить про тенденцію зростання їх кількості, масштабів та смертності серед цивільного населення через катастрофічні наслідки. Щорічно жертвами зсувів у світі стає приблизно 9 тисяч осіб. Станом на 2018 р. на території України зафіксовано близько 23 тис. зсувів та їх кількість постійно зростає через перезволоження верхніх шарів нестійких суглинистих, в тому числі, лесових ґрунтів. 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.

Зсуви штучного або техногенного походження спостерігаються в укосах уступів та бортах кар'єрів внаслідок технологічних операцій відкритої розробки корисних копалин, при будівництві та експлуатації геотехнічних споруд.

Разом з тим, існуючі методи оцінки зсувонебезпеки природних схилів та техногенних укосів не забезпечують надійне прогнозування моменту виникнення і масштабів надзвичайної ситуації та впровадження упереджувальних заходів.

Виходячи з вищевикладеного, удосконалення прогнозу та управління рівнями зсувонебезпеки природних схилів та техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах, як складової екологічної безпеки та стійкості геомеханічних систем в регіональному і локальному аспектах, залишається актуальною науковою проблемою, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямам екологічної та

техногенної безпеки в Україні, визначеним в наступних нормативних документах: Постанові Верховної Ради України від 05.03.1998 № 188/98-ВР «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки»; Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», «Комплексній програмі протизсувних заходів на 2005-2014 роки», затвердженій постановою Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 року №1256; Положенні про державну систему моніторингу довкілля затвердженій постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. N 391; Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, затвердженій Законом України від 21 квітня 2011 року № 3268-VI; Положення про єдину державну систему цивільного захисту затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 р. № 11; Концепції Державної програми дослідження стану Криворізького залізрудного басейну для запобігання виникненню на його території катастрофи техногенного та природного характеру на 2013-2016 роки, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 6 березня 2013 р. № 178-р; Загальнодержавній програмі розвитку малих міст затвердженій законом України від 4 березня 2004 року № 1580-IV; Концепції Комплексної програми протизсувних заходів затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 травня 2002 р. N 258-р.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідних робіт, що проводилися в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» (до 2018 р. – Державному ВНЗ «Національний гірничий університет»), в яких автор брав участь: як виконавець – «Розробка заходів з підвищення рівнів екологічної безпеки об'єктів паливно-енергетичного комплексу» (№ ДР 0112U004203, 2012-2015), «Розробка заходів з поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки у гірничодобувних регіонах» (№ ДР 0116U005245, 2016-2019); «Дослідження властивостей нанорозмірних компонентів у вугіллі і можливого їх впливу на електричні та механічні характеристики вугілля» (№ ДР 0117U001129, 2017-2018); а також як провідний спеціаліст в наукових роботах за спільними міжнародними тематиками з КазНІТУ ім. Сатпаєва (Республіка Казахстан, 2013-2017 рр.) «Багатофакторний аналіз стійкості високих внутрішніх відвалів на основі чисельних геомеханічних моделей в умовах полого-нахиленої та нахиленої основи», «Системний аналіз геомеханічної стійкості бортів кар'єрів і укосів відвалів в мінливих гірничо-геологічних і кліматичних умовах на основі стохастичних моделей».

**Мета роботи** полягає в підвищенні достовірності прогнозу рівнів зсувонебезпеки природних схилів і техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах та ефективності управління стійкістю геомеханічних систем для забезпечення екологічної та техногенної

безпеки регіонів і локальних територій.

Для досягнення мети поставлені та вирішені наступні **задачі досліджень**:

1) виконати аналіз впливу природно-кліматичних чинників на виникнення зсувів природного та техногенного походження в світовому, регіональному та локальному контексті та виявити тенденції екологічної, в тому числі, техногенної небезпеки зсувних явищ;

2) виявити закономірності виникнення зсувів під впливом природно-кліматичних чинників та розробити математичну модель для прогнозування зсувонебезпечності залежно від кількості опадів та рельєфу місцевості, як по регіонам України, так і для локальної яружно-балочної мережі;

3) вибрати та обґрунтувати найбільш адекватний критерій руйнування для оцінки стійкості природних схилів і штучних укосів з урахуванням неоднорідної структури ґрунтово-породного масиву;

4) проаналізувати явище масштабного ефекту в масиві м'яких порід зі статистично неоднорідною структурою та аналітично визначити коефіцієнт структурного ослаблення масиву для оцінки його міцності;

5) встановити залежності зниження міцнісних властивостей зразків ґрунтів та суглинистих порід від ступеня їх вологонасичення, на зсувних лабораторних пристроях для прогнозу умов виникнення зсувів яружно-балочній мережі м. Дніпро та об'єктів відкритої розробки корисних копалин;

6) виявити закони розподілу імовірності міцнісних властивостей м'яких глинистих порід, а саме зчеплення та кута внутрішнього тертя, внаслідок природних і штучних коливань їх вологонасичення в мінливих геокліматичних умовах;

7) обґрунтувати оціночну шкалу зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів для управління їх стійкістю та запобігання екологічній і техногенній небезпеці від зсувів;

8) встановити закономірності розвитку зсувних процесів в природних схилах яружно-балочних мереж, штучних укосах кар'єрів та геотехнічних спорудах з використанням чисельного моделювання методом скінчених елементів;

9) удосконалити методики визначення фізико-механічних характеристик м'яких гірських порід, а саме: зчеплення, кута внутрішнього тертя, границі міцності на розрив, для прогнозу параметрів стійких укосів і підвищення ефективності управління зсувонебезпечністю;

10) розробити структуру управління зсувонебезпечністю в регіональному та локальному контексті на основі запропонованих методів оцінювання, прогнозу стійкості та способів закріплення природних схилів і штучних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах.

**Об'єктом досліджень** є зсуви природних схилів і техногенних укосів як чинники екологічної небезпеки та стійкості геомеханічних систем.

**Предметом досліджень** є критерії та закономірності оцінювання і прогнозування стійкості природних схилів та техногенних укосів з

неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах та управління їх зсувонебезпечністю на регіональному і локальному рівнях.

**Основна ідея роботи** полягає в підвищенні ефективності управління зсувонебезпечністю природних схилів та техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах на основі встановлених закономірностей, критеріїв і вдосконалених методів прогнозу їх стійкості та способів закріплення.

**Методи досліджень.** Поставлена в роботі мета досягнута шляхом використання методів комплексного аналізу, узагальнення інформаційних джерел і світового досвіду; аналітичних досліджень із використанням методів механіки суцільного середовища та геомеханіки, лабораторних досліджень, натурних спостережень, чисельного моделювання складних геотехнічних систем, методів теорії ймовірностей і статистики, методів екологічного моніторингу та управління зсувонебезпекою в природних геосистемах і на техногенних об'єктах.

Для чисельного моделювання стійкості природних схилів, бортів кар'єрів та укосів насипних масивів використана спеціалізована програма скінченно-елементного аналізу Phase2 компанії Rocscience Inc., програмний комплекс ArcGIS (всі програмні продукти є ліцензованими).

Для геоекологічного дослідження яружно-балочної мережі м. Дніпро використані дані польових досліджень та натурних спостережень, дані експертних оцінок, картографічні матеріали з дешифрованими аерофотознімками, методика формування контрольного списку за матрицею Леопольда для оцінки зсувонебезпечності природних схилів й прогнозування тенденції до виникнення зсуву за функцією бажаності Харрінгтона.

### **Наукові положення, що захищаються в дисертації:**

**1.** Інтенсивність екологічно небезпечних зсувів ґрунту на територіях природних і техногенних ландшафтів прямо пропорційна інтенсивності атмосферних опадів та величині інтегрального коефіцієнту рельєфу, характерних для певного регіону або яружно-балочної мережі, причому число зсувів, що припадає на одиницю опадів, є постійною величиною для певного регіону та характеризує його зсувонебезпечність, що дозволяє прогнозувати і попереджати ці негативні явища.

**2.** Статистичний розподіл фізико-механічних характеристик м'яких суглинистих порід при коливаннях їх вологонасичення  $W_0$  змінюється від нормального ( $W_0 < 15\%$ ) до рівномірного ( $W_0 > 20\%$ ) закону з відповідним зменшенням міцнісних властивостей масиву через перезволоження, що дозволяє вірогідно визначати показники зчеплення та кута внутрішнього тертя для прогнозу зсувів в мінливих геокліматичних умовах.

**3.** Рівень зсувонебезпечності природних схилів та техногенних укосів визначається змінами коефіцієнта запасу їх стійкості ( $KЗС$ ), який обумовлений впливом геометричних, геомеханічних і геокліматичних чинників та

характеризується: відсутністю деформацій ( $K3C \geq 1,5$ ); зростанням напружень ( $1,2 < K3C \leq 1,5$ ); утворенням локальних зон деформацій ( $1,1 < K3C \leq 1,2$ ); утворенням заколів та тріщин ( $1,0 < K3C \leq 1,1$ ); поступовим обваленням схилу, зсув ( $K3C = 1,0$ ), що дозволило запропонувати відповідну 5-рівневу шкалу зсувонебезпечності.

**4.** Коефіцієнт запасу стійкості укосу  $\eta$ , що складається з лесових ґрунтів, змінюється від вологонасичення ґрунтового масиву ( $W$ ) згідно з залежністю  $\eta = -0,11W + 3,18$ , а критичне значення, при якому відбувається зсув  $W = 18...19\%$ , що дозволяє прогнозувати зсувонебезпеку природних схилів та штучних укосів.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в подальшому розвитку наукових засад оцінки та прогнозу геомеханічної стійкості природних схилів та техногенних укосів для управління зсувонебезпечністю регіонів і локальних яружно-балочних мереж, а саме:

1. Вперше запропоновано геоекологічну модель оцінювання зсувонебезпечності регіону, яка дозволяє визначати очікувану кількість зсувів, що приходиться на  $1000 \text{ км}^2$  території. Отримана залежність питомої кількості зсувів  $N_{зс}$  (чисельність на  $1000 \text{ кв. км}$ ) від інтенсивності річних атмосферних опадів  $W$  у вигляді лінійного рівняння регресії, що дозволило достатньо достовірно спрогнозувати потенційну зсувонебезпечність регіонів України у вигляді числового показника та створити відповідну карту.

2. Вперше обґрунтовано геокліматичну модель зсувонебезпечності для яружно-балочної мережі, яка дозволяє обчислювати кількість атмосферних опадів для виникнення одиночного зсуву. Для прогнозу кількості опадів, що спричинять хоча б один зсув ґрунту на території локальної яружно-балочної мережі, запропоновано використовувати коефіцієнт рельєфу для певної обраної ділянки балки, що обчислюється як добуток коефіцієнту перепаду її абсолютних висот, коефіцієнту найбільш зсувонебезпечного укосу та коефіцієнту перетину найбільш зсувонебезпечного профілю.

3. Запропоновано нове тлумачення терміну «зсув», яке чітко визначає та розмежовує фізичний сенс цього геологічного явища за джерелом походження, що дозволяє обґрунтовувати відповідні засоби інженерного захисту поверхні: «Зсув є геологічним явищем зміщення масиву гірських порід по схилу під впливом низки ендегенних (фізико-механічні властивості порід, зміна рівня підземних вод, водонасичення ґрунтів, сейсмічні впливи) та екзогенних факторів (геометричні параметри, зовнішні навантаження від будівель, споруд, комунікацій та транспорту).

4. Вперше встановлено ефект переходу від нормального до рівномірного закону розподілу фізико-механічних характеристик суглинків за рахунок коливань їх вологонасичення та відповідно зменшення їх міцнісних властивостей.

5. Набули подальшого розвитку методи оцінки та прогнозу зсувонебезпечності укосів і бортів кар'єрів за умов обводненості масиву м'яких

осадових порід, що дозволило визначити критичне значення водонасичення суглинистих укосів  $W_0 = 16\%$ , при якому відбуваються зсувні явища. Отримані результати оцінки геомеханічної стійкості борту кар'єру можуть бути використані для обґрунтування параметрів робочої зони в умовах підвищеного обводнення масиву гірських порід.

6. Набули подальшого розвитку методи оцінки стійкості намівних гребель за умов впливу процесів фільтрації, суфозії та геомеханічних процесів, що дозволило встановити причини воронкоподібних провалів на низовому укосі греблі Дніпродзержинської ГЕС. Отримані результати чисельного моделювання можуть бути використані для розробки протизсувних інженерних заходів.

7. Вперше обґрунтовано 5-рівневу шкалу зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів залежно від значень коефіцієнта запасу їх стійкості (КЗС) в мінливих геокліматичних умовах, що дозволяє прогнозувати геомеханічний стан масиву гірських порід та розробляти ефективні заходи інженерного захисту від зсувів.

8. Запропонована нова геомеханічна модель схилу (укосу) з використанням армуючих властивостей кореневих систем деревинної рослинності на схилах та техногенних укосах у вигляді своєрідних анкерів (фітоанкерів). Встановлено, що стійкість укосу, закріпленого деревною рослинністю в нижній частині, збільшується на 5,0...51,1% в порівнянні з незакріпленим схилом.

9. Розроблена нова структурно-логічна схема управління зсувонебезпечністю на регіональному та локальному рівнях, яка базується на сучасних методичних підходах стосовно оцінки та прогнозу стійкості природних схилів і штучних укосів.

#### **Практичне значення результатів роботи:**

1. Розроблено карту зсувонебезпечності України, що дозволяє прогнозувати кількість зсувів в регіональному аспекті.

2. Виконано випробування глинистих порід на розрив, результати яких використані для чисельного моделювання стійкості природних схилів та штучних укосів в програмі скінчено-елементного аналізу Phase2.

3. Обґрунтовано стійкі параметри багатоярусних внутрішніх відвалів в умовах полого-нахиленої основи з урахуванням геометричних параметрів, фізико-механічних характеристик, обводнення масиву порід та зовнішніх навантажень.

4. Обґрунтовано раціональні параметри робочої зони Мотронівсько-Аннівської ділянки розсипу Малишевського родовища (м. Вільногірськ), вибір необхідного гірничотранспортного устаткування і технологію ведення гірничих робіт в кар'єрі з урахуванням складної структури, властивостей порід, обводнення гірського масиву та зовнішніх навантажень, а також розроблені рекомендації щодо оцінки стійкості укосів кар'єрів з урахуванням геологічних та гідрогеологічних характеристик породного масиву.

5. Обґрунтовано ефективність застосування засобів інженерного захисту



для стабілізації зсувного схилу г. Могабі (АР Крим, 2013) з використанням анкерних утримуючих конструкцій.

6. Розроблено методика багатofакторних номограм стійкості укосів з урахуванням гірничо-геологічних умов і геометричних параметрів, які дозволяють визначати значення КЗС та зсувів порід  $U_{xy}$  в приукосному масиві, управляти тривалою стійкістю укосів уступів на кар'єрах шляхом зміни їх геометричних параметрів.

7. Розроблена та апробована на практиці методика комплексної геоекологічної оцінки природних схилів яружно-балочної мережі на прикладі м. Дніпро для візуального дослідження зсувів. Обґрунтований перелік показників контрольного списку, що дозволяє оцінити стан зсувонебезпечності природних схилів та виконувати їх ранжування за ступенем впливу. За результатами дослідження виявлено найбільш зсувонебезпечні балки м. Дніпра для обґрунтування заходів з інженерного захисту території міста від зсувів.

8. Запропоновано та апробовано інноваційні заходи з фіторекультивациі поверхні укосів породних відвалів, зокрема методика інтродукції дернових матів та методика мікротерас, для умов ліквідованої вугільної шахти «Селидівська» та діючої шахти «Україна» ДХК «Селидіввугілля».

#### **Реалізація результатів роботи.**

Результати геомеханічної оцінки стійкості робочого борту кар'єру в умовах підвищеної обводненості гірничого масиву впроваджено на Мотронівському гірничо-збагачувальному комбінаті, що дозволило оптимізувати технологію відкритих гірничих робіт.

Результати чисельного моделювання використані ТОВ «Южгіпроруда» та Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України при виконанні робочого проекту «Формування тимчасового внутрішнього відвалу на південно-західному борту Першотравневого кар'єру ПраТ ПівніЗК».

Результати лабораторних досліджень та фізичного моделювання критичних кутів укосів на кар'єрах виконані в рамках спільних міждержавних НДР і впроваджені в лекційні курси «Ресурсозберігаючі та маловідходні технології на рудних кар'єрах», «Взаємний зв'язок і планування процесів відкритих гірничих робіт», «Технологія відкритих гірничих робіт» Казахського національного дослідницького технічного університету ім. К. Сатпаєва (Республіка Казахстан).

Результати чисельного моделювання використані при проектуванні стійких параметрів бортів кар'єру в проектно-консалтинговій фірмі ТОО «АнтАл». Розрахунковий ефект склав 12850 тис. доларів США.

Результати дисертаційної роботи у вигляді методики оцінки стійкості природних схилів методом чисельного моделювання впроваджено в навчальний процес на кафедрі екології та технологій захисту навколишнього середовища Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» в рамках дисципліни «Охорона земної поверхні і надр».

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується використанням апробованих методів досліджень, таких як механіка суцільного середовища, теорія ймовірностей і математична статистика, методик лабораторного визначення фізико-механічних характеристик та деформаційних властивостей суглинистих порід, а також збіжністю результатів натурних експериментів і чисельного моделювання, відносна похибка яких не перевищувала 15%.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні наукової проблеми, мети й основних завдань досліджень, обґрунтуванні наукових положень. Автором виконані теоретичні й аналітичні дослідження за темою дисертаційної роботи; обґрунтовані методи дослідження стосовно геомеханічної стійкості укосів з використанням сучасних критеріїв руйнування гірських порід; виконані розрахунки та чисельне моделювання природних схилів яружно-балочних мереж та техногенних укосів на кар'єрах та об'єктах цивільно-промислового будівництва; виконані лабораторні дослідження з визначення міцнісних характеристик гірських порід, а також розроблені рекомендації щодо оцінки стійкості укосів кар'єрів з урахуванням геологічних та гідрогеологічних характеристик породного масиву.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень, виконані в дисертаційній роботі, доповідалися, обговорювалися, були схвалені на 22 Міжнародній конференції з планування гірничих робіт та вибору обладнання «MPES–2013» (Дрезден, Німеччина, 2013), III-й Міжнародній науково-технічній конференції «Техногенні катастрофи: моделі, прогноз та усунення» (Державний ВНЗ «НГУ», Дніпропетровськ, 2013); міжнародних науково-технічних конференціях «Форум гірників» (Державний ВНЗ «НГУ», Дніпропетровськ, 2013, 2015, 2016, 2017); 12 Міжнародному симпозиумі з безперервної відкритої розробки родовищ корисних копалин «ISCSM–2014» (Аахен, Німеччина, 2014), Міжнародному симпозиумі з екологічних проблем та управління відходами у виробництві енергії та мінеральної продукції «SWEMP–2016» (Стамбул, Туреччина, 2016), 24 Світовому гірничому конгресі «Гірництво у світі інновацій» (Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 2016), 26 Міжнародному симпозиумі з планування гірничих робіт та вибору обладнання «MPES–2017», (Люлеа, Швеція, 2017), 12 Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій» (Дніпро, НТУ «Дніпровська політехніка», 2018) та ін.

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано в 56 наукових працях, з них: 2 монографії, 32 статті у фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, у тому числі 12 статей у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз (6 – Scopus, 3 – Web of Sciences, 3 – Index Copernicus); 16 – у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій; 3 – в інших наукових виданнях, 2 патенти на винахід, 1 патент на корисну модель.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел із 372 найменувань на 38 сторінках і 27 додатків на 52 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 390 сторінок, у тому числі 113 рисунків та 27 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, темами і планами; сформульовано наукову проблему, мету, ідею та задачі досліджень; представлено наукові положення, що захищаються в дисертації, наукову новизну та практичне значення результатів, а також відомості про їх реалізацію, апробацію та публікації за темою дисертації.

**У першому розділі** виконано аналіз проблеми природних та техногенних зсувів у світі та в Україні.

Вивченню проблем, пов'язаних з екологічною та техногенною небезпекою від зсувів, теоретичним основам механізмів зсувного процесу та прогнозування зсувонебезпечності територій та техногенних об'єктів із використанням різних методичних підходів присвятили дослідження відомі науковці, як у світі, так і в Україні: О.М. Адаменко, А.Ф. Безсмертний, А.І. Білеуш, О.М. Бондар, Д. Варнес, С.Ф. Власов, А.М. Гальперін, М.Н. Гольдштейн, Ф. Гузетті, К.А. Гулакян, А.С. Дхака, М.Г. Демчишин, А.М. Дранніков, О.П. Ємельянова, І.Ф. Єриш, А.В. Зуска, Г.С. Золотарьов, С.П. Іванюта, А.І. Ільїн, А. Каррара, Є.Д. Кузьменко, В.В. Кюнтцель, А.Т. Леваднюк, Н.Н. Маслов, П.Н. Науменко, Е.А. Несмашний, Ю.М. Ніколашин, В.І. Осіпов, В.Д. Петренко, Н.Ф. Петров, С.З. Поліщук, І.В. Попов, Г.П. Постоєв, Г.І. Рудько, Ф.П. Саваренський, І.А. Садовенко, К. Сасса, О.О. Скрипник, Д.В. Тейлор, Г.І. Тер-Степанян, К. Терцагі, І.О. Тихвинський, Г.Л. Фісенко, І.К. Фоменко, Е. Хоек, М.С. Четверик, Р.Р. Чугаєв, А.Г. Шапар, В.Г. Шаповал, Г.М. Шахунянц, А.И. Шеко, Р. Шустер та інші.

Проаналізовано статистичні дані стосовно розвитку та поширення зсувів в світі, Україні та на території Дніпропетровської області в контексті екологічної та техногенної безпеки. Систематизовано основні природні та техногенні чинники активізації зсувів. Відзначено тенденцію зростання екологічної та техногенної небезпеки від зсувів в Україні внаслідок кліматичних змін та збільшення атмосферних опадів за окремими регіонами, що виступає як тригерний фактор зсувонебезпечності.

Аналіз першоджерел про природні зсуви свідчить, що масштаби екзогенних геологічних процесів обумовлені низкою факторів як природного, так і антропогенного походження. Проте, в переважній більшості випадків зсуву ґрунту, у ролі тригерного фактору поряд із сейсмічними впливами, виступає вологість масиву ґрунту або гірських порід, яка обумовлена інтенсивністю атмосферних опадів, підняттям рівня ґрунтових вод, таненням

снігу та ін.

Проаналізовано види деформацій породного масиву і виявлені найбільш значущі чинники порушення стійкості укосів уступів і бортів кар'єрів. Розглянуто приклади зсувів на найбільших кар'єрах в Україні та за кордоном. Визначено пріоритетні фактори, які враховують при оцінці стійкості техногенних укосів.

Розроблено алгоритм дослідження стійкості природних схилів та техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах для прогнозу їх зсувонебезпечності, який базується на використанні нових аналітичних та лабораторних методів визначення міцнісних властивостей м'яких порід та методик закріплення схилів.

Результати виконаних теоретичних досліджень дозволили визначити коло проблем стосовно поширення природних та техногенних зсувів, сформулювати мету, ідею та задачі дисертаційного дослідження.

**У другому розділі** виконано побудову математичних моделей, що забезпечують оцінку та прогнозування зсувонебезпечності на регіональному та локальному рівнях з урахуванням кліматичних та геоморфологічних факторів.

Регіональна модель будувалась на основі розуміння логіки утворення зсувів шляхом аналізу статистики зсувних явищ в регіонах України. Виокремлено два головних фактора, що обумовлюють зсувонебезпечність – рельєф місцевості та атмосферні опади у відповідних регіонах. Їх покладено в основу концепції моделі, за якою чисельність зсувів більше на тих територіях, де більше пересічений рельєф та зволоження ґрунту через підвищення рівня атмосферних опадів. Отже кількість зсувів, як величина на виході моделі, прямо пропорційна вхідним показникам – рельєфу та атмосферним опадам.

В моделі фактор рельєфу місцевості є відносно сталим, тому його було вирішено враховувати в моделі певним коефіцієнтом. Атмосферні ж опади змінюються динамічно, тому цей фактор обрано як вхідну змінну моделі.

З урахуванням такого підходу за результатами зонально-статистичного аналізу картографічних даних спочатку було отримано осереднені значення коефіцієнтів рельєфу для кожного регіону України. На основі осереднених значень трьох складових рельєфу місцевості розраховані інтегральні коефіцієнти рельєфу для кожного регіону за формулою

$$K_p = K_{\text{вис}} K_{\text{густ}} K_{\text{глиб}} , \quad (1)$$

де  $K_{\text{вис}}$  – коефіцієнт висот,  $K_{\text{густ}}$  – коефіцієнт густоти рельєфу,  $K_{\text{глиб}}$  – коефіцієнт глибини рельєфу, безрозм.

Коефіцієнт висот визначається на основі зонально-статистичного аналізу розподілу площі дослідженого регіону за значеннями абсолютних висот та змінюється від 1 до 3 відповідно до збільшення абсолютної висоти розташування дослідженої території. Коефіцієнт густоти рельєфу характеризує складність та пересіченість місцевості у вигляді яруг та схилів і змінюється від

3 до 1 відповідно збільшенню цих об'єктів. Коефіцієнт глибини рельєфу характеризує різницю висот між тальвегами балок й водорозділами і змінюється від 1 до 3 відповідно до збільшення цього значення.

Далі масив статистичних даних про питому чисельність зсувів ґрунту в Україні  $N_{зс}$ , тобто їх кількість, що припадають на  $1000 \text{ км}^2$  певної території, перетворювався на величини  $- N_{зс}/K_p$  та шукалась регресійна залежність цих величин від річних атмосферних опадів  $- W$ , мм, що за даними метеорологічної статистики спостерігаються у відповідних регіонах.

В результаті, отримано достовірне рівняння лінійної регресії у вигляді:

$$N_{зс}/K_p = 0,011 W, \quad R^2=0,9738. \quad (2)$$

Остаточна регіональна модель зсувонебезпечності, що забезпечує прогноз чисельності зсувів від кількості атмосферних опадів та коефіцієнту рельєфу місцевості, представлена у вигляді рівняння

$$N_{зс} = 0,011 K_p W, \quad (3)$$

Висока достовірність математичної моделі забезпечується в діапазоні варіювання кількості атмосферних опадів приблизно від 100 до 1400 мм/рік та при значеннях інтегрального коефіцієнту рельєфу від 3 до 11.

Рівняння (3) характеризує чисельність зсувів на  $1000 \text{ км}^2$  території певного регіону з відповідними річними опадами, що дозволило визначити потенційну зсувонебезпечність цих регіонів (табл. 1) у вигляді числового показника та створити відповідну карту (рис. 1).

Далі на основі моделі (2) обґрунтовано геокліматичну модель зсувонебезпечності для яружно-балочної мережі, яка дозволяє обчислювати кількість атмосферних опадів  $W_{so}$  для виникнення одиночного зсуву на мережі площею  $S$ ,  $\text{км}^2$ . Модель отримано у вигляді рівняння:

$$W_{so} = 90,9/ K_{ps} S, \text{ мм}. \quad (4)$$

З формули (4) витікає, що чим більше масштаби яружно-балочної мережі, тим менша кількість опадів спричинить принаймні одиничний зсув. Але значення  $W_{so}$  певною мірою залежить й від величини інтегрального показника  $K_{ps}$ , який враховує рельєф відповідної ділянки яружно-балочної мережі.

Для оцінки зсувонебезпечності на локальному рівні інтегральний коефіцієнт рельєфу території  $- K_{ps}$  визначався як добуток коефіцієнтів, що характеризують зміни в локальному рельєфі, за формулою:

$$K_{ps} = K_{вис} K_{зсув} K_{пер}, \quad (5)$$

де  $K_{вис}$  – коефіцієнт перепаду абсолютних висот вздовж яружно-балочної системи;  $K_{зсув}$  – коефіцієнт найбільш зсувонебезпечного укосу;  $K_{пер}$  – коефіцієнт перерізу для найбільш зсувонебезпечного профілю.

## Результати визначення потенційної зсувонебезпечності по регіонах України

Назва адміністративної області	Кількість опадів по регіонах $W$ , мм/рік (1982-2016)	Інтегральний коефіцієнт впливу рельєфу $K_p$ , безрозм.	Потенційна зсувонебезпечність регіону від опадів ( $N_{zc} = 0,011 K_p W$ ), число зсувів на 1000 км <sup>2</sup>
АР Крим	753,75	6,26	51,90
Вінницька	673,75	6,62	49,07
Дніпропетровська	558,50	4,13	25,35
Донецька	538,50	5,02	29,76
Закарпатська	1301,25	9,28	132,88
Івано-Франківська	1032,25	9,75	110,73
Київська	609,25	4,15	27,80
Луганська	494,50	5,61	30,52
Львівська	840,25	8,19	75,71
Миколаївська	613,50	3,87	26,12
Одеська	600,25	4,19	27,68
Полтавська	595,25	3,76	24,65
Сумська	568,00	4,43	27,65
Харківська	521,50	4,40	25,23
Хмельницька	661,00	6,80	49,43
Черкаська	610,00	4,98	33,44
Чернівецька	713,25	10,84	85,04



Рис. 1. Карта прогнозу зсувонебезпечності в регіонах України

Складові коефіцієнти розраховувалися за формулами:

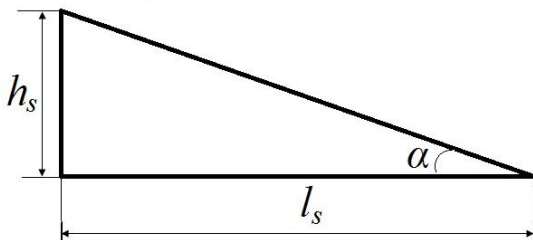
$$K_{\text{вис}} = 1000\Delta h / L_{\text{заг}}, \quad (6)$$

$$K_{\text{зсув}} = h_s / l_s, \quad (7)$$

$$K_{\text{пер}} = (l_{\text{н}}/l_{\text{в}}) (h_s/l_{\text{н}}). \quad (8)$$

де  $L_{\text{заг}}$  – загальна довжина балки, м;  $\Delta h$  – перепад висот вздовж балки, м; 1000 – перерахунковий коефіцієнт, проміле;  $h_s$  – абсолютна висота укусу, м;  $l_s$  – довжина укусу, м (рис. 2, а);  $l_{\text{в}}$  – ширина балки по верхньому профілю, м;  $l_{\text{н}}$  – ширина балки по нижньому профілю (рис. 2, б).

а)



б)

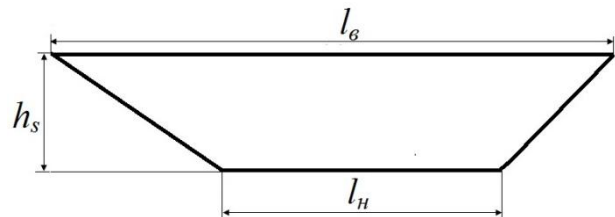


Рис. 2. Пояснювальні схеми до розрахунку коефіцієнту найбільш зсувонебезпечного укусу  $K_{\text{зсув}}$  (а) та коефіцієнту перерізу  $K_{\text{пер}}$  (б)

На локальному рівні умови виникнення одиничного зсуву в яружно-балочній мережі при певній кількості опадів оцінюється залежно від площі балки та геоморфологічних показників місцевості (рис. 3).

Виконані дослідження дозволили побудувати об'єднану геоекологічну модель зсувонебезпечності в регіональному та локальному контексті, яка дозволяє виконувати прогнозну оцінку виникнення зсувів як на певній території, так і в яружно-балочній мережі.

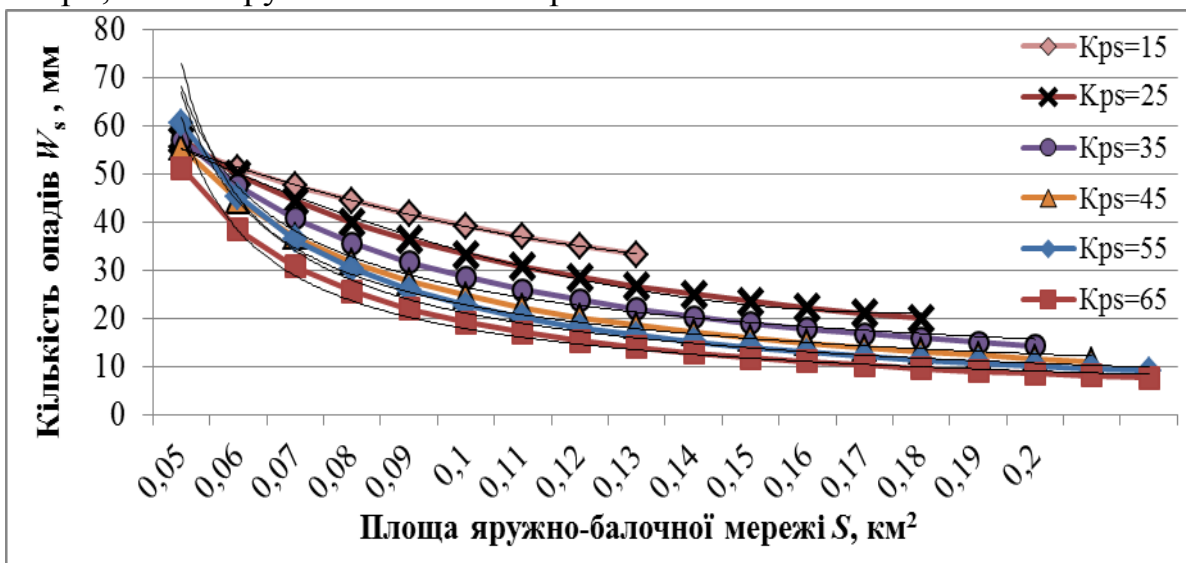


Рис. 3. Прогнозна оцінка кількості опадів, що спричинить зсув в яружно-балочній мережі

Розроблена та апробована на практиці методика комплексного геоекологічного обстеження природних схилів яружно-балочної мережі на прикладі м. Дніпро, яка базується на даних польових досліджень, експертних оцінках, а також методиці формування контрольного списку за матрицею Леопольда для оцінки зсувонебезпечності природних схилів й прогнозування тенденції до виникнення зсуву за функцією бажаності Харрінгтона (табл. 2).

Таблиця 2

Результати оцінки зсувонебезпечності яружно-балочної мережі м. Дніпро

Параметри оцінки	Балки м. Дніпро						
	Тунельна	Довга	Рибальська	Зустрічна	Євпаторійська	Аптекарська	Діївська
Кількість не нульових значень матриці	23	24	22	18	24	18	23
Значимість впливу усіх факторів зсувонебезпечних процесів	4.3	4.17	4.5	5.56	4.2	5.6	4.35
Загальна сила впливу факторів зсувонебезпечних процесів $I$	196	208	164	144	192	206	257
Значення за шкалою бажаності $d$	0.8	0.83	0.6	0.41	0.8	0.8	0.95
Характеристика бажаності за можливістю виникнення зсувонебезпечних процесів	Погано	Дуже погано	Задовільно	Задовільно	Погано	Дуже погано	Дуже погано

Результати виконаних досліджень щодо прогнозу зсувонебезпечності на регіональному та локальному рівнях дозволили вирішити другу задачу дослідження та сформулювати перше наукове положення.

**У третьому розділі** викладено методологічні засади оцінки геомеханічних чинників зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів.

Проаналізовано взаємозв'язок властивостей породного масиву та їх вплив на стійкість укосів. Досліджено еволюцію теорій руйнування гірських порід та їх застосування. Розглянуто основні методи оцінки стійкості природних і штучних укосів. Виконано порівняльний аналіз критеріїв Кулона-Мора і Хоска-Брауна з визначенням еквівалентних фізико-механічних параметрів. Встановлено, що для оцінки стійкості природних і штучних укосів, які складаються з м'яких осадових порід (суглинки, глини) найбільш адекватним є критерій руйнування Кулона-Мора.

Запропоновано модифікований критерій Кулона-Мора для оцінки міцності масиву м'яких порід:



$$\tau = C(W_0) + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi(W_0) = R_c k_c \frac{1 - \sin \varphi(W_0)}{2 \cos \varphi(W_0)} + \sigma_n \operatorname{tg} \left( \frac{1 - \psi}{2 \sqrt{\psi + 2(1 - \psi) \frac{\gamma H}{R_c k_c}}} \right). \quad (7)$$

Досліджено явище масштабного ефекту в масивних зі статистично неоднорідним середовищем. Запропоновано оцінювати міцність масиву м'яких порід за допомогою коефіцієнта структурного ослаблення.

Виконано розрахунок фізико-механічних характеристик світло-жовтих лесових і жовто-бурих щільних суглинків в масиві для оцінки зсувонебезпечних природних укосів в балці Бесп'ята (сmt. Діївка, м. Дніпро).

Результати виконаних аналітичних досліджень стосовно вибору критерію руйнування та масштабного ефекту в масиві порід дозволили вирішити третю та четверту задачі роботи.

**У четвертому розділі** представлено результати лабораторних досліджень міцнісних властивостей глинистих порід.

Для виконання серій лабораторних випробувань зразків м'яких глинистих порід і визначення їх фізико-механічних характеристик були відібрані монолітні зразки порід непорушеної структури в яружно-балочній мережі м. Дніпро, а також на кар'єрах Вільногірського гірничо-металургійного комбінату. У лабораторних умовах виконана серія випробувань зразків просадних ґрунтів, представлених світло-жовтими лесовими суглинками і темно-бурими суглинками, з використанням одноплощинного зрізного приладу ПС-10 з метою визначення фізико-механічних характеристик: опору порід зрізу  $\tau$ , кута внутрішнього тертя  $\varphi$  і зчеплення  $C$ . Встановлено залежності зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів від ступеня їх вологонасичення.

Виконані лабораторні дослідження міцнісних властивостей верхніх шарів суглинків балки Євпаторійської м. Дніпро. Визначені значення зчеплення, кута внутрішнього тертя і опору зсуву для покриваючих порід, представлених світло-жовтими лесовими суглинками і жовто-бурими суглинками з використанням одноплощинного зрізного приладу ПС-10. Так, для жовто-бурих суглинків при заданому діапазоні вологості  $W = 11...29\%$  значення зчеплення і кута внутрішнього тертя змінюються в межах  $C = 0,017...0,073$  МПа і  $\varphi = 14^\circ...35^\circ$ . Для світло-жовтих лесових суглинків при заданих експериментально значеннях вологості  $W = 9,7...35\%$  значення зчеплення і кута внутрішнього тертя варіюють в межах  $C = 0,013...0,033$  МПа і  $\varphi = 8,5^\circ...15,4^\circ$ .

Для жовто-бурого щільного суглинку зменшення міцнісних властивостей від вологонасичення описується степенною функцією: для зчеплення  $y = 2,36x^{1,46}$  ( $R^2 = 0,99$ ) для кута внутрішнього тертя  $y = 261,25x^{-0,88}$  ( $R^2 = 0,94$ ) та жовто-бурого щільного (б) суглинків від вологонасичення (рис. 4).

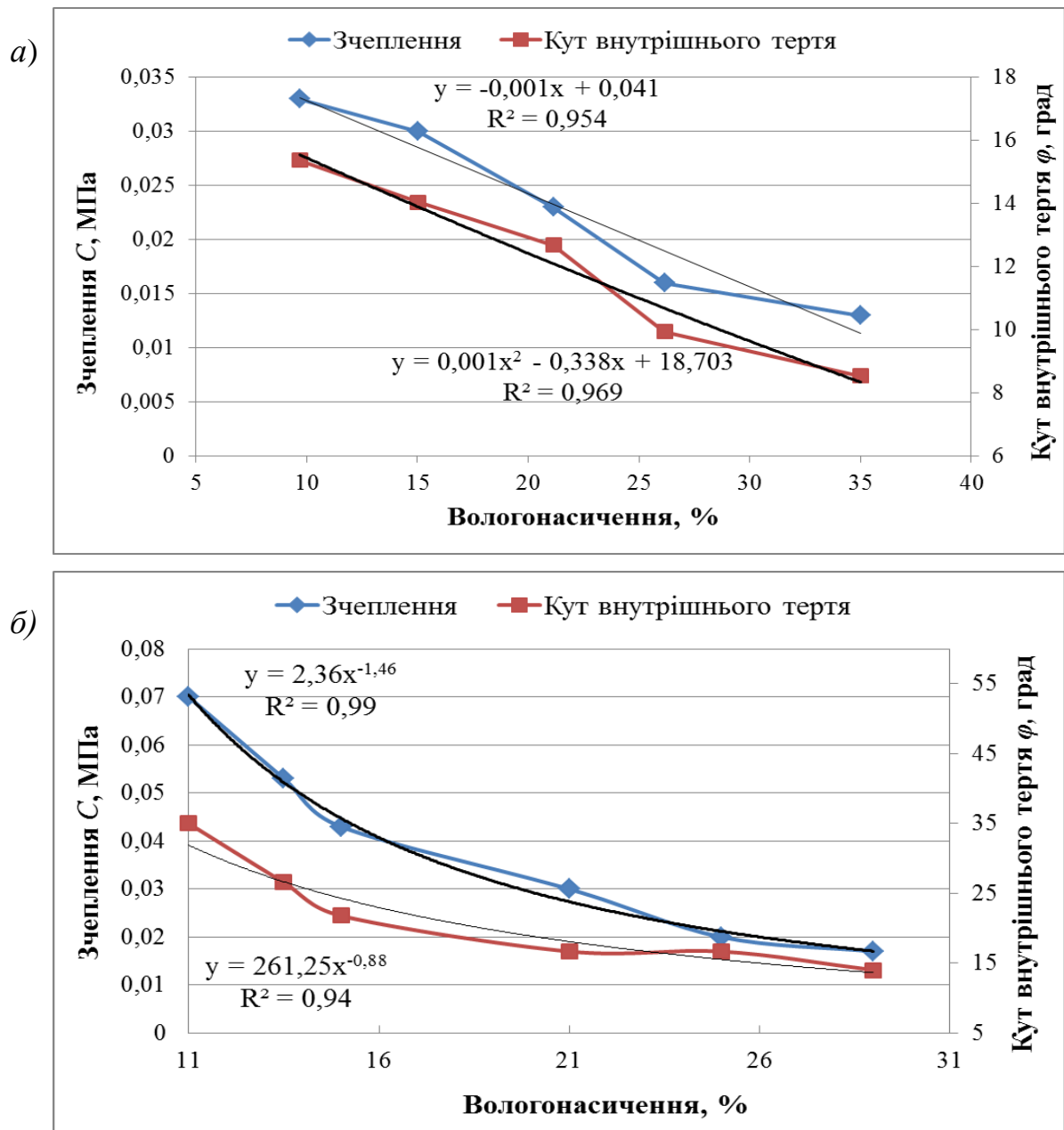


Рис. 4. Залежності зчеплення і кута внутрішнього тертя світло-жовтого (а) та жовто-бурого щільного (б) суглинків від вологонасичення

Виконано дослідження фізико-механічних характеристик м'яких розкривних порід Мотронівсько-Аннівського родовища титано-цирконієвих розсіпних руд. За результатами лабораторних випробувань порід побудовані статистичні розподіли кута внутрішнього тертя  $\varphi$  і зчеплення  $C$ .

На основі гіпотези про рівномірний розподіл фізико-механічних характеристик м'яких порід (грунтів), отриманий коефіцієнт структурного ослаблення, що враховує відмінність міцності реального ґрунту і лабораторних зразків, обумовленого структурною неоднорідністю масиву:

$$k_c = \sqrt{3}\eta(1 - 2P_0) + 1, \quad (8)$$

де  $\eta$  – відносна варіація, яка характеризує ступінь неоднорідності середовища;  $P_0$  – відносна ймовірність.

Виконано дослідження фізико-механічних властивостей зразків світло-жовтих лесових і жовто-бурих щільних суглинків, відібраних уздовж Діївської балки (м. Дніпро) на ділянках обрушень та активізації зсувних процесів. Побудовано статистичні розподіли значень кута внутрішнього тертя і зчеплення при різному вологонасиченні зразків ґрунту.

Значення кута внутрішнього тертя для світло-жовтих лесових суглинків варіюють в діапазоні  $13,58^\circ \dots 15,32^\circ$ , при цьому максимальне та мінімальне значення відносної вологості в масиві спричиняє слабкі міцнісні властивості масиву. Для жовто-бурих суглинків кут внутрішнього тертя варіює в діапазоні  $20,11^\circ \dots 24,94^\circ$ . Відносна варіація щодо середнього становить 6,7...18,4%.

Значення зчеплення для світло-жовтих лесових суглинків варіюють в діапазоні 17,65...24,58 кПа, для жовто-бурих суглинків – 33,71...41,50 кПа, а розкид значень відносно середнього становить 11,6...25,1%. Низькі міцнісні властивості світло-жовтих лесових суглинків обумовлені їх макропористістю і високим вологонасиченням.

Встановлено ефект переходу від нормального до рівномірного закону розподілу фізико-механічних характеристик суглинків за рахунок коливань їх вологонасичення та відповідно зменшення їх міцнісних властивостей (рис. 5).

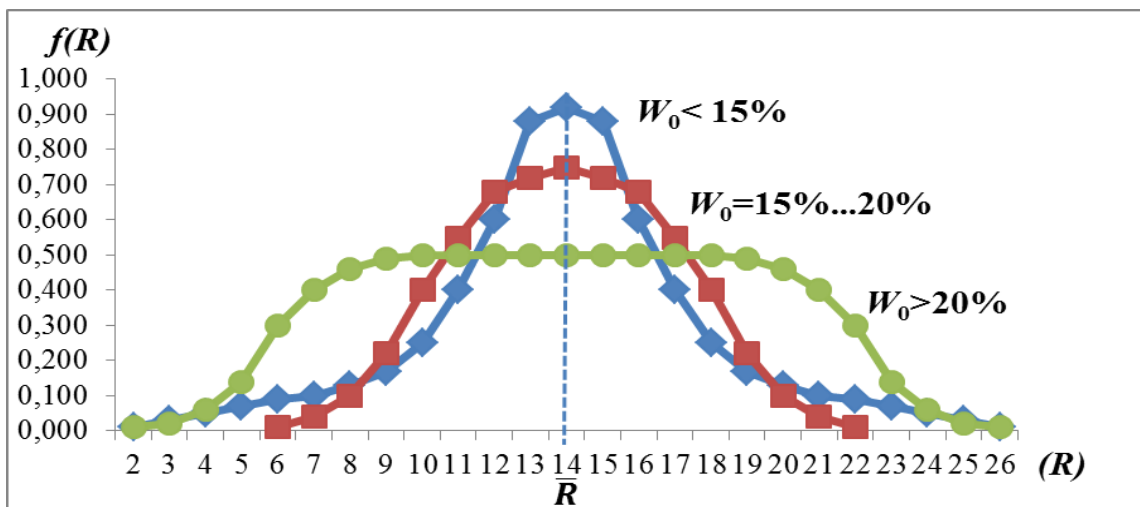


Рис. 5. Перехід від нормального до рівномірного розподілу міцнісних властивостей суглинчастих порід залежно від вологонасичення

Виконано серію експериментальних випробувань зразків суглинків на розрив, що були відібрані в яружно-балочній мережі м. Дніпро та на кар'єрах Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (м. Вільногірськ, Дніпропетровська область). Результати випробувань використані для чисельного моделювання стійкості природних схилів та штучних укосів в програмі скінчено-елементного аналізу Phase2.

Виконані експериментальні дослідження лесових ґрунтів дозволили

вирішити п'яту та шосту задачі роботи і сформулювати друге наукове положення.

В п'ятому розділі представлено результати чисельного моделювання стійкості укосів в геотехнічних системах при розробці корисних копалин.

Обґрунтована оціночна шкала зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів для управління їх стійкістю та запобігання екологічній і техногенній небезпеці від зсувів (рис. 6). Запропонована відповідна класифікація зсувонебезпечності природних схилів та укосів, що спирається на значення КЗС, наведена у табл. 3.

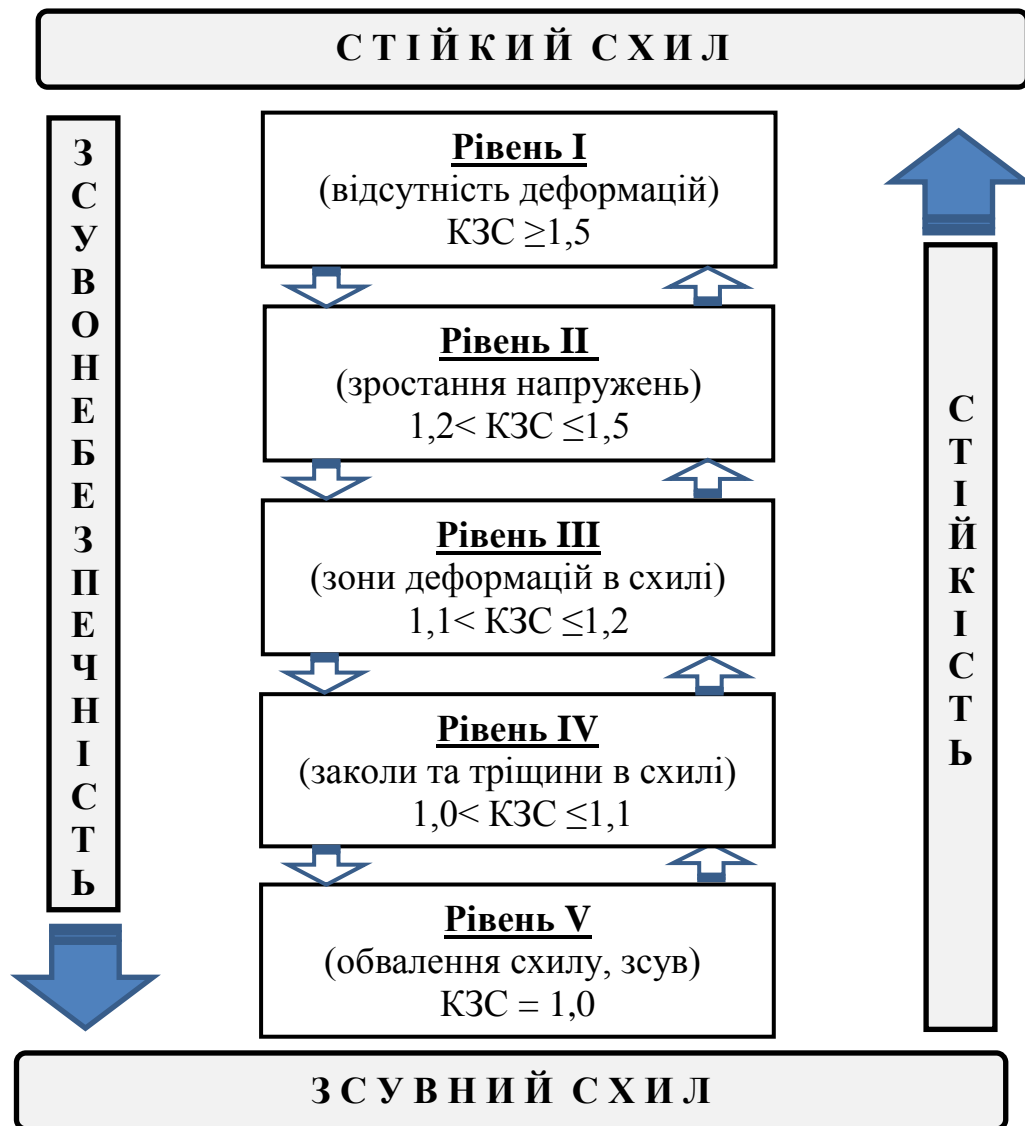


Рис. 6. Шкала зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів

Виконана геомеханічна оцінка стійкості робочого борту кар'єру Мотронівсько-Анновської ділянки Малишевського родовища титано-цирконієвих розсипних руд (м. Вільногірськ) в умовах підвищеного водонасичення порід. Встановлено, що прогнозне обвалення суглинистих укосів і розвиток зсувних явищ виникає при  $W_0 = 16\%$  (рис. 7, 8).

## Рівні зсувонебезпечності природних схилів та укосів за значенням КЗС

Рівні зсувонебезпечності	Значення КЗС, безрозм.	Клас зсувонебезпечності	Вид небезпеки	Примітка
Низький	$KЗС \geq 1,5$	I	Техногенна	Використовується для техногенних укосів суцільних та насипних порід
Помірний	$1,2 < KЗС \leq 1,5$	II	Техногенна	
Середній	$1,1 < KЗС \leq 1,2$	III	Екологічна	Характеризує екологічну небезпеку від зсувів внаслідок надзвичайної ситуації
Підвищений	$1,0 < KЗС \leq 1,1$	IV	Екологічна	
Критичний	$KЗС = 1,0$	V	Екологічна	

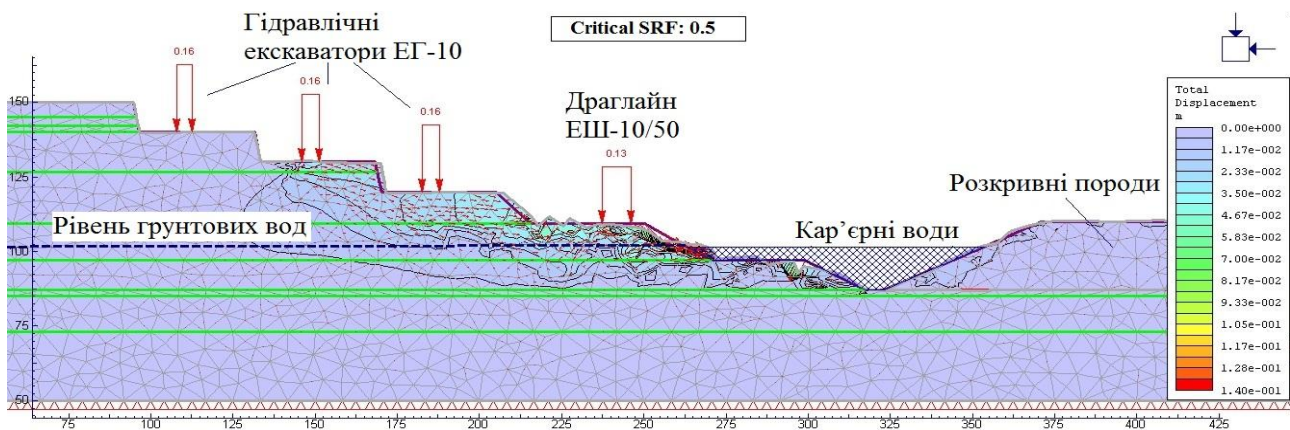


Рис. 7. Результати моделювання стійкості робочого борту кар'єру для схеми з використанням гідравлічних екскаваторів ЕГ-10 і драглайнів ЕШ-10/50

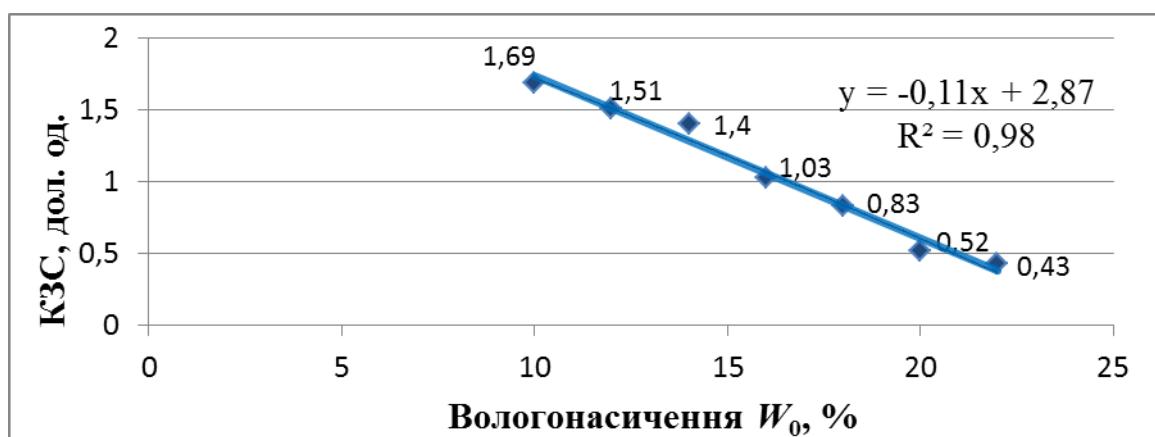


Рис. 8. Результати розрахунку КЗС борту кар'єру з урахуванням обводнення

Виконано геомеханічний аналіз та розрахунки стійкості укосів насипу під відкриту галерею стрічкових конвеєрів циклічно-потоккової технології, основи тіла насипу і укосів борту Першотравневого кар'єру Північного ГЗК (Кривбас, Україна). Розроблено та запропоновано технічні заходи щодо зміцнення

насипного масиву ЦПТ за допомогою спорудження різноманітних за формою привантажуючих призм з розкривних порід на зсувних укосах.

Виконано оцінку стійкості внутрішнього відвалу відсипаного на підробленій основі неробочого борту Першотравневого кар'єру Північного ГЗК з урахуванням складної структури, властивостей порід, погашених підземних гірничих виробок, сейсмічних впливів від вибухових робіт (рис. 9).

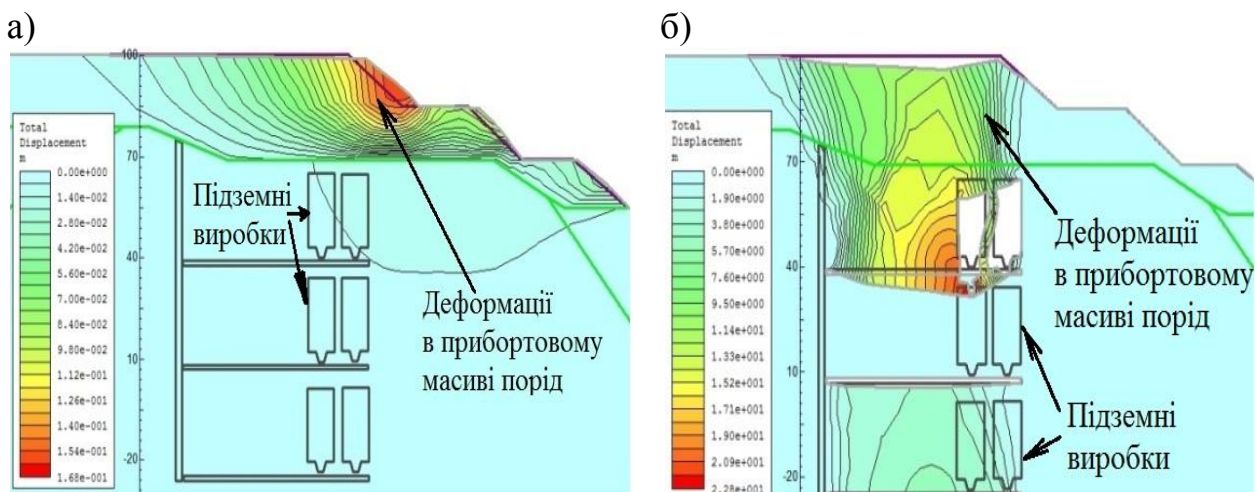


Рис. 9. Оцінка стійкості внутрішнього відвалу на приробленому борті кар'єра:  
а) без підземних виробок,  $U_{xy} = 0,14 \dots 0,16$  м; б) з урахуванням підземних виробок,  $U_{xy} = 7,6 \dots 19,0$  м; зона просідання  $D = 50 \dots 60$  м,  $h = 4$  м

Встановлено, що нормативна стійкість укосів насипних масивів з  $K3C \geq 1,2$  за умов сейсмічних впливів від масових вибухів на кар'єрах досягається при значеннях максимальних горизонтальних та вертикальних прискорень в масиві порід  $s \leq 0,1g$  (7 балів за шкалою EMS-98), що дозволяє керувати станом гірського масиву при відкритій розробці корисних копалин (рис. 10).

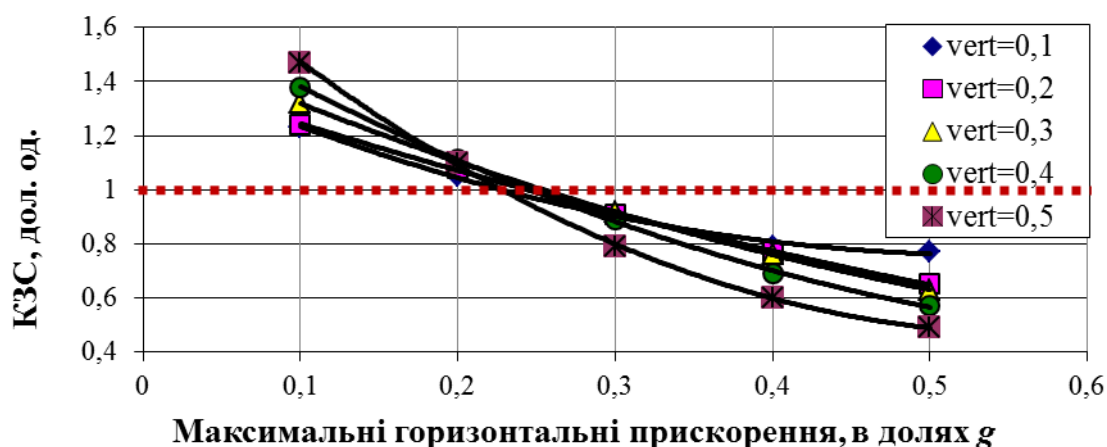


Рис. 10. Оцінка сейсмічного впливу на стійкість укосів насипного масиву

Виконано аналіз геомеханічної стійкості внутрішніх відвалів на нахиленій основі для гірничо-геологічних умов вугільного розрізу «Майкубенський» (Республіка Казахстан) з використанням програми скінченно-елементного аналізу GGU-Stability за критерієм Бішопа (рис. 11).



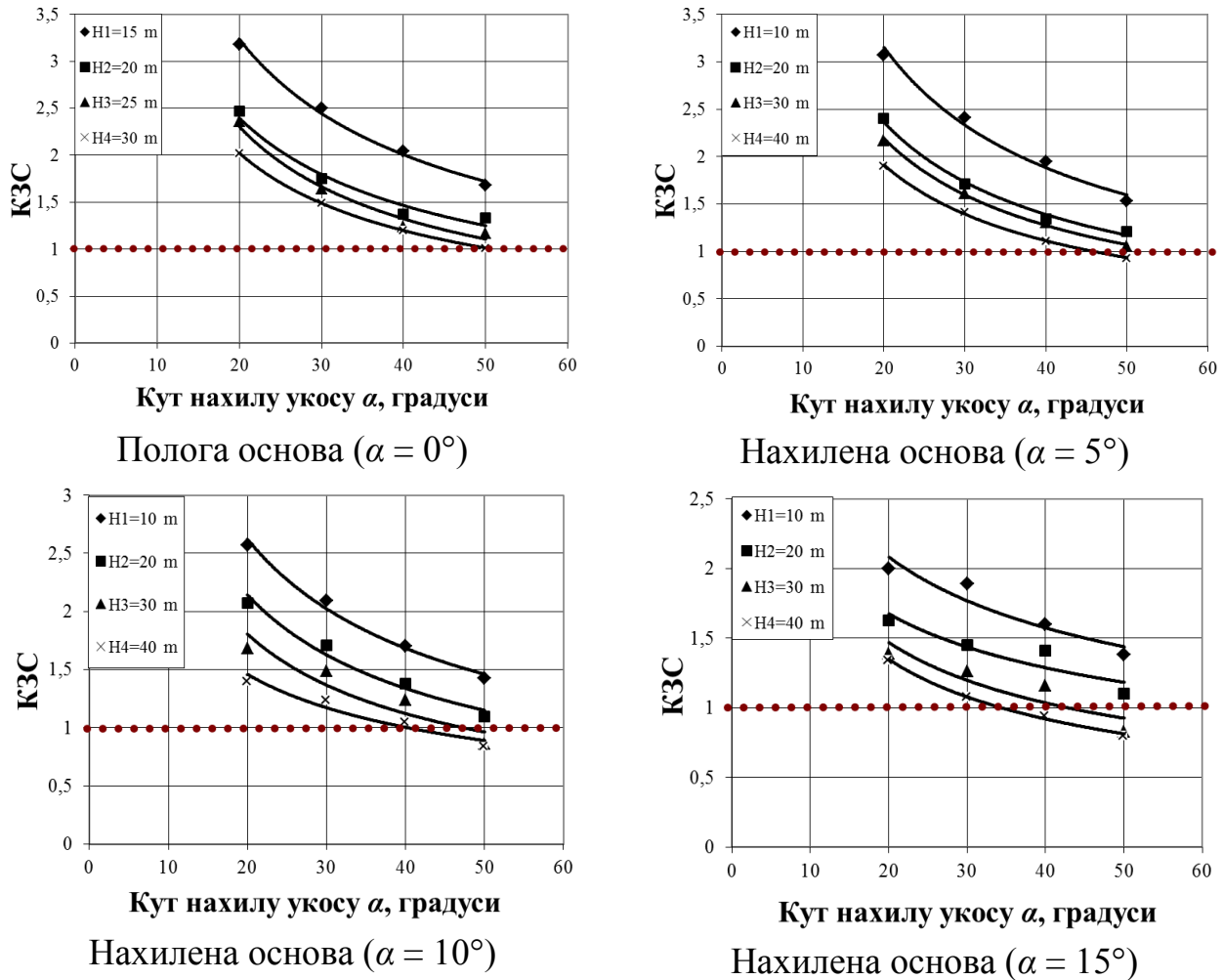


Рис. 11. Обґрунтування стійких внутрішніх відвалів на нахиленій основі

Встановлено, що висота  $H = 40$  м є граничною для першого ярусу внутрішнього відвалу при заданих кутах нахилу укосів відвалу  $\alpha_{ук} = 35^\circ$ . Гранична висота першого ярусу відвалу на пологій основі  $H \leq 40$  м, для 2 яруса  $H \leq 30$  м. При розміщенні внутрішніх відвалів на полого-нахиленій основі ( $\beta \leq 10^\circ$ ) висота 1 ярусу за абсолютними відмітками нижньої і верхньої бровки не повинна перевищувати  $h = 40$  м, а кут нахилу укосу відвалу  $\alpha_1 \leq 30^\circ$ , що забезпечить необхідний  $K3C \geq 1,2$ . Висота 2 ярусу відвалу не повинна перевищувати  $h = 30$  м, а кут нахилу укосу відвалу  $\alpha_2 \leq 30^\circ$ .

За результатами чисельного моделювання стійкості укосів бортів кар'єрів та відвалів вирішено сьому та восьму задачі дослідження і сформульоване третє наукове положення.

**В шостому розділі** виконано прогнозування зсувонебезпечності схилів в природно-техногенних геосистемах.

Виконано оцінку стійкості схилів балки Тунельна м. Дніпро при різному вологонасиченні лесових ґрунтів та визначено граничне вологонасичення лесових ґрунтів  $W = 18 \dots 19\%$ , при якому прогноуються зсуви ґрунту (рис. 12).

Виконано чисельне моделювання геомеханічних процесів, що мають місце

в ґрунтовій товщі низового укосу греблі Дніпродзержинської ГЕС методом скінчених елементів.

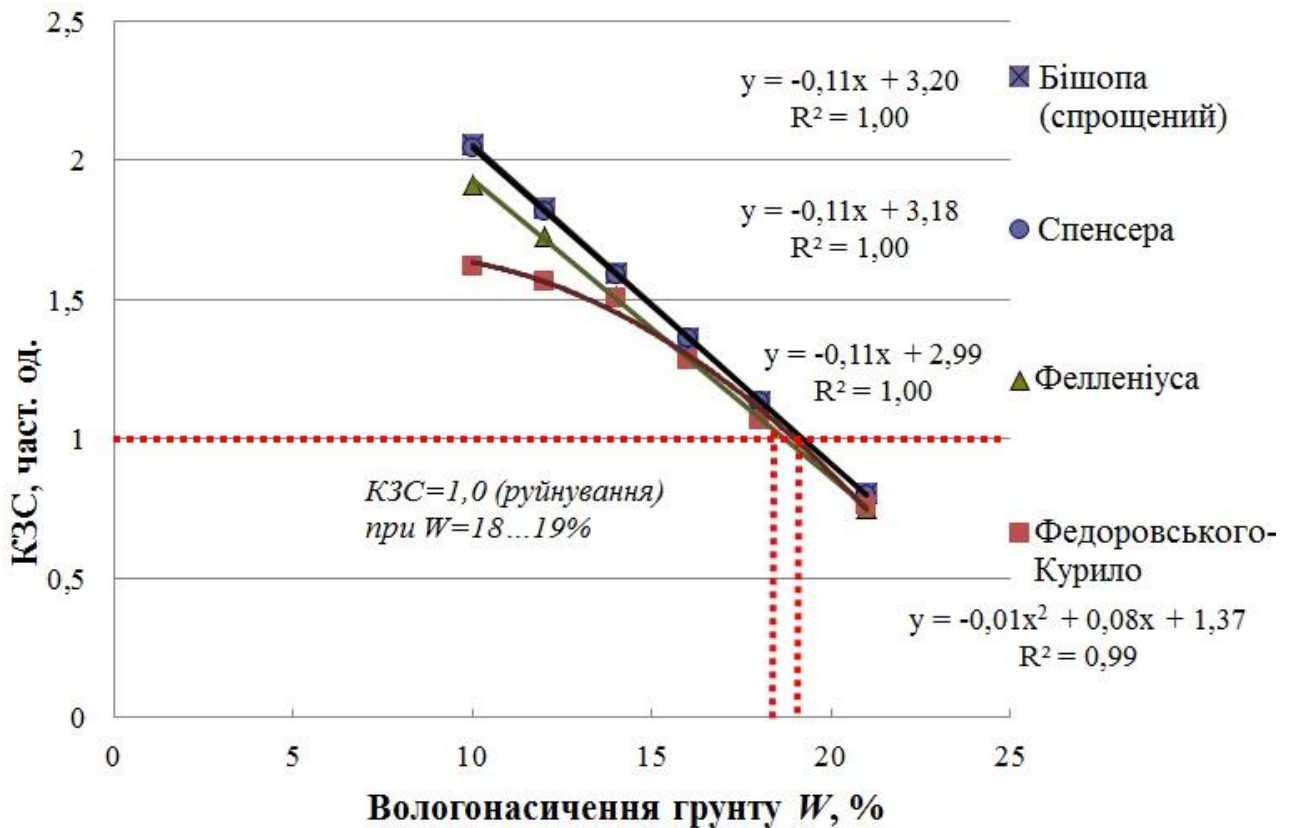


Рис. 12. Залежність КЗС від вологонасичення ґрунту

Виконано оцінку стійкості гідротехнічної споруди при заданих геометричних параметрах та з урахуванням фізико-механічних характеристик ґрунтів і гідрологічних процесів. Встановлено, що порушення стійкості укосів греблі пов'язані з процесами фільтрації і суфозії, що зумовлює винос дрібнодисперсних частинок ґрунту і піску, послабляє геомеханічний скелет і призводить до появи воронкоподібних провалів на схилі (рис. 13).

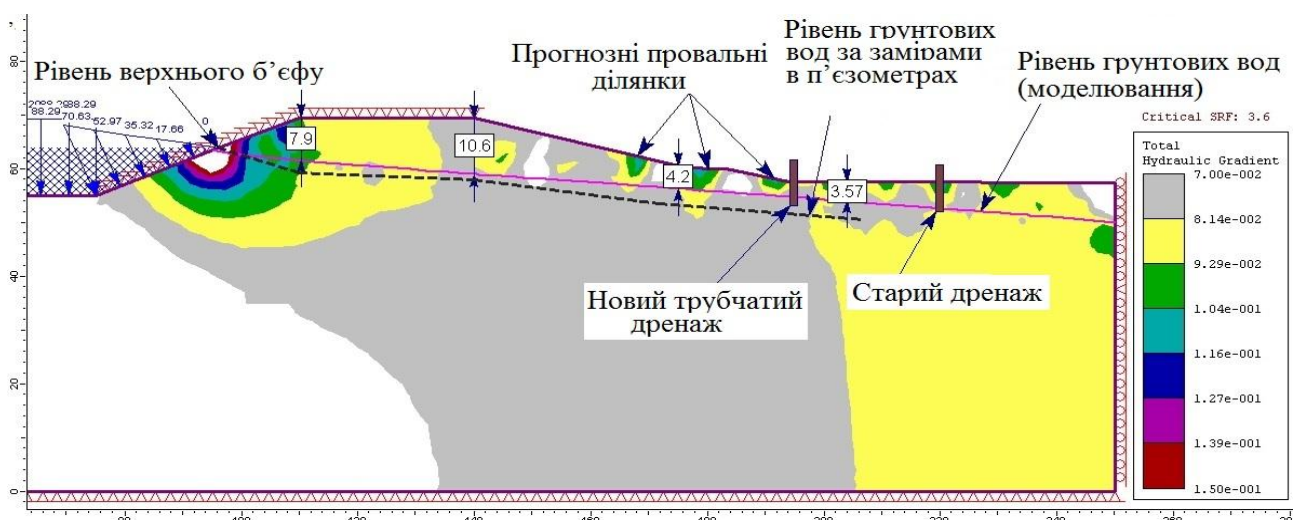


Рис. 13. Оцінка стійкості низового укосу греблі Дніпродзержинської ГЕС



Виконано геомеханічну оцінку та прогноз стійкості зсувного схилу г. Могабі (АР Крим, 2013). Обґрунтовано засоби інженерного захисту території від зсувів з використанням анкерних утримуючих конструкцій (рис. 14).

Результати чисельного моделювання зсувних процесів в природних схилах дозволили сформулювати четверте наукове положення.



Рис. 14. Прогноз ефективності заходів інженерного захисту від зсувів

В цьому розділі представлено інноваційні підходи стосовно управління зсувонебезпечністю природних схилів і техногенних укосів.

Запропоновано методику визначення механічної міцності гірських порід, яка дозволяє вірогідно обчислювати фізико-механічні властивості м'яких порід та більш точно прогнозувати процеси їх руйнування.

Розроблено методику багатофакторних номограм стійкості укосів з урахуванням гірничо-геологічних умов і геометричних параметрів, які дозволяють визначати значення КЗС та зсувів порід  $U_{x-y}$ , керувати стійкістю укосів уступів на кар'єрах шляхом зміни їх геометричних параметрів (рис. 15).

При цьому, інтенсивність зсувних процесів на укосі уступу запропоновано оцінювати за наступною шкалою максимальних зміщень порід:  $U_{x-y} < 0,05$  м – незначні, з утворенням заколів і тріщин на верхній брівці;  $U_{x-y} = 0,05 \dots 0,10$  м – середні, з виникненням тріщини відриву в приукосному масиві та ініціацією зсувних процесів;  $U_{x-y} = 0,11 \dots 1,50$  м – значні, з розвитком поверхні ковзання в приукосному масиві;  $U_{x-y} > 1,50$  м – катастрофічні, з повною руйнацією укосів і зміщенням значних мас порід.

Управління напружено-деформованим станом уступу передбачається здійснювати шляхом керованої зміни граничного кута укосу  $\alpha_{гран}$ , який визначається за емпіричною формулою:

$$\alpha_{гран} = \frac{\pi}{2} \left( \frac{C}{H} \right)^n \left( \frac{tg\varphi}{a\gamma} \right), \quad (9)$$

де  $C$  – зчеплення;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя;  $a = 0,05$  – поправочний коефіцієнт;  $n = 0,83$  – емпіричний коефіцієнт;  $\gamma$  – питома вага порід;  $H$  – висота укосу.

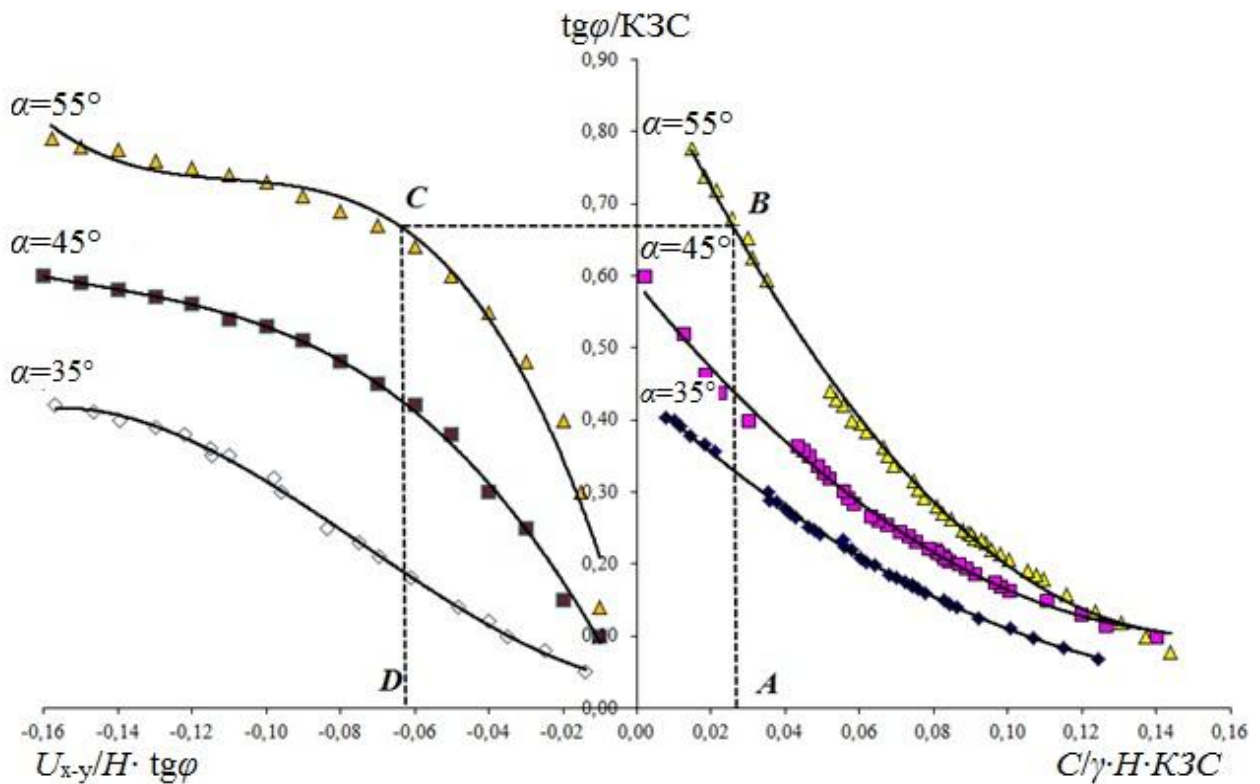


Рис. 15. Багатофакторна розрахункова номограма гранично стійких укосів

Обґрунтовано способи підвищення стійкості внутрішніх відвалів на нахиленій основі, на підставі чого отримано 2 патенти на винахід.

Виконано геомеханічну оцінку армуючих властивостей корневих систем деревинної рослинності (фітоанкерів) на схилах та техногенних укосах. Встановлено, що стійкість укосу, закріпленого деревною рослинністю в нижній частині, збільшується на 5,0...51,1% в порівнянні з незакріпленим схилом.

Запропоновано екосистемний підхід при лісотехнічній рекультивації техногенних укосів та ландшафтів на підставі вивчення видового різноманіття рослинності породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська» ДХК «Селидіввугілля».

Виконано дослідження щодо використання методу інтродукції дернових матів на поверхні укосів породних відвалів як фіторекультивацийний захід для умов ліквідованої вугільної шахти «Селидівська» та діючої шахти «Україна» ДХК «Селидіввугілля».

Запропоновано та апробовано метод створення мікротерас на схилах породних відвалів як фіторекультивацийний захід на шахтах та прискорення процесів відновлення природно-техногенного ландшафту.

Результати виконаних в розділі та в дисертаційній роботі досліджень систематизовано у вигляді структурно-логічної схеми управління зсувонебезпечністю в регіональному та локальному контексті (рис. 16).

За результатами аналітичних, експериментальних та польових досліджень вирішено дев'яту та десятю задачі роботи.

## СТРУКТУРА УПРАВЛІННЯ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНІСТЮ ПРИРОДНИХ СХИЛІВ ТА ШТУЧНИХ УКОСІВ

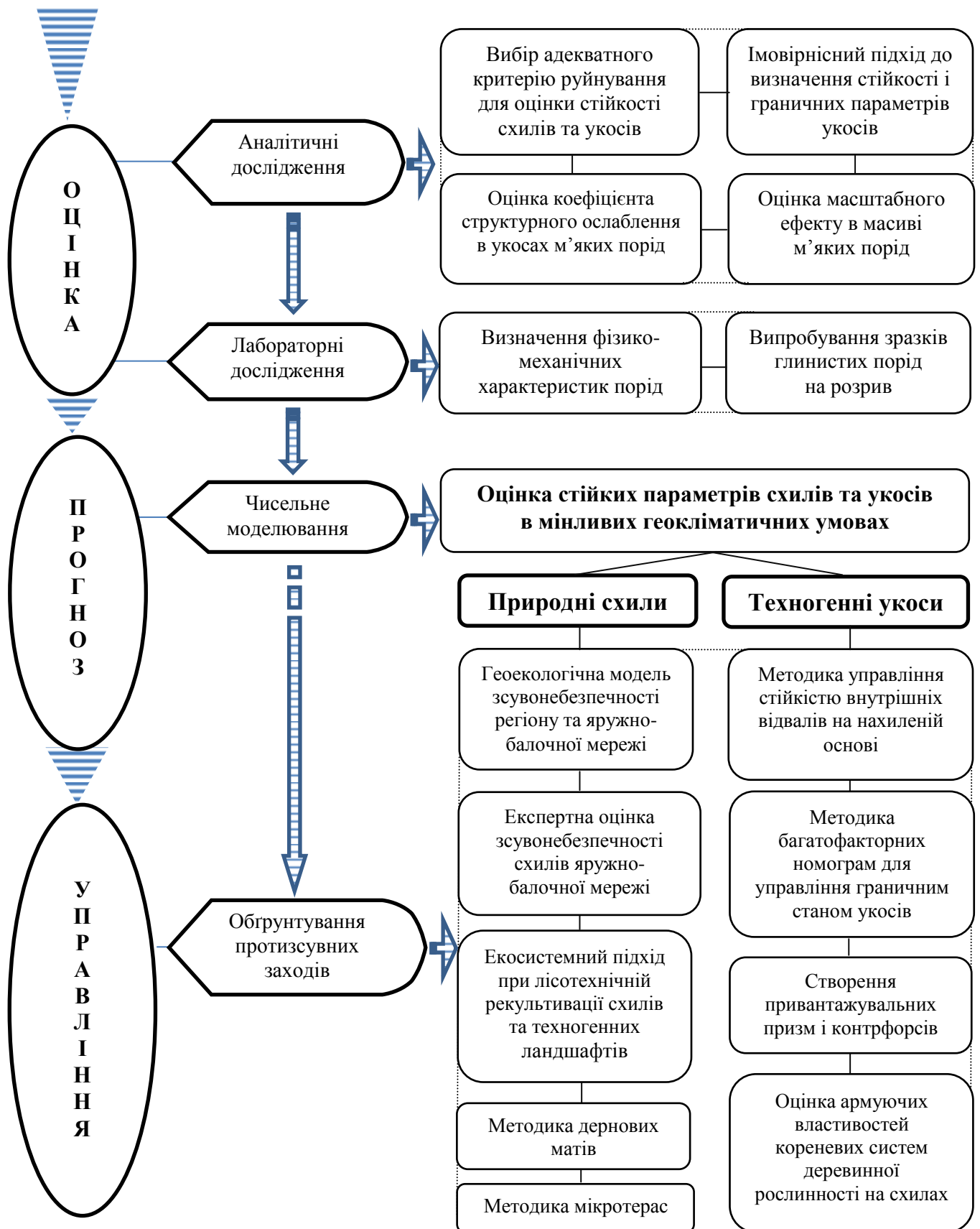


Рис. 16. Структура управління зсувонебезпечністю схилів та укосів

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей впливу вологонасичення на міцність масивів суглинистих порід, критеріїв, вдосконалених методів оцінки та комплексу геомеханічних і геоекологічних моделей вирішена актуальна науково-технічна проблема прогнозу стійкості та управління зсувонебезпечністю природних схилів і техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах на регіональному та локальному рівнях, що має важливе значення для екологічної та техногенної безпеки України.

Основні наукові і практичні результати, висновки та рекомендації, що отримано в дисертації:

1. Вперше запропоновано геоекологічну модель оцінювання зсувонебезпечності регіону, яка дозволяє визначати очікувану кількість зсувів, що приходиться на 1000 км<sup>2</sup> території. Отримана залежність питомої кількості зсувів  $N_{зс}$  (чисельність на 1000 кв. км) від інтенсивності річних атмосферних опадів  $W$  у вигляді лінійного рівняння регресії, що дозволило достовірно спрогнозувати потенційну зсувонебезпечність регіонів України у вигляді числового показника та створити відповідну карту.

2. Вперше обґрунтовано геокліматичну модель зсувонебезпечності для яружно-балочної мережі, яка дозволяє обчислювати кількість атмосферних опадів для виникнення одиночного зсуву. Для прогнозу кількості опадів, що спричинять хоча б один зсув ґрунту на території локальної яружно-балочної мережі, запропоновано використовувати коефіцієнт рельєфу для певної обраної ділянки балки, що обчислюється як добуток коефіцієнту перепаду її абсолютних висот, коефіцієнту найбільш зсувонебезпечного укосу та коефіцієнту перетину найбільш зсувонебезпечного профілю.

3. Вперше встановлено ефект переходу від нормального до рівномірного закону розподілу фізико-механічних характеристик суглинків за рахунок коливань їх вологонасичення та відповідно зменшення їх міцнісних властивостей.

4. Вперше обґрунтовано 5-рівневу шкалу зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів залежно від значень коефіцієнта запасу їх стійкості (КЗС) в мінливих геокліматичних умовах, що дозволяє прогнозувати геомеханічний стан масиву гірських порід та розробляти ефективні заходи інженерного захисту від зсувів.

5. Встановлено, що обводненість масиву порід є ключовим фактором нестійкості укосів і бортів кар'єру. Прогнозне обвалення суглинистих укосів і розвиток зсувних явищ виникає при  $W_0 = 16\%$ . Отримані результати оцінки геомеханічної стійкості борту кар'єру можуть бути використані для обґрунтування параметрів робочої зони в умовах підвищеного обводнення масиву гірських порід.

6. Обґрунтовано стійкі параметри багатоярусних внутрішніх відвалів в

умовах полого-нахиленої основи з урахуванням геометричних параметрів, фізико-механічних характеристик, обводнення масиву порід та зовнішніх навантажень.

7. Встановлено, що просадки ґрунту на низовому укосі греблі Дніпродзержинської ГЕС виникають між двома шарами ґрунту в тілі греблі з різними механічними і гідравлічними властивостями та пов'язані з процесами фільтрації, суфозії і виносом дрібнодисперсних частинок ґрунту і піску, що послабляє геомеханічний скелет і призводить до появи воронкоподібних провалів. Отримані результати чисельного моделювання можуть бути використані для розробки протизсувних інженерних заходів.

8. Запропонована геомеханічна модель схилу (укосу) з використанням армуючих властивостей кореневих систем деревинної рослинності на схилах та техногенних укосах у вигляді своєрідних анкерів (фітоанкерів). Встановлено, що стійкість укосу, закріпленого деревною рослинністю в нижній частині, збільшується на 5,0...51,1% в порівнянні з незакріпленим схилом.

9. Розроблена структурно-логічна схема управління зсувонебезпечністю на регіональному та локальному рівнях, яка базується на сучасних методичних підходах стосовно оцінки та прогнозу стійкості природних схилів і техногенних укосів.

10. Розроблена методика багатofакторних номограм стійкості укосів з урахуванням гірничо-геологічних умов і геометричних параметрів, які дозволяють визначати значення КЗС та зсувів порід  $U_{xy}$  в приукосному масиві, управляти тривалою стійкістю укосів уступів на кар'єрах шляхом зміни їх геометричних параметрів.

11. Розроблена та апробована на практиці методика комплексної геоecологічної оцінки природних схилів яружно-балочної мережі на прикладі м. Дніпро для візуального дослідження зсувів. Обґрунтований перелік показників контрольованого списку, що дозволяє оцінити стан зсувонебезпечності природних схилів та виконувати їх ранжування за ступенем впливу. За результатами дослідження виявлено найбільш зсувонебезпечні балки м. Дніпра для обґрунтування заходів з інженерного захисту території від зсувів.

12. Запропоновано та апробовано інноваційні заходи з фіторекультивациі поверхні укосів породних відвалів, зокрема методику інтродукції дернових матів та методику мікротерас, для умов ліквідованої вугільної шахти «Селидівська» та діючої шахти «Україна» ДХК «Селидіввугілля».

13. Результати чисельного моделювання та геомеханічної оцінки стійкості бортів кар'єрів, відвалів і геотехнічних об'єктів впроваджено на кар'єрах України та Казахстану, використано в проектах розвитку і реконструкції гірничих підприємств.

Обґрунтовано раціональні параметри робочої зони Мотронівсько-Аннівської ділянки розсипу Малишевського родовища (м. Вільногірськ) і технологію ведення гірничих робіт в кар'єрі, а також розроблені рекомендації

щодо оцінки стійкості укосів кар'єрів з урахуванням геологічних та гідрогеологічних характеристик породного масиву.

Обґрунтовано ефективність застосування засобів інженерного захисту для стабілізації зсувного схилу г. Могабі (АР Крим, 2013) з використанням анкерних утримуючих конструкцій.

Результати дисертаційної роботи у вигляді методики оцінки стійкості природних схилів методом чисельного моделювання впроваджено в навчальний процес на кафедрі екології та технологій захисту навколишнього середовища НТУ «Дніпровська політехніка».

**Результати роботи і положення дисертації опубліковані в 56 наукових працях, основними з яких є наступні:**

1. Ковров А.С. Управление устойчивостью карьерных откосов: монография / М.Б. Нурпеисова, А.С. Ковров. – Днепропетровск: Літограф, 2016. – 363 с.

2. Ковров А.С. Геомеханическая оценка устойчивости бортов карьеров и отвалов: монография / Б.Р. Ракишев, А.Н. Шашенко, А.С. Ковров. – Алматы: «Гылым», НАН РК, 2017. – 234 с.

3. Ковров О.С. Сучасна роль університетів ресурсів у забезпеченні стійкого екологічного розвитку гірничовидобувних регіонів / Г.Г. Півняк, О.С. Ковров, А.Ю. Череп // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. – №1. – С. 77–83. (Наукометрична база **Scopus**).

4. Ковров А.С. Экосистемный подход при лесотехнической рекультивации техногенных ландшафтов / Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2013. – №40. – С. 194–203.

5. Ковров О.С. Оцінка впливу гідрогеологічних характеристик ґрунтів на стійкість природних схилів для прогнозу зсувів / Екологічна безпека. – 2013. – №1(15). – С. 72–76.

6. Ковров А.С. Геомеханическая оценка устойчивости оползневого склона методом конечных элементов / Е.А. Сдвижкова, А.С. Ковров, К.К. Кириак // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – №2. – С. 86–92. (Наукометрична база **Scopus**).

7. Kovrov O.S. Modern approaches to slope stability valuation while surface mining / К. Seituly, А.Н. Shashenko, O.S. Kovrov // Scientific Bulletin of the National Mining University. – 2014. – Vol. 5. – P. 51–57. (Наукометрична база **Scopus**).

8. Kovrov O.S. Investigation of physical and mechanical properties of subsident soils at the Yevpatoriyskaya ravine located in the City of Dnepropetrovsk / O.V. Solodyankin, O.S. Kovrov, N.N. Ruban // Scientific Bulletin of the National Mining University. – 2015. – Vol. 1. – P. 15–20. (Наукометрична база **Scopus**).

9. Ковров А.С. Вероятностно-статистическая модель прочности породного массива / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, А.С. Ковров // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ». – 2015. Вип. 28. – С. 18–28.

10. Ковров А.С. Оценка масштабного эффекта в массиве горных пород / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, А.С. Ковров // Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського. – 2015. – №3(92). – Ч.1. – С. 111–116. (Наукометрична база **Index Copernicus**).

11. Ковров А.С. Геомеханическая оценка армирующих свойств корневых систем древесной растительности на склонах и техногенных откосах / Б.Р. Ракишев, А.С. Ковров, В.В. Федотов // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2015. – С. 355–362.

12. Ковров А.С. Влияние обводненности насыпного массива пород на геомеханическую устойчивость участка циклично-поточной технологии / А.С. Ковров, Е.В. Бабий, Б.Р. Ракишев, А.Е. Куттыбаев // Mining of Mineral Deposits, 2016. – Vol.10. – Issue 2, – pp. 55–63. (Наукометрична база **Web of Sciences**).

13. Ковров А.С. Критерий разрушения структурно неоднородных материалов / А.Н. Шашенко, А.С. Ковров, Б.Р. Ракишев // Mining of Mineral Deposits. – 2016. – Vol. 10. – Issue 3, – pp. 84–89. (Наукометрична база **Web of Sciences**).

14. Kovrov O.S. Comparative analysis of two failure criteria for rocks and massifs / O.M. Shashenko, O.S. Kovrov // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2016. – Vol. 6(156). – P. 54–59. (Наукометрична база **Scopus**).

15. Ковров А.С. Геомеханическое обоснование параметров рабочей зоны карьера в условиях повышенной обводненности / Б.Е. Собко, А.С. Ковров, А.Ю. Череп // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2017. – №3. – С. 64–76.

16. Kovrov O.S. Slope stability assessment of hydraulic-fill soil dams and fill-up embankments / O.S. Kovrov, K.S. Prychyna // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. – Vol. – №6(162). – P. 97–105. (Наукометрична база **Scopus**).

17. Ковров А.С. Вероятностно-стохастическая модель распределения физико-механических свойств мягких горных пород / Е.А. Сдвижкова, А.С. Ковров, Т.В. Мнищенко // Вісник ЖДТУ/Технічні науки. – 2017. – №2. – С. 189–199.

18. Ковров О.С. Методика оцінки зсувонебезпечності природних схилів яружно-балочної мережі м. Дніпро / О.С. Ковров, Ю.В. Бучавий, В.В. Федотов, А.Г. Рудченко // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2017. – №52(33). – С. 347–360.

19. Ковров О.С. Статистика природних зсувів в світі та Україні / О.С. Ковров, Ю.В. Бучавий // Екологічна безпека. – Кременчук: Вид-во КрНУ. – 2017. – №2(24). – С. 14-20.

20. Kovrov O.S. Evaluation of the influence of climatic and geomorphological factors on landslides development / V.Ye. Kolesnik, O.S. Kovrov, Yu.V. Buchavyi // Екобезпека та природокористування. – 2018. – № 1(25). – С. 52–63.

21. Ковров О.С. Екологічна небезпека зсувів в національному та регіональному контексті / Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2018. – №53(34). – С. 278–289.



22. Ковров О.С. Прогнозна оцінка зсувонебезпеки в регіонах України та на локальних територіях яружно-балочної мережі / В.Є. Колесник, О.С. Ковров // Екологічні науки. – 2018. – № 1(20), Т.1. – С. 32–38.

23. Ковров О.С. Статистична оцінка міцнісних властивостей глинистих порід / О.А. Сдвижкова, О.С. Ковров, Т.В. Мніщенко // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2018. – №54. – С. 240–252.

24. Kovrov O. Development of the landslide hazard control system of natural and man-made slopes / O. Kovrov, V. Kolesnyk // Technology audit and production reserves: Industrial and technology systems. – 2018. – Vol. 6/3 (44). – P. 21–25. (Наукометрична база **Index Copernicus**).

25. Ковров А.С. Анализ критериев прочности применительно к оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов / Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев, Г.К. Саменов, А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2013. – №5. – С. 20–27.

26. Ковров А.С. Численное моделирование геомеханических процессов во внутренних отвалах на наклонном основании / Б.Р. Ракишев, А.Н. Шашенко, С.К. Молдабаев, А.С. Ковров, К. Сеитулы // Промышленность Казахстана. – 2013. – № 80 (№5). – С.79–82.

27. Ковров А.С. Лабораторные исследования физико-механических характеристик мягких вскрышных пород / Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев, Н.Н. Рубан, А.С. Ковров // Вестник академии наук Республики Казахстан. – 2014. – №5. – С. 43–51.

28. Kovrov O.S. On the issue of analytical and empirical criteria application for rock failure assessment / A.N. Shashenko, B.R. Rakishev, A.A. Mashanov, O.S. Kovrov // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London. – 2015. – P. 143–150.

29. Ковров А.С. Применение многофакторных номограмм для оценки устойчивости откосов и отвалов / Б.Р. Ракишев, А.Н. Шашенко, С.К. Молдабаев, А.С. Ковров // Горный вестник Узбекистана. – 2015. – №2. – С. 12–18.

30. Ковров А.С. Обеспечение геомеханической устойчивости насыпей для конвейеров при циклично-поточной технологии / Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев, А.С. Ковров, Е.В. Бабий // Вестник НАН Республики Казахстан. – 2016. – Т.2, №360. – С. 103–110.

31. Ковров А.С., Ракишев Б.Р., Шашенко А.Н., Куттыбаев А.Е. Способ внутреннего отвалообразования на наклонном основании. Инновационный патент на изобретение №30970 по заявке № 2014/1796.1/15.03.2016, бюл. №3.

32. Ковров А.С., Ракишев Б.Р., Шашенко А.Н., Ракишева З.Б. Способ повышения устойчивости внутренних отвалов на наклонном основании. Инновационный патент на изобретение №31418 по заявке № 2014/1795.1/15.03.2016, бюл. №3.

33. Ковров О.С., Терещук Р.М., Труфанова О.І. Патент UA110976U на корисну модель. Спосіб побудови паспорта міцності гірських порід/



винахідники Ковров О.С., Терещук Р.М., Труфанова О.І. Власник: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»; заявл. 19.04.2016 ; публ. відомостей 25.10.2016, Бюл. №20.

34. Ковров А.С. Оценка сейсмических воздействий на устойчивость откосов насыпного массива / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – №5. – С. 96–104.

35. Ковров А.С. Многофакторный анализ устойчивости высоких внутренних отвалов в условиях полого-наклонного основания / Б.Р. Ракишев, А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // *Форум гірників – 2013: Матер. міжнар. конф. (2–5 жовтня 2013 р.)*. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ». – 2013. – Т.1. – С. 204–212.

36. Kovrov O.S. Slope stability analysis by Hoek–Brown failure criterion / O.S. Kovrov, O.M. Shashenko, B.R. Rakishev // *Proceedings of the 22nd international conference «Mine Planning and Equipment Selection (MPES)» (14th – 19th October 2013, Dresden)*, Springer International Publishing Switzerland. – Vol.1. – PP. 541–550.

37. Kovrov O.S. Estimating stability of internal overburden dumps on the inclined foundation by Bishop criterion / B.R. Rakishev, O.M. Shashenko, O.S. Kovrov, G.K. Samenov // *12th International Symposium Continuous Surface Mining (ISCSM) (September 21–24, 2014, Aachen, Germany)*, Springer International Publishing Switzerland. – Vol. 1. – PP. 109–114.

38. Ковров А.С. Проблемы оползней на карьерах / А.С. Ковров, Б.Р. Ракишев, А.У. Кожантов, К. Сейтулы // *Форум гірників – 2015: Матер. межд. конф. (30 сентября–3 октября 2015 г.)*. – Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ». – 2015. – Т.1. – С. 108–114.

39. Kovrov O.S. Geomechanical Assessment of Trees and Shrubs Rootage Reinforcing Properties on Slope Stability / B.R. Rakishev, A.N. Shashenko, O.S. Kovrov / *International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production SWEMP–2016 (October 5–7, 2016, Istanbul)*. – P. 1–5.

40. Kovrov O.S. Selection of rational technological schemes of overburden operations under conditions of excessive watering / B.R. Rakishev, O.S. Kovrov, A.Yu. Cherep, A.E. Kuttybayev // *24th World Mining Congress Proceedings “Mining in a World of Innovation”, Section Sustainability in Mining (October 18–21, 2016, Rio-de-Janeiro)*. – Rio de Janeiro: IBRAM, 2016. – PP. 441–447.

41. Ковров А.С. Обеспечение противооползневой устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. *Форум гірників – 2016: Матер. межд. конф. (5–8 октября 2016 г.)*. – Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ». – 2016. – Т.1. – С. 114–123.

42. Ковров А.С. Вероятностно-статистическая оценка физико-механических свойств мягких вскрышных пород / Е.А. Сдвижкова, А.С. Ковров, Т.В. Мнищенко, Б.Р. Ракишев / *Форум гірників – 2017: Матер. межд. конф. (4–7 жовтня 2017 г.)*. – Днепр: ГВУЗ «НГУ». – 2017. – С. 176–183.

43. Kovrov O.S. Geomechanical justification of the working area parameters for the placer deposit quarry under highly watering conditions / B.R. Rakishev, A.E. Kuttybayev, A.Yu. Cherep, O.S. Kovrov // Proceeding of the 26th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES–2017, (29-31 August 2017, Lulea, Sweden). – P. 357–362.

44. Ковров О.С. Статистична оцінка фізико-механічних характеристик суглинків для прогнозу зсувонебезпечності схилів / О.О. Сдвижкова, О.С. Ковров, Т.В. Мнішенко // «Перспективи розвитку будівельних технологій»: 12 міжнар. наук.-практ. конференція молодих вчених, аспірантів і студентів (19–20 квітня 2018 р.). – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка». – 2018. – С. 58–61.

**Внесок автора в роботи, що опубліковані у співавторстві:** [1–2] – розвинуто методологічні основи оцінки геомеханічної стійкості кар’єрних укосів та прогнозу зсувонебезпечності геотехнічних об’єктів; [19, 20, 22, 38] – проаналізовано поширення природних та техногенних зсувів в світі та Україні, оцінено вплив кліматичних та геоморфологічних факторів на зсувонебезпечність на регіональному та локальному рівнях; [3] – відзначено основні засади забезпечення стійкого екологічного розвитку гірничодобувних регіонів; [6, 12, 15, 16, 26, 30, 35, 36, 37, 40, 43] – виконано геомеханічну оцінку стійкості природних схилів та техногенних укосів і прогноз їх зсувонебезпечності з використанням методів чисельного моделювання; [7, 9, 10, 13, 14, 17, 23, 25, 28, 42, 44] – обґрунтовано основні методологічні підходи щодо оцінки міцнісних властивостей м’яких гірських порід, вибору критерію руйнування для оцінки стійкості природних схилів та техногенних укосів, оцінки масштабного ефекту; [8, 23, 27, 42, 44] – лабораторні дослідження міцнісних властивостей м’яких суглинистих порід; [11, 18, 24, 29, 31–33, 39] – обґрунтування інноваційних методів оцінки стійкості схилів та укосів і впровадження заходів щодо управління їх зсувонебезпечністю.

## АНОТАЦІЯ

Ковров О.С. Управління зсувонебезпечністю природних схилів та техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничча механіка», 21.06.01 – «Екологічна безпека». – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми удосконалення методології геомеханічної оцінки та прогнозу стійкості природних схилів та техногенних укосів з неоднорідною структурою та управління їх зсувонебезпечністю на регіональному та локальному рівнях.

Встановлено, що вологонасичення м’яких суглинистих порід є головним

фактором зсувонебезпечності. Обґрунтовано геокліматичну модель зсувонебезпечності для регіонів України та яружно-балочної мережі, яка дозволяє обчислювати кількість зсувів на території залежно від атмосферних опадів. Встановлено ефект переходу від нормального до рівномірного закону розподілу фізико-механічних характеристик суглинків за рахунок коливань їх вологонасичення та відповідно зменшення їх міцнісних властивостей. Обґрунтована оціночна шкала зсувонебезпечності природних схилів і техногенних укосів для управління їх стійкістю та запобігання екологічній і техногенній небезпеці від зсувів. Встановлено закономірності зниження міцнісних властивостей суглинистих ґрунтів залежно від вологонасичення.

**Ключові слова:** стійкість природних схилів і техногенних укосів, зсувонебезпечність, масив м'яких гірських порід, суглинки, геокліматичні умови, вологонасичення порід, зчеплення, кут внутрішнього тертя, коефіцієнт запасу стійкості, прогноз і управління

## АННОТАЦІЯ

Ковров А.С. Управление оползнеопасностью природных склонов и техногенных откосов с неоднородной структурой в меняющихся геоклиматических условиях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика», 21.06.01 – «Экологическая безопасность». – Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научной проблемы совершенствования методологии геомеханической оценки и прогноза устойчивости природных склонов и техногенных откосов с неоднородной структурой и управления их оползнеопасностью на региональном и локальном уровнях.

Выполнен анализ статистических данных по развитию и распространению оползней в мире, Украине и на территории Днепропетровской области в контексте экологической и техногенной безопасности.

Предложена геоэкологическая модель оценки оползнеопасности региона, которая позволяет определять ожидаемое количество оползней на 1000 км<sup>2</sup> территории. Обоснована геоклиматическая модель оползнеопасности для овражно-балочной сети, которая позволяет вычислять количество атмосферных осадков для возникновения одиночного оползня.

Разработана и апробирована на практике методика комплексного геоэкологического обследования природных склонов овражно-балочной сети на примере г. Днепр, основанная на данных полевых исследований и натурных наблюдений, данных экспертных оценок, картографических материалов с

дешифрованными аэрофотоснимками, а также методике формирования контрольного списка по матрице Леопольда для оценки оползнеопасности природных склонов и прогнозирования тенденции к возникновению оползней по функции желательности Харрингтона.

Предложен модифицированный критерий Кулона-Мора для оценки прочности массива мягких пород.

Исследовано явление масштабного эффекта в массивах со статистически неоднородной средой.

Выполнена серия испытаний образцов просадочных грунтов, представленных светло-желтыми лессовыми суглинками и темно-бурыми суглинками, с использованием одноплоскостного срезного прибора ПС-10. Определены значения сцепления, угла внутреннего трения и сопротивления сдвигу для покрывающих пород. Установлены зависимости изменения физико-механических характеристик суглинков от степени их влагонасыщения.

Построены статистические распределения значений угла внутреннего трения и сцепления при различных значениях влагонасыщения суглинков.

Установлен эффект перехода от нормального к равномерному закону распределения физико-механических характеристик суглинков за счет колебаний их влагонасыщения и снижения их прочностных свойств.

Обоснована оценочная шкала оползнеопасности природных склонов и техногенных откосов для управления их устойчивостью и предотвращения экологической и техногенной опасности от оползней.

Установлены закономерности развития оползневых процессов в естественных склонах овражно-балочных сетей, искусственных откосах карьеров и геотехнических сооружениях с использованием численного моделирования методом конечных элементов.

Разработанная структурно-логическая схема управления оползнеопасностью на региональном и локальном уровнях, основанная на современных методологических подходах к оценке и прогнозу устойчивости природных склонов и искусственных откосов.

Разработана методика многофакторных номограмм устойчивости откосов с учетом горно-геологических условий и геометрических параметров, которые позволяют определять значения  $KЗУ$  и оползни пород  $U_{x-y}$  в приоткосном массиве, управлять устойчивостью откосов уступов на карьерах путем изменения их геометрических параметров.

Разработаны и апробированы инновационные мероприятия по фиторекультивации поверхности откосов породных отвалов на действующих и ликвидированных шахтах.

**Ключевые слова:** устойчивость природных склонов и техногенных откосов, оползнеопасность, массив мягких горных пород, суглинки, геоклиматические условия, влагонасыщение пород, сцепление, угол внутреннего трения, коэффициент запаса устойчивости, прогноз и управление

**ABSTRACT**

Kovrov O.S. Controlling landslide hazard of natural and technogenic slopes with heterogeneous structure in changing geo-climatic conditions. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for a nomination of a Doctor of Technical Sciences Degree in specialties 05.15.09 – “Geotechnical and Geomechanics”, 21.06.01 – “Environmental safety”. – National Technical University “Dnipro Polytechnic” of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2018.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific problem of improving the methodology of geomechanical assessment and prognosis of the stability of natural and man-made slopes with heterogeneous structure and controlling their landslide hazard at the regional and local levels.

It has been established that the moisture content of soft loamy rocks is the main factor of landslide hazard. The geo-climatic model of landslide hazard for the regions of Ukraine and for the ravine-gully network, which allows predict the number of landslides in the territory depending on atmospheric precipitation, is substantiated. The effect of the transition from the normal to the uniform law of physical-mechanical properties distribution of loams due to moisture content variations and, consequently, the reduction of their strength properties, is established. The estimated scale of the landslide hazard of natural and technogenic slopes for controlling their stability and prevention of ecological and technogenic danger from landslides is justified. The regularities of reducing the strength properties of loamy soils depending on moisture saturation are established.

**Key words:** stability of natural and man-made slopes, landslide hazard, soft rock mass, loams, geo-climatic conditions, moisture, cohesion, angle of internal friction, safety factor, prognosis and controlling

КОВРОВ Олександр Станіславович

УПРАВЛІННЯ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНІСТЮ ПРИРОДНИХ СХИЛІВ  
ТА ТЕХНОГЕННИХ УКОСІВ З НЕОДНОРІДНОЮ СТРУКТУРОЮ  
В МІНЛИВИХ ГЕОКЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

(Автореферат)

Підписано до друку 15.02.2019. Формат 60x90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 2,0.  
Обл.-вид. арк. 2,0. Тираж 100 прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Типографія «Atmosfera». Ідентифікатор видавця у системі ISBN: 2267  
Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:  
49000, м. Дніпро, вул. О. Гончара 15-б  
тел: (063)359-83-09, (050)452-10-81. Е-mail: [8102@ukr.net](mailto:8102@ukr.net)