

УДК 624.131.7

**КЛАСИФІКАЦІЯ І ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ЗСУВНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ СХИЛІВ****І.І. Солодей,**

д-р техн. наук, професор

Е.Ю. Петренко,

канд.техн. наук, доцент

В.М. Павленко,

аспірант

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680*

DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.184-202

У роботі розглянуто найбільш розповсюджені класифікації зсувних процесів і систем. Проаналізовано фактори, що призводять до виникнення, активізації та розвитку зсувів. Проведено розгляд найпоширеніших методів і підходів для розрахунку стійкості схилів та визначення зсувного тиску.

Ключові слова: зсуви, зсувні та зсувонебезпечні території, поверхня ковзання, коефіцієнт стійкості, методи розрахунку схилів.

Вступ. Будівельна галузь постійно потребує залучення все більшої кількості потенційних майданчиків для проектування та зведення будівель і споруд різного призначення. Така необхідність примушує до використання територій, які у недалекому минулому або не розглядалися взагалі як майданчики будівництва, або розглядалися частково. До таких сильно еродованих територій відносяться зсувні та зсувонебезпечні ділянки. При проектуванні на таких ділянках необхідно враховувати не тільки природні зсувні процеси, що впливають апріорі, а й оцінювати існуючі техногенні фактори, що виникли при будівництві та експлуатації будівель і споруд. Навіть незначне локальне збільшення техногенного навантаження може спричинити зсувні деформації. Тому визначення можливості виникнення та оцінка ступеня впливу того чи іншого техногенного фактора або їх комбінації на таких територіях є актуальним і потребує ретельного вивчення.

Взаємодія техногенних чинників з існуючими природними умовами на схилі створюють нову картину його напружено деформованого стану. Вирішення такого класу завдань можливе лише з використанням чисельних методів. Це дає можливість моделювати роботу системи «основа-схил-спорудження» в умовах дії обумовленого техногенного фактора та оцінити його вплив у загальній системі сил, що діють на схилі. Значна вартість натурних експериментів і неможливість у деяких випадках їх проведення через складність моделювання реальних процесів, визначили широке поширення математичних, аналітичних і чисельних методів,

особливе місце серед яких займає метод скінчених елементів (МСЕ). У той самий час, у межах МСЕ, при розрахунках схилів недостатньо висвітлені питання використання нелінійних моделей ґрунтових основ для побудови дискретних схем. Таким чином, розробка та реалізація об'єктно-орієнтованих ефективних чисельних підходів вирішення задач нелінійного деформування ґрунтового середовища і стійкості схилів є актуальною проблемою будівельної механіки для реалізації інженерного захисту територій, що становить практичний інтерес.

1. Класифікація зсувів. Зсув – це процес зміщення масиву гірських порід, що відокремився від схилу з утворенням стінки відриву і збереженням зв'язку з ним [36]. По мірі того, як зсув відривається від більш стійкої частини схилу і зміщується вниз, у верхній частині зсувного масиву утворюється уступ або крута увігнута стінка – стінка відриву зсувного тіла (рис. 1).

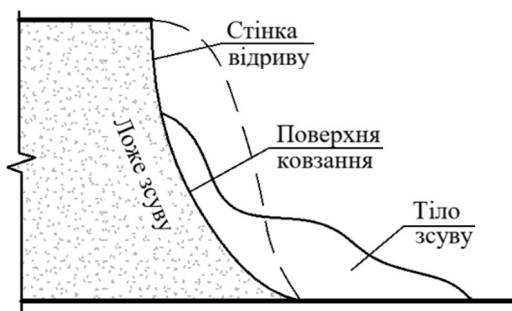


Рис. 1. Складові частини зсуву

Шантукова Д.А. [36] зазначає, що поверхня, по якій відбувається відрив і зсув, є поверхнею ковзання. Геометрична форма поверхні може бути різною: площина, сфера, ламана поверхня. У звичайних умовах поверхня ковзання виявляється нерівною і через це маса, що зміщується,

розбивається на ряд блоків, відокремлених один від одного тріщинами і площинами сколу. Порооди, що змістилися, прийнято називати зсувним тілом, що має складну геометричну форму. Необхідно відзначити, що перебіг зсувного процесу здійснюється за допомогою взаємодії системи двох тіл – одного рухомого (тіло зсуву) та іншого нерухомого (ложе зсуву). Механізм зміщення зсуву залежить від матеріалу та швидкості переміщення, яку він набуває. Більш чітко визначення та приклад виникнення зсувів, на нашу думку, навів у своїх дослідженнях Калінін І.В. [13]. Так автор стверджує, що під зсувними явищами розуміють раптовий чи поступовий відрив масиву гірських порід та рух їх схилом під впливом сили тяжіння. Зсувами називають також масиви вже зміщених гірських порід схилу, включаючи лінії відриву, зони пересування та накопичення ґрунтів. Зазначається [13], що зсувні процеси виникають у тих випадках, коли дотичні напруги стають більшими за опір зсуву на даній ділянці схилу.

Зсуви відносяться до схилових процесів і класифікуються за багатьма схемами з виділенням ознак, необхідних для виявлення, контролю, стабілізації та інших критеріїв, включаючи визначення типу руху, швидкості руху, морфології ділянки накопичення, віку, причини та

ступеня невіршеності зміщених мас, залежності морфології зсуву від геологічної структури, ступеня активності тощо [20].

За глибиною залягання поверхні ковзання розрізняють зсуви [16]:

- глибокі – до 20 м;
- поверхневі – не глибше 1 м – опливини, спливи;
- дрібні – до 5 м;
- дуже глибокі - глибше 20 м.

Дранніков А.М. [9] класифікував зсуви за трьома ознаками: характер зміщення гірських порід, глибина захоплення схилу зсувною деформацією, морфологічні особливості зсувів. Зсуви об'єднувалися у дві групи: поверхневі, що розвиваються в зоні сезонних змін кліматичних показників (зсуви-опливини та зсуви-потоки) і глибинні (ковзання, зсуви видавлювання, суффозійні, контактні).

Поверхневими називають зсуви, що захоплюють лише частину схилу. Поверхневі зсуви утворюються в результаті перезволоження верхньої частини товщі ґрунту і супроводжуються зміною консистенції та зменшенням опору зсуву при інфільтрації дощових вод. Вода, що просочилася в проникну породу, просочуючи її, значно збільшує вагу породи і створює нестійкість мас.

Під глибокими розуміються зсуви, що захоплюють весь схил від брівки до урізу.

У своїй роботі Зеркаль С.В. [11] зазначає, щотиби зсувів можуть бути дуже різноманітними, в залежності від комплексу природних чинників. На жаль, досі немає загальноприйнятої класифікації зсувів, що зумовлено різницею термінологічної, а іноді й понятійної бази у різних країнах світу. В даний час число класифікацій зсувів досить велике. Вони базуються на різних принципах і не завжди мають чітке цільове призначення. Широко відомі універсальні класифікації зсувів: А.П. Павлова, Ф.П. Саваренського, Н.Н. Маслова, А.М. Драннікова, Г.С. Золотарева, О.П. Ємельянової, К. Терцагі, С. Шарпа, Д. Варнеса, Е.Б. Еккеля.

В результаті аналізу класифікацій зсувів зазначених дослідників автор [11] виділяє п'ять видів схилових деформацій: обвалення, обрушення, ковзання, видавлювання та перебіг.

Тихвинський І.О. [29] встановив класифікацію зсувів за різними ключовими ознаками: генезису, морфології і розміру зсувних зміщень, їх механізму, приналежності до певних комплексів гірських порід, швидкості руху та іншими. Для вирішення задач локального прогнозу стійкості схилів найбільш корисними являються класифікації за механізмом зсуву, так як результати зсуву неоднозначні за характером деформацій.

На основі аналізу відомих класифікацій автором [30] була складена схема типізації, що включає наступні типи та підтипи зсувів за механізмом: зсуви зрушення (ковзання) – зрізні, консеквентні та зрізно-консеквентні; видавлювання; в'язкопластичні – зсуви-потоки, спливи та оливини; гідродинамічного руйнування – суффозійні та гідродинамічного випору; раптового розрідження – несейсмогенного та сейсмогенного розрідження; комбінованого механізму. Типізація

виконана таким чином, щоб кожному типу та підтипу зсувів відповідали специфічні особливості розрахунків стійкості та прогнозу зсувних рухів.

Маркарян В.В. [17] зсувні процеси поділяє на дві групи. У першу групу об'єднуються контактна та об'ємна повзучість, що супроводжуються мікрореформаціями, у другу – ковзання та текучість, що дають макрореформації. Зсувні мікрореформації протікають, як правило, без видимого порушення суцільності порід. Амплітуда мікрореформацій визначається критичною деформацією після досягнення якої відбувається руйнування породи з утворенням макротріщин. Після руйнування початкової структури породи слідує макрореформації і переміщення швидкість яких перевищує 0,3 мм/добу і змінюється у широких межах.

Чалкова Ю.С. [34] передбачає виділення власне зсувів, і навіть їх різновидів, як спливів (чи спливин) і зсувів – обвалів. Власне зсуви відбуваються лише шляхом ковзання земляних мас схилом. Площина ковзання зазвичай розташовується на значних глибинах. Спливи – зміщення земляних мас на невеликій площі (сотні квадратних метрів) внаслідок водонасичення верхніх шарів. Глибина залягання площини ковзання до 1 м і властива весняному періоду року. Зсуви-обвали є зміщенням земляних мас одночасно за типом ковзання і обвалу і типові для крутих схилів.

Soren M. Andersen [40] стверджує, що в геологічній літературі, зсуви використовуються як загальний знаменник для процесів, включаючи каменепади, зрушення, селеві потоки, уламкові лавини, а також ковзання вздовж ковзної площини.

Астанін І.А. [2] на основі аналізів, опублікованих у різні роки (1903 – 2010) відомих універсальних класифікацій зсувів встановив, що при горизонтальному заляганні порід, характерних для річкових долин властиві простіші умови зсувоутворення. Тому на думку автора, для території дослідження підходить наступна класифікація зсувних процесів, де виділяється кілька різновидів зсувів (таб. 1).

Таблиця 1

Класифікація зсувів за ознаками

№ п/п	Класифікаційна ознака	Різновиди зсувів
1	Розмір	Дрібні, середні, великі
2	Механізм зміщення	Ковзання, видавлювання, випливання, просідання-течі
3	Форма у плані	Циркоподібні, фронтальні, зсуви-потоки, блокові зсуви
4	Закономірності формування зсувного схилу	Одноярусні, двоярусні, багатоярусні
5	Вік	Старі, молоді, сучасні
6	Геологічні умови	Зсуви із захопленням корінних порід, зсуви поверхневих відкладень
7	За проявом активності	Активні, частково активні, стабілізовані (чи старі)

Петров Н.Ф. [23, 24] у своїх працях поділяє зсуви на прості та складні. Прості зсуви – це одноблочні утворення. Їм відповідає простий механізм або проста система з двох тіл – зсувного (зсувне тіло) і нерухомого (ложе зсуву). Різноманітність простих зсувів визначається різноманітністю типів рухів зсувних тіл (блоків) і геологічних процесів, що зменшують міцність ґрунтів основи зсувних тіл. Блоки – це елементи зсувної системи, всі точки яких характеризуються однаковим типом руху та деформаційної поведінки. Складний зсув – це багатоблочний зсув або закономірне поєднання простих зсувів. Зсуви представлені цілісними багатокомпонентними системами ярусної, поверхової будови. Зсувний ярус – зсувне тіло другого рівня організації (одноблочні або багатоблочні), що характеризується загальною стінкою зриву та загальним язиком. Зсувний поверх – зсувне тіло третього рівня організації, представлене одним ярусом або декількома ярусами, розташованими один над одним. Різноманітність складних зсувів визначається різноманітністю природних поєднань структурних компонентів різної будови та складу. Поняття простий і складний стосовно зсувів логічніше пов'язувати зі структурною складністю зсувних систем, а не з масштабністю явищ і тим більше, не з випадками переходу зсуву в інше явище, наприклад, обвал, осип, і навпаки. Навіть грандіозний за розмірами зсув може бути простим за будовою. Випадки переходу рухів одного класу (обвал) до руху іншого (зсув) слід називати не складними зсувами, а складними схилувими рухами.

Варто зазначити, що найбільш повну та детальну класифікацію зсувів, на нашу думку, на підставі раніше відомих класифікацій, зробив Петров Н.Ф. [24, 25]. Автор запропонував єдину уніфіковану класифікацію зсувів (ЄУКЗ), у якій втілює теоретико-методологічні засади загального зсувознавства. Вона представлена класифікаційними таблицями простих і складних зсувів, покликаними охопити всю природну різноманітність зсувних систем за складністю будови, механізмом розвитку і за обсягами мас, що зміщуються (рис. 2).

Арешковичем О.О. [1] виділено ряд основних факторів на різних етапах, які можуть впливати на напружено-деформований стан ґрунтової основи зсувонебезпечної території:

- природні – рельєф, геологічна будова, гідрогеологічні умови, геоморфологія, кліматичні умови та біологічні процеси, сейсмічні явища, процес вивітрювання;
- техногенні – наявність підземних споруд, стан дренажних штольневих систем у період експлуатації, підрізання схилу у підніжжі, привантаження брівки схилу, заповнення ярів та балок слабкими ґрунтами;
- технологічні – динамічні навантаження, неефективні протизсувні заходи;
- антропогенні – невідале терасування, вирубування лісів;
- спеціальні – суфозія, гідродинамічна сила, кольматація, тиксотропія.

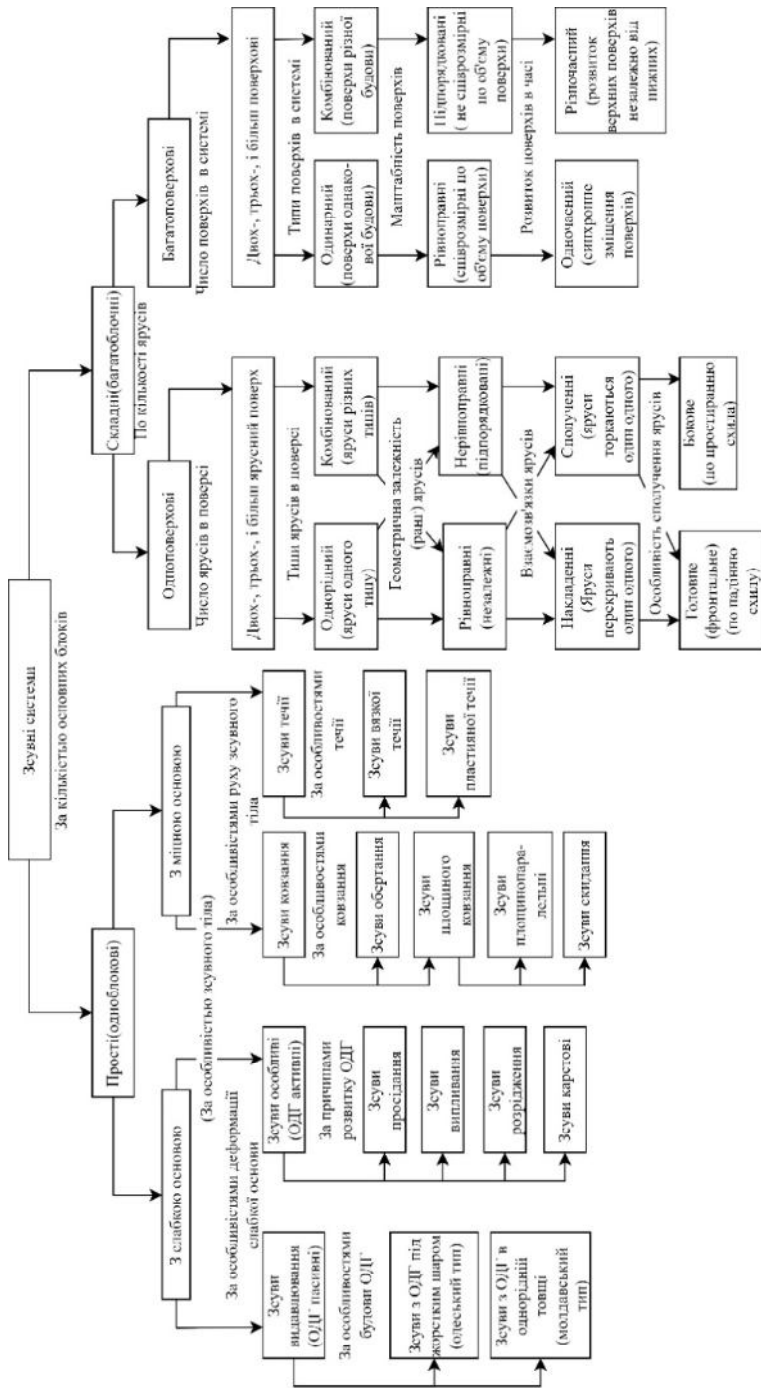


Рис. 2. Класифікація зсувних систем

У своїй науково-дослідній роботі Чернишова Н.А. [35] встановила, що на розвиток зсувних процесів впливають як природні, так і техногенні фактори.

До природних факторів вона віднесла особливості геологічної будови схилу, наявність у розрізі слабо літіфікованих порід з низькими значеннями показників міцності, обводненість порід за рахунок підземних вод неоген-палеогенових відкладень, наявність добре проникних лесових і піщаних ґрунтів, а також велика крутість схилу (більше 40°) при його висоті 50 – 55 м.

До техногенних факторів відносяться; будівництво об'єктів у безпосередній близькості від брівки схилу, витоку з водонесучих комунікацій; відсутність належного поверхневого стоку, а також інтенсивний рух транспорту по автомагістралі, що проходить у безпосередній близькості від зсувного схилу.

Результатом аналізу науково-технічної літератури з метою виявлення факторів, що впливають на зсувні деформації схилів, стала узагальнена таблиця 2 з внесеними до неї факторами, які розділені на природні та техногенні. Слід зазначити, що в деяких умовах природні фактори можуть переходити до категорії техногенних або створювати комбінацію.

Таблиця 2

Чинники які впливають на зсувні деформації схилів

Природні	Техногенні
<ul style="list-style-type: none"> - фізико-механічні властивості ґрунту; - висота, крутість, форма, гідрологічні умови схилу; - опади; - підмив берегів; - землетруси; - підвищення зволоженості; - вивітрювання; - підземні та поверхневі води; - сейсмічні поштовхи; - тектонічні рухи; - клімат; - рослинність; - водотоки; - динамічні дії хвиль; - фільтраційний тиск; - видавлювання; - дія льоду; - набухання при гідратації порід; - іонний обмін у глинах; - вилуговування та розчинення солей; - гравітаційний вплив; - зниження міцності; - винесення частинок ґрунту порід підземними водами. 	<ul style="list-style-type: none"> - підрізання схилів; - будівельна діяльність; - вирубка лісів; - вібраційні та вибухові роботи; - випасання худоби; - завантаження схилів; - зміна властивостей, стану та обсягу порід, що складають схил; - створення кар'єрів та водосховищ; - витік вод; - відвал ґрунту; - дренажні та штольневі системи; - заповнення ярів та балок слабкими ґрунтами.

2. Нормативні та традиційні методи розрахунку схилів. Відповідно до нормативних документів [42] проектування фундаментів об'єктів, розташованих на схилах, потрібно виконувати з урахуванням можливості дії зсувних процесів згідно з ДБН В.1.1-46:2017 [43] щодо заходів захисту об'єктів на зсувонебезпечних територіях.

При проведенні інженерно-геологічних вишукувань фізико-механічні властивості ґрунтів повинні вивчатися для зсувної зони, товщі що підстиляється, прилеглих ділянок і в зоні зсуву окремо.

Розрахунки схилів необхідно проводити за другим граничним станом для врахування взаємодії об'єктів з ґрунтовим масивом у дограничній стадії.

Розрахунки протизсувних споруд проводять за граничними станами першої (міцністю та стійкістю) і другої (деформаціями) груп.

Статичні розрахунки утримуючих споруд потрібно виконувати як просторові системи відповідно «основа – утримуюча споруда» та «основа – фундамент – надфундаментні конструкції».

Визначення стійкості схилів, величин зсувного тиску та навантажень від обвалів встановлюють за допомогою [44].

Розрахунками необхідно встановлювати:

- маси порід, що зміщуються або готуються до зсуву по схилах;
- відношення діючих на певні частини схилів, в певний момент часу зрушуючих і утримуючих сил (у тому числі, коефіцієнти стійкості);
- різниці між зсувними та утримуючими силами за певними поверхнями на різних рівнях.

Вплив водоносних горизонтів, що дренуються на схилах, на стійкість схилів необхідно враховувати за умов зволоження порід, зважування, фільтраційного тиску, суффозійного виносу.

Гідрологічні розрахунки слід проводити з урахуванням швидкості абразії (ерозії), швидкості зміни рівня води на базисі ерозії, величин водозбірних басейнів, стік з яких направлений на ділянку схилу, що розглядається, з метою виявлення можливості зволоження порід присхилового масиву, надходження води в тріщини та у схиліві відкладення.

Сейсмічні впливи необхідно враховувати окремо, визначаючи зміну напружено-деформованого стану і властивостей міцності ґрунтів при проходженні в них сейсмічних хвиль, а також сейсмічних навантажень від мас ґрунтів, будівель і споруд.

При підготовці розрахункових схем стійкості схилів та величин зсувного тиску, розробці алгоритмів розрахунку та побудові математичних моделей схилів слід враховувати всі природні та техногенні навантаження і впливи та діапазони їх зміни, а також можливі діапазони зміни міцнісних характеристик ґрунтів і умов, за яких ці зміни можуть відбутися. При цьому особливу увагу слід приділяти положенню горизонтів, що піддаються зовнішнім впливам (основних горизонтів, що деформуються, ослаблених поверхонь і зон), їх розмірам і орієнтації.

Методи розрахунку стійкості схилів вибираються в залежності від інженерно-геологічних умов схилових ділянок та виду деформацій зсувних ґрунтів.

Розрахункові схеми повинні враховувати:

- потужності зон деформованих горизонтів, зони стиснення, розривні порушення тощо;
- типи зсувних деформацій схилів за механізмом зміщення;
- основні зсувоутворюючі фактори та їх вплив на утворення, розвиток та активізацію зсувів;
- різні види навантажень та впливів (постійних і тимчасових), їх поєднання (основні, особливі);
- вплив існуючих і тих, що проектуються, будівель і споруд на стійкість схилів;
- зміна з часом міцності ґрунтів з урахуванням можливої зміни їх вологості, впливу підземних вод, навантажень на поверхні схилу тощо.

Розрахунки зсувних (зсувнебезпечних) схилів, сформованих шаруватою товщею піщаних, глинистих і скельних ґрунтів, слід проводити за схемами плоского, змішаного та глибокого зсувів по плоскій, ламаній або змішаній площинах ковзання, місце розташування яких вибирають у найслабших шарах, прошарках, по контактних площинах, методом підбору з умови створення максимальних впливів на захисні споруди та заходи. За наявності у схилах шарів глинистих ґрунтів із показниками консистенції більше 0,4. Окрім зазначених вище розрахунків слід передбачати можливість формування в глинистих ґрунтах зон деформованих горизонтів і зміщення по них вищерозташованих мас ґрунтів або видавлювання цих ґрунтів з основи схилів.

При оцінці стійкості схилів слід проводити фільтраційні розрахунки міцності ґрунтів схилу на ділянках височування ґрунтових вод, на межах неоднорідних ґрунтів і за контактами ґрунтів і дренажних обсіпок.

При визначенні опору ґрунтового масиву зсуву (R) на зсувних схилах необхідно враховувати стан ґрунтів у зонах деформування або по поверхнях ковзання та прогноз зміни їх характеристик міцності на термін служби інженерного захисту об'єктів. На зсувних схилах зсувний тиск на будівельний період, що не перевищує 1 місяць, слід визначати з урахуванням тертя та повного зчеплення ґрунтів, а на експлуатаційний період слід враховувати лише опір тертю. На зсувнебезпечних схилах зсувний тиск слід визначати з урахуванням тертя і структурного зчеплення ґрунтів. Величину структурної міцності ґрунтів слід визначати методами польових випробувань на зріз у свердловинах або у гірничих виробках.

Починаючи з 30-х років минулого століття вчені-геотехніки всього світу активно займаються дослідженнями, присвяченими стійкості схилів і укосів. Вагомий внесок у розробку методів оцінки стійкості зробили такі вчені: Соколовський В.В., Бойко І.П., Сахаров О.С., Арешкович О.О., Маслов Н.Н., Білеуш А.І., Дорфман А.Г., Гольдштейн М. Н., Березанцев В.Г., Аристовський В.В., Кремез В.С.,

Светличний А.А., Тер-Мартirosян З.Г., Зоценко М.Л., Рижов А.М., Хазін А.М., Петренко Е.Ю., Price V.E., Bishop A.W., Taylor D. та інші.

Кашлев Р.І. [15] до основних методів прогнозу стійкості укосів та схилів відносить: натурні спостереження (у тому числі метод аналогій); аналітичний; моделювання в лабораторних і натурних умовах.

Найбільший інтерес становлять аналітичні методи, так як вони - дозволяють отримати кількісну оцінку інженерно-геологічних явищ, а значить, можливість їх прогнозування. Методи розрахунку стійкості укосів і схилів можна розділити на такі групи:

1. Наближені (інженерні) методи, засновані на заданні різних обрисів поверхонь ковзання та встановлення їх розташування в приукісній області за мінімальним значенням коефіцієнта стійкості. Ця група методів характеризується великою різноманітністю вибору розрахункових схем, вихідних передумов і розрахункових прийомів. Способи цієї групи застосовуються зазвичай в інженерній практиці для розрахунку стійкості земляних споруд (таких як насипи, виїмки, земляні греблі).

2. Методи, засновані на положеннях теорії граничної рівноваги, що полягають у спільному розв'язанні диференціальних рівнянь рівноваги довільного елемента, виділеного з ґрунтового середовища, та умови граничного напруженого стану, що записуються у залежності Мора (насамперед, праці Соколовського В.В.). Ці методи часто зводяться до вирішення двох практично важливих завдань: визначення величини максимального тиску на горизонтальну поверхню масиву, при якому укис заданого обрису залишається в рівновазі; визначення форми стійкого укосу граничної крутизни.

3. До цього часу з'явилися рішення, що дозволяють аналітично, в замкнутому вигляді, визначати напруження в ґрунтових масивах, обумовлені впливом їхньої власної ваги та інших поверхневих навантажень, при складних контурах, що обмежують поверхню напівплощини. При відомих характеристиках міцнісних властивостей і заданій умові граничного стану ці рішення можуть бути використані для наближеної оцінки стійкості масиву порід.

Цветкова О.В. [33], аналізуючи існуючі розрахункові методи, підкреслює, що успішне розв'язання проблеми можливе тільки при спільному використанні аналітичних і лабораторних методів, а також методу натурних спостережень.

Автор умовно поділяє аналітичні методи на чотири групи:

- засновані на теорії граничної рівноваги, які передбачають, що весь ґрунтовий масив знаходиться в граничному стані;

- що базуються на теорії затверділого відсіку або призми обвалення. У більшості випадків визначається форма поверхні руйнування, що відповідає найменшому запасу стійкості за умови, що гранична рівновага настає одночасно у всіх точках цієї поверхні;

- розрахунку стійкості укосів, що знаходяться у дограничному стані і враховують у тій чи іншій мірі напружено-деформований стан масиву

грунту. У цих методах використовується переважно теорія лінійно-деформованого середовища;

- розрахунку кутів укосів по кутах зсуву.

Цветкова О.В. [33], розробляючи методи розрахунку та прогнозу стійкості навантажених схилів, встановила, що стійкість навантажених укосів обумовлена такими параметрами: висотою, кутом укосу, інтенсивністю навантаження, її шириною відстанню від вершини укосу, щільністю та зчепленням, коефіцієнтом бічного тиску, кутом внутрішнього тертя ґрунту, відношенням модулів деформації шарів.

Аналітичне рішення для оцінки *стійкості* укосу, складеного як однорідними, так і неоднорідними ґрунтами, отримав В.В. Соколовський [28]. Поряд з іншими плоскими *задачами* було отримано рішення про визначення конфігурації рівностійкого укосу шляхом спільного розв'язання диференціальних рівнянь рівноваги та відомої умови граничної рівноваги.

Соколовський В.В. отримав бездоганне за точністю рішення рівняння кривої, що обмежує рівномісний укіс граничного контуру для випадку $\varphi=0, c \neq 0$.

Загальне рішення [28] допускає і випадок $\varphi \neq 0, c \neq 0$, але практичне використання такого варіанта ускладнено математичними труднощами. Однак, при бездоганності цього рішення з математичної точки зору, слід зазначити, що припущення про настання граничного стану одночасно у всіх точках контакту сповзаючого блоку, з рештою масиву, передбачає високу однорідність ґрунту. Це призводить до істотного спотворення дійсної оцінки стійкості схилів та укосів.

Теорія граничної рівноваги дозволяє вирішувати завдання про стан незв'язаного ґрунту при похилій поверхні, визначати критичну висоту укосу та форму поверхні руйнування, вирішувати завдання для плоского граничного стану вагомого сипучого середовища з використанням гіпотези міцності Мора-Ренкіна. Також, з використанням чисельних методів, вирішувати крайові задачі, що описуються рівняннями гіперболічного типу, за допомогою комп'ютерних програм обчислювати координати точок граничних контурів рівностійких укосів для різних значень кута внутрішнього тертя і графічно вирішувати завдання теорії граничної рівноваги з урахуванням об'ємних сил [33].

Другу групу розрахункових методів автор [33] розділив на підгрупи залежно від виду поверхні руйнування.

При плоскій поверхні руйнування розглядається розподіл сил, що діють в укосі відносно поверхні зсуву. Призму обвалення вважають твердим тілом і складають рівняння рівноваги, з якого визначають граничну висоту укосу.

При ламаній поверхні руйнування, враховуються нашарування татріщинуватість порід, визначається гранична висота підрізування шарів, а також позавідкісного уступу, складеного шарами порід, що падають у бік виїмки та укосу шаруватих порід.

Також розроблено метод розрахунку, заснований на гіпотезі круглоциліндричних поверхонь ковзання.

Положення найбільш ймовірної поверхні ковзання визначається підбором такої круглоциліндричної поверхні, для якої коефіцієнт стійкості мінімальний. Величина цього коефіцієнта визначається або як відношення моментів утримуючих і зсувних сил щодо центру відповідного кола, або як відношення суми утримувальних і зсувних сил, що діють уздовж круглоциліндричної поверхні ковзання. При цьому рівняння рівноваги складають для всього укосу в цілому або для його елементарних відсіків.

Третя група методів представлена нині також великою кількістю робіт: спосіб компенсуючих навантажень [7], тобто визначаються сили, які необхідно прикласти до межі напівплощини, щоб у кінцевому числі точок, розташованих на межі майбутнього вирізу, дотичні та нормальні напруження дорівнювали нулю; метод сіток [21]; метод скінчених елементів; розв'язання задачі теорії пружності для напівнескінченного клину [4, 6, 27].

До четвертої групи входить метод Маслова Н.Н. [18, 19]. Слід звернути увагу, що при розрахунку стійкості однорідних укосів коефіцієнт стійкості, визначений методами цієї групи, виходить явно заниженим. Справді, в природі не зазнають обвалення укоси з набагато більшими кутами нахилу, ніж обчислені за методом F_p . З іншого боку, при дослідженні стійкості зсувних схилів часто зазначений метод більш точно визначає величину коефіцієнта стійкості ніж методи, засновані на використанні ваги стовпа вищезалягаючих порід [5, 22].

Використовуючи пружне рішення для напівнескінченного клину та умов міцності Мора-Ренкіна, визначається стан ґрунту та межі між пружними та пластичними областями [31, 38].

На базі аналізу напруженого стану насипу та основи визначаються відносні розміри пластичних зон та оцінюється стійкість системи насип-основа.

Методи, які задовольняють загальну умову рівноваги моментів. Зокрема до таких входить метод Феленюса [32], особливістю якого є те, що він використовується тільки для круглоциліндричних поверхонь ковзання, в якому розглядається загальна умова рівноваги моментів, а сили, що діють уздовж граней відсіків, ігноруються.

Метод Бішопа [3], в якому задовольняються умови рівноваги загальних моментів та вертикальних сил.

Метод « $\varphi=0$ », відноситься до круглоциліндричних поверхонь ковзання, використовується при складанні графіків стійкості для аналізу в повних напруженнях.

Особливістю методу логарифмічних спіралей є те, що, незалежно від величин нормальних сил уздовж поверхні ковзання, рівнодіюча цих сил і сил тертя завжди проходить через полюс спіралі.

Методи рівноваги сил [1] – це методи, які задовольняють лише загальну рівновагу вертикальних і горизонтальних сил, а також рівновагу

сил для окремих відсіків або блоків. Це такі як: метод «зсувного клина», «метод горизонтальних сил», метод Маслово-Берера та інші.

Методи рівноваги моментів і сил. Такі методи використовуються як для круглоциліндричних, так і довільних поверхонь ковзання. До таких методів належать метод Ямбу, за яким має бути довільно задане положення нормальних складових сил взаємодії або лінія тиску.

У методі Моргенштерна та Прайса розглядаються для кожного елемента умови рівноваги не тільки щодо напрямків нормалі та дотичної, але також і моментів [39].

У методі Спенсера [41] передбачається, що сили взаємодії є паралельними, тобто кут нахилу дпостійний на кожній вертикальній грані.

Метод дослідження напружено-деформованого стану ґрунтової основи з використанням комп'ютерної техніки на основі методу скінченних елементів. У цьому методі визначення нормальних і дотичних напружень у зоні потенційної поверхні ковзання здійснюється з урахуванням пружнопластичних властивостей ґрунтів [1].

Кан Тхе Сан [14] у своїй науково-дослідній роботі досліджуючи лінійне програмування для оцінки стійкості укосів і схилів зазначає, що лінійне програмування – це один із сучасних математичних методів, на основі якого можуть бути вирішено багато складних математичних та технічних задач. Задача лінійного програмування полягає у знаходженні екстремуму лінійної функції, область визначення якої дається скінченим числом лінійних обмежень-рівностей і обмежень-нерівностей. Система обмежень визначає багатогранну множину, що має кутові точки. Лінійна функція цілі досягає мінімуму або максимуму в кутовій точці цієї множини. Для вирішення цієї задачі Дж. Данцигом був запропонований симплекс-метод [8], який забезпечує направлений перебір кутових точок, при якому оптимальне рішення знаходиться по найкоротшому шляху [12, 37].

Слід зазначити, що Єрховим В.І. була розроблена методика вирішення задач статички жорстко-пластичного тіла як задач лінійного програмування за допомогою симплекс-метода [10]. В результаті чого отримано рішення ряду складних за граничними умовами задач несучої здатності циліндричних оболонк.

Застосування методів лінійного програмування для вирішення завдань механіки ґрунтів вперше було здійснено Поштаном Ю.М. та Колесниченком А.Л. [26]. Ці дослідження присвячені оцінці стійкості укосів і схилів. Мета розв'язку полягала у встановленні розподілу нормальних і дотичних напружень вздовж лінії ковзання, якому відповідає мінімальне відхилення дотичних напруг від їх граничних значень.

Висновки. Здійснено системний аналіз науково-технічної літератури з метою вивчення існуючих класифікацій зсувів. Встановлено, що найбільш широка класифікація розроблена Петровим Н.Ф., яка представлена класифікаційними таблицями простих і складних зсувів, покликаними охопити всю природну різноманітність зсувних систем за складністю будови, механізмом розвитку і за обсягами мас, що зміщуються.

Проведено аналіз літератури по виявленню та вивченню факторів, що впливають на зсувні процеси. Внаслідок чого встановлено, що основною причиною активізації зсувних процесів на схилах є природна або техногенна вода.

Наведено огляд сучасного стану існуючих методів розрахунку стійкості ґрунтових масивів, проаналізовано їхні переваги та недоліки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Арешикович О. О.* Напружено-деформований стан ґрунтової основи зсувонебезпечної території : дис... канд. наук: 05.23.02 - Київ, 2007. – 179 с.
2. *Астанин И. А.* Оползневые процессы на правом берегу среднего течения реки Кубань и тенденции их развития по данным автоматизированных наблюдений: дис. ... канд. географ. наук: 25.00.25 - Краснодар, 2011. – 247 с.
3. *Бишон А. У.* Параметры прочности при сдвиге ненарушенных и мятых образцов грунта // Определяющие законы механики грунтов. - М.: Мир, 1975. С. 7-75.
4. *Бойко И. П.* Прогрессивные методы проектирования оснований фундаментов на ЭВМ. – К.: Знание, 1986. - 20 с.
5. *Браславский В. Д.* Роль сцепления глинистых грунтов в степени устойчивости склонов и откосов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 М., 1975. – 25 с.
6. *Будков В. П., Ильин А. И., Кузнецов В. Ф.* Расчет напряжений в откосах плоского профиля // Вопросы маркшейдерского дела на открытых разработках. – Белгород, 1971. – 154 с.
7. *Головин А. Я.* Равновесие тяжелой упругой полуплоскости с непрямолинейной границей // Науч.-техн. информ. бюллетень «Гидротехника». - Л.: ЛПИ, 1957. - № 8.
8. *Данциг Дж.* Линейное программирование, его применение и обобщения - М.: Прогресс, 1966. - 600 с.
9. *Дранников А. М.* Оползни. Типы, причины образования, меры борьбы. – К.: Укргидросельстрой, 1956. - 102 с.
10. *Ерхов В. И.* Теория идеально пластических тел. - М.: Наука, 1978. - 352 с.
11. *Зеркаль С. В.* Математическое моделирование движения оползней-потоков методом частиц: диссер. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 - Москва, 2002. - 99 с.
12. *Зуховицкий С. И.* Линейное и выпуклое программирование. - М.: 1964. – 230 с.
13. *Калинин И. В.* Оценка структурно-тектонического строения оползневых откосов угольных разрезов с применением электрической томографии: на примере Лучегорского бурогоугольного разреза: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16 - Владивосток, 2006. - 200 с.
14. *Кан Тхэ Сан.* Исследование силового воздействия оползневых массивов на удерживающие конструкции симплекс-методом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 - Новосибирск, 2005. - 180 с.
15. *Кашлев Р. И.* Оценка устойчивости двухслойных ґрунтовых откосов и склонов на основе анализа их напряженного состояния: дис. канд. техн. наук: 25.00.08 - Волгоград, 2005. - 177 с.
16. *Кюнтцель В. В.* Закономерности и прогноз оползневого процесса на Русской платформе и в прилегающей зоне Альпийской складчатости: автореф. дис. ... докт. геогр. наук: 25.00.36 - М., 1979. - 24 с.
17. *Маркарьян В. В.* Исследование и прогноз оползневого процесса в майкопских отложениях (на примере оползневых районов Абхазии): дис. ... канд. геолого-минерал. наук: 04.00.07 - Москва, 1984. – 270 с.
18. *Маслов Н. Н., З. И. Рогозина.* Опыт оценки степени устойчивости склонов с развитыми на них покровными оползнями: тр. МАДИ, 1976. - Вып. 129.
19. *Маслов Н. Н.* Условия устойчивости склонов и откосов в гидро-энергетическом строительстве. - М.,: Госэнергиздат, 1955.
20. *Николаевский В. Н.* Дилатансия и законы необратимого деформирования ґрунтов // Основания, фундаменты и механика ґрунтов. – 1979. - № 5. - С. 29-32.
21. *Ножин А. Ф.* Определение напряжений в бортах глубоких карьеров // Устойчивость бортов карьеров и управление горным давлением: тр. ИГД Минчермет СССР. - Свердловск, 1972. - Вып. 37.

22. *Перковский Л. Л.* Элементы расчета устойчивости оползневого массива. - Ставропольское кн. изд., 1964.
23. *Петров Н. Ф.* Оползневые системы. Простые оползни (аспекты классификации). - Кишинев: Штиинца, 1987. - С. 162.
24. *Петров Н. Ф.* Прикладные проблемы таксономии оползней // Вестник Чувашского университета. - 2006. - № 2. - С. 171-182.
25. *Петров Н. Ф.* Теоретические основы классификации оползней // Вестник Чувашского университета. - 2005. - № 3. - С. 267-284.
26. *Почтман Ю. М., Колесниченко А. Л.* Методы математической оптимизации в механике грунтов. - Киев-Донецк: «Вища школа», 1977. - 102 с.
27. *Русаков, Б. А.* Расчет устойчивости многослойных откосов сложного профиля // Изв. вузов. Горный журнал. - 1975. - № 2.
28. *Соколовский В. В.* Статика сыпучей среды. - М.: Физмат-издат, 1960. - 207 с.
29. *Тихвинский И. О.* Количественная оценка и прогноз устойчивости склонов с учетом механизма оползней на равнинных и предгорных территориях : автореферат дис. ... д-ра геолог.-минерал. наук: 04.00.07 - М., 1989. - 38 с.
30. *Тихвинский И. О.* Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. - М.: Наука, 1988. - 144 с.
31. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов. - М.: Госстройиздат, 1959. - Т. 1.
32. *Фелленюс В.* Статика грунтов. - М.: Стройиздат, 1933.
33. *Цветкова Е. В.* Разработка метода расчета и прогноза устойчивости нагруженных откосов и склонов как оснований сооружений на основе анализа напряженного состояния грунтов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 - Волгоград, 2007. - 187 с.
34. *Чалкова Ю. С., Б. М. Черепанов.* Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними // Ползуновский вестник №1-2. - 2007. - С. 80-89.
35. *Чернышова Н. А.* Геоэкологическая оценка и прогноз развития осадок грунтовых толщ при длительном водопонижении на оползнеопасной территории г. Томска: дис. ... канд. геолого-минералог. наук: 25.00.36 - Томск, 2007. - 158 с.
36. *Шантукова Д. А.* Исследования, классификация и мониторинг оползневых массивов Кабардино-Балкарской Республики. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 25.00.36 - Владикавказ, 2004. - 22 с.
37. *Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г.* Линейное программирование. Теория, методы и приложения. - М.: «Наука», 1969.
38. *Akai K.* On the stress distribution in the earth embankment and the foundation. // Proceeding of the 4th Japan National Congress for Appl.-Mech., 1954.
39. *Negre M. R., P. Stuts.* Contribution a l'etude des fondations de revolution dand h'hypothese de la plasticite parfait // Int. J. Solids and Struct. - 1970. - № 1. - pp. 53-68.
40. *Soren M. Andersen.* Material-Point Analysis of Large-Strain Problems: Modelling of Landslides. PhD thesis by December 2009. Aalborg University.
41. *Taylor R. L., C. B. Brown Darcy.* Flow Solutions with a free surface // Proc. An. Soc. Civ. Eng. - 1967. - Vol. 93. - PP. 25-33.
42. *ДБН В.2.1-10:2018* Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. - К.: Мікрореґіонбуд України, 2018. - 36 с.
43. *ДБН В.1.1-46:2017* Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів.
44. *ДБН В.1.1-24:2009* Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. - К.: Мікрореґіонбуд України, 2010. - 108 с.

REFERENCES

1. *Areshkovych O. O.* Napruzhenno-deformovanyi stan gruntovoi osnovy zsvonebezpechnoi terytorii (The stressed-deformed state of the grounded base of the landslide-prone area) : dys... kand. nauk: 05.23.02 - Kyiv, 2007. - 179 s.
2. *Astanin I. A.* Opolznevie protsessi na pravoberezhie sredneho techeniia reki Kuban i tendentsii ikh razvitiia po dannym avtomatizirovannykh nabliudenii (Landslide processes on the right bank of the middle reaches of the Kuban River and trends in their development according to automated observations): dis. ... kand. heohraf. nauk: 25.00.25 - Krasnodar, 2011. - 247 s.
3. *Bishop A. U.* Parametry prochnosti pri sdvihe nenarushennykh i miatykh obratzov hrunta (Shearstrengthparametersofundisturbedandcrumpledsoilsamples)// Opredel'aiushchie zakony mekhaniki hruntov. - M.: Mir, 1975. S. 7-75.

4. *Boiko I. P.* Prohressivnye metody proektirovaniia osnovani i fundamentov na EVM (Progressive methods for designing bases and foundations on a computer). – K.: Znanie, 1986. – 20 s.
5. *Braslavskii V. D.* Rol stsepleniia hlinistykh hruntov v stepeni ustoichivosti sklonov i otkosov (The role of adhesion of clays oils in the degree of stability of slopes and slopes): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02 M., 1975. – 25 s.
6. *Budkov V. P., A. I. Ilin., V. F. Kuznetsov.* Raschet napriazhenii v otkosakh ploskogo profilia (Calculation of stresses in slopes of a flat profile)// Voprosy marksheiderskogo dela na otkrytykh razrabotkakh. – Belhorod, 1971. – 154 s.
7. *Holovin A. Ya.* Ravnovesie tiazheloi upruhoi poluploskosti s nepriamolineinoi hranitseii (Equilibrium of a Heavy Elastic Half-Plane with Nonrectilinear Boundary)// Nauch.-tekhn. inform. biulleten «Hidrotekhnika». – L.: LPI, 1957. – № 8.
8. *Dantsih Dz.* Lineinoe programmirovaniie, eho primeneniie i obobshcheniia (Linear programming, its application and generalizations) – M.: Prohress, 1966. – 600 s.
9. *Drannikov A. M.* Opolzni. Tipy, prichiny obrazovaniia, mery borby (Landslides. Types, causes of education, control measures). – K.: Ukrhidroselstroii, 1956. – 102 s.
10. *Erkhov V. I.* Teoriia idealno plasticheskikh tel (Theory of ideal plastic bodies). – M.: Nauka, 1978. – 352 s.
11. *Zerkal S. V.* Matematicheskoe modelirovaniie dvizheniia opolznei-potokov metodom chastits (Mathematical modeling of the movement of landslides-flows by the particle method): disser. ... kand. fiz.-mat. nauk: 05.13.18 - Moskva, 2002. – 99 s.
12. *Zukhovitskii S. I.* Lineinoe i vypukloe programmirovaniie (Linear and convex programming). – M.: 1964. – 230 s.
13. *Kalinin I. V.* Otsenka strukturno-tektonicheskogo stroeniia opolznevykh otkosov uholnykh razrezov s primeneniem elektricheskoi tomografii: na primere Luchehorskogo burouholnogo razreza (Assessment of the structural-tectonic structure of landslideslopes of coal minesusing electrical tomography on the example of the Luchegorsk brown coalmine): dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.16 - Vladivostok, 2006. – 200 s.
14. *Kan Tke San.* Issledovaniie silovoho vozdeistviia opolznevykh massivov na uderzhivayushchie konstruktsii (Investigation of the force impact of landslide masses on retaining structures by the simplex method): dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02 - Novosibirsk, 2005. – 180 s.
15. *Kashlev R. I.* Otsenka ustoichivosti dvukhsloinykh hruntovykh otkosov i sklonov na osnove analiza ikh napriazhennoho sostoianiia (Evaluation of the stability of two-layers oil slopes and slopes based on the analysis of their stress state): dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.08 - Volhograd, 2005. – 177 s.
16. *Kiuntsel V. V.* Zakonomernosti i prohnoz opolznevoho protsessa na Russkoi platforme i v prilehaiushchei zone Alpiiskoi skladchatosti (Patterns and forecast of the landslide process on the Russian platform and in the adjacent zone of the Alps (folding)): avtoref. dis. ... dokt. heohr. nauk: 25.00.36 - M., 1979. – 24 s.
17. *Markarian V. V.* Issledovaniie i prohnoz opolznevoho protsessa v maikopskikh otlozheniiaakh (na primere opolznevykh raionov Abkazi) (Study and forecast of the landslide process in Maikop deposits (on the example of landslides regions of Abkhazia)): dis. ... kand. geolohomineral. nauk: 04.00.07 - Moskva, 1984. – 270 s.
18. *Maslov N. N., Z. I. Rohozina.* Opyt otsenki stepeni ustoichivosti sklonov s razvityimi na nikh pokrovnymi opolzniami (Experience in assessing the degree of stability of slopes with cover landslides developed on them): tr. MADI, 1976. – Vyp. 129.
19. *Maslov N. N.* Usloviia ustoichivosti sklonov i otkosov v hidro-enerheticheskom stroitelstve (Conditions for the stability of slopes and slopes in hydropower construction). – M.: Hosenerhoizdat, 1955.
20. *Nikolaevskii V. N.* Dilatansii i zakony neobratimoho deformirovaniia hruntov (Dilatancy and laws of irreversible oil deformation) // Osnovaniia, fundamenti i mekhanika hruntov. – 1979. – № 5. – S. 29-32.
21. *Nozhin A. F.* Opredeleniie napriazhenii v bortakh hlubokikh karerov (Determination of stresses in the sides of deep pits) // Ustoichivost bortov karerov i upravleniie hornym davleniim: tr. IHD Minchermet SSSR. – Sverdlovsk, 1972. – Vyp. 37.
22. *Perkovskii L. L.* Elementy rascheta ustoichivosti opolznevoho massiva (Elements for calculating the stability of a landslide mass). – Stavropolskoe kn. izd., 1964.
23. *Petrov N. F.* Opolznevyie sistemy. Prostye opolzni (aspekty klassifikatsii) (Landslide systems. Simple landslides (aspects of classification)). – Kishinev: Shtiintsa, 1987. – S. 162.

24. *Petrov N. F.* Prikladnye problemy taksonomii opolznei (Applied problems of landslide taxonomy)// Vestnik Chuvashskogo universiteta. - 2006. - № 2. - S. 171-182.
25. *Petrov N. F.* Teoreticheskie osnovy klassifikatsii opolznei (Theoretical basis for the classification of landslides)// Vestnik Chuvashskogo universiteta. – 2005. - № 3. - S. 267-284.
26. *Pochtman Yu. M., Kolesnichenko A. L.* Metody matematicheskoi optimizatsii v mekhanike hruntov (Methods of mathematical optimization in soil mechanics). - Kiev-Donetsk: «Vishcha shkola», 1977. – 102 s.
27. *Rusakov, B. A.* Raschet ustoichivosti mnohosloinykh otkosov slozhnogo profilia (Calculation of the stability of multilayer slopes of a complex profile) // Izv. vuzov. Hornyi zhurnal. - 1975. - № 2.
28. *Sokolovskii V. V.* Statika sypuchei sredy (Statics of loose environment). – M.: Fizmat-izdat, 1960. – 207 s.
29. *Tikhvinskii I. O.* Kolichestvennaia otsenka i prognoz ustoichivosti sklonov s ucheto mekhanizma opolznei na ravninnykh i predhornykh territoriakh (Quantitative assessment and prediction of slope stability, taking into account the mechanism of landslides in the plain and foothills): avtoreferat dis. ... d-ra heoloh.-mineral. nauk: 04.00.07 – M., 1989. – 38 s.
30. *Tikhvinskii I. O.* Otsenka i prognoz ustoichivosti opolznevnykh sklonov (Assessment and forecast of stability of landslide slopes). - M.: Nauka, 1988. - 144 s.
31. *Florin V. A.* Osnovy mekhaniki hruntov (Bases of soil mechanics). - M.: Hosstroizdat, 1959. - T. 1.
32. *Fellenius V.* Statika hruntov (Soil statics). – M.: Stroizdat, 1933.
33. *Tsvetkova E. V.* Razrabotka metoda rascheta i prognoza ustoichivosti nahruzhenykh otkosov i sklonov kak osnovanii sooruzhenii na osnove analiza napriazhennoho sostoiannia hruntov (Development of a method for calculating and predicting the stability of loaded slopes and slopes as the foundations of structures based on the analysis of the stress state of soils): dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02 - Volhohrad, 2007. - 187 s.
34. *Chalkova Yu. S., B. M. Cherepanov.* Opolznevye protsessy, ikh prognozirovanie i borba s nimi (Landslide processes, their forecasting and control) // Polzunovskii vestnik №1-2. - 2007.- S. 80-89.
35. *Chernyshova N. A.* Heoekologicheskaia otsenka i prognoz razvitiia osadok hruntovykh tolshch pri dlitelnom vodoponizhenii na opolzneopasnoi territorii (Geocological assessment and forecast of the development of sedimentation of soil strata during long-term water drawdown in landslide-prone area) h. Tomsk: dis. ... kand. heoloho-mineraloh. nauk: 25.00.36 - Tomsk, 2007. - 158 s.
36. *Shantukova D. A.* Issledovaniia, klassifikatsiia i monitorinh opolznevnykh massivov Kabardino-Balkarskoi Respubliki (Research, classification and monitoring of landslide massifs in the Kabardino-Balkarian Republic). Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. k.t.n.: Spets. 25.00.36 – Vladikavkaz, 2004. - 22 s.
37. *Yudin D. B., E. H. Holshteyn.* Lineinoe programmirovaniie. Teoriia, metody i prilozheniia. (Linear programming. Theory, methods and applications.) - M.: «Nauka», 1969.
38. *Akai K.* On the stress distribution in the earth embankment and the foundation. // Proceeding of the 4th Japan National Congress for Appl.-Mech., 1954.
39. *Negre M. R., P. Stuts.* Contribution a l'etude des fondations de revolution dand h'ypothese de la plasticite parfait // Int. J. Solids and Struct. – 1970. - № 1. - pr. 53-68.
40. *Soren M. Andersen.* Material-Point Analysis of Large-Strain Problems: Modelling of Landslides. PhD thesis by December 2009. Aalborg University.
41. *Taylor R. L., C. B. Brown Darcy.* Flow Solutions with a free surface // Proc. An. Soc. Civ. Eng. – 1967. - Vol. 93. - PP. 25-33.
42. *DBN V.2.1-10:2018* Osnovy i fundamenti budivel ta sporud. Osnovni polozhennia. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2018. – 36 s.
43. *DBN V.1.1-46:2017* Inzhenernyi zakhyst terytorii, budivel i sporud vid zsuviv ta obvaliv. Osnovni polozhennia. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2017. – 47 s.
44. *DBN V.1.1-24:2009* Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. Osnovni polozhennia proektuvannia. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. – 108 s.

Solodei I.I., Petrenko E.Yu., Pavlenko V.M.

КЛАСИФІКАЦІЯ І ПРИЧИННИ ВИНИКНЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ СХИЛІВ

У статті відображені результати системного аналізу науково-технічної літератури з метою вивчення існуючих класифікацій зсувів і зсувних процесів, причин активізації зсувів, а також нормативних і традиційних методів розрахунку стійкості схилів. Постійна потреба у залученні нових майданчиків для будівництва призводить до активного використання ділянок зі складними інженерно-геологічними умовами, в тому числі, зсувних і зсувонебезпечних територій. Використання таких ділянок несе певні ризики і являє собою складну інженерну задачу. Розв'язок цієї задачі неможливий без детального аналізу існуючого стану схилу та прогнозу його поведінки під дією потенційних природних і техногенних впливів. В статті розглянуті різноманітні класифікації зсувів, зсувних процесів і зсувних систем. Відзначається, що і досі немає загальноприйнятої класифікації зсувів, що обумовлено різницею термінологічної, а також понятійної бази у різних країнах. Складність і різнотипність морфології та генезису схилів, а також велика кількість природних і техногенних факторів, що можуть впливати на нього, фактично унеможливають розробку уніфікованої класифікації, зручної для використання у різних випадках. Проведено аналіз науково-технічної літератури з метою виявлення природних і техногенних факторів, які мають вплив на розвиток зсувних деформацій. У роботі розглянуті нормативні та традиційні методи розрахунку схилів. Згідно нормативних документів наведено загальні вимоги і рекомендації щодо розрахунку зсувних і зсувонебезпечних схилів. Розглянуто поділ аналітичних методів на певні групи, виконаний різними авторами та короткий огляд найбільш розповсюджених методів. Наведені методи мають певні переваги і недоліки, які обумовлюють раціональність їх застосування в різних умовах.

Ключові слова: зсуви, зсувні та зсувонебезпечні території, поверхня ковзання, коефіцієнт стійкості, методи розрахунку схилів.

Solodei I.I., Petrenko E.Yu., Pavlenko V.M.

CLASSIFICATION AND CAUSES OF SHEARING PROCESSES AND METHODS OF CALCULATING SLOPES

The article reflects the results of a systematic analysis of scientific and technical literature for the purpose of studying the existing classifications of landslides and landslide processes, the reasons for the activation of landslides, as well as normative and traditional methods of calculating the stability of slopes.

The constant need to attract new sites for construction leads to the active use of areas with difficult engineering and geological conditions, including landslide and landslide-prone areas. The use of such areas entails certain risks and is a complex engineering task. Solving this problem is impossible without a detailed analysis of the existing state of the slope and a forecast of its behavior under the influence of potential natural and man-made influences. Various classifications of landslides, landslide processes and landslide systems are considered in the article. It is noted that there is still no generally accepted classification of landslides, which is due to the difference in terminological and conceptual bases in different countries. The complexity and heterogeneity of the morphology and genesis of slopes, as well as a large number of natural and man-made factors that can affect it, actually make it impossible to develop a unified classification convenient for use in various cases. An analysis of scientific and technical literature was carried out in order to identify natural and technogenic factors that have an impact on the development of shear deformations.

The work considers normative and traditional methods of calculating slopes. According to normative documents, general requirements and recommendations for the calculation of landslide and landslide-prone slopes are given. The division of analytical methods into certain groups, performed by different authors, and a brief overview of the most common methods are considered. These methods have certain advantages and disadvantages, which determine the rationality of their application in various conditions.

Key words: landslides, landslide-prone and landslide-prone territory, sliding surface, stability coefficient, slope calculation methods.

УДК 624.131.7

Солодей І.І., Петренко Е.Ю., Павленко В.М. Класифікація і причини виникнення зсувних процесів та методи розрахунку схилів // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 109.– С. 184-202.

В роботі розглянуто найбільш розповсюджені класифікації зсувних процесів і систем.

Проаналізовано фактори, що призводять до виникнення, активізації та розвитку зсувів.

Проведено розгляд найпоширеніших методів і підходів для розрахунку стійкості схилів та визначення зсувного тиску.

Іл. 2. Таб. 2. Бібліогр. 44 назв.

UDC 624.131.7

Solodei I.I., Petrenko E.Yu., Pavlenko V.M. Classification and causes of shearing processes and methods of calculating slopes // Strength of materials and theory of structures: Scientific-and-technical collected articles- K.: KNUBA, 2022. – Issue 109. - P. 184-202.

The work considers the most common classifications of shear processes and systems. The factors that encourage the occurrence, lead to the activation and development of landslides are analyzed.

The most common methods and approaches for calculating the stability of slopes and determining shear pressure are considered.

Fig. 2.Tab.2 Ref. 44.

Автор: доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки СОЛОДЕЙ Іван Іванович

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, Київський національний університет будівництва і архітектури.

Роб.тел.: +38 (044) 241-55-55

Моб. тел.: +38 (050)357-44-90

E-mail: solodei.ii@knuba.edu.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7638-3085>

Автор: кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геотехніки ПЕТРЕНКО Едуард Юрійович.

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, ПЕТРЕНКУ Е.Ю.

Email: petrenko.ey@knuba.edu.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9792-4757>

Автор: аспірант кафедри будівельної механіки ПАВЛЕНКО Василь Михайлович

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект. 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, ПАВЛЕНКУ В.М.

Моб. тел.: +38 (098) 783-46-10

Email: pavlenko_vm@knuba.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-5405>