

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ



ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
міжнародної науково-практичної онлайн конференції
«Сучасні проблеми та перспективи розвитку
машинобудування України»,
присвяченої 20-й річниці з дня створення
факультету конструювання та дизайну
Національного університету біоресурсів і
природокористування України

23-24 вересня 2021 року

м. Київ

УДК 624.15(075.8)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ СХИЛУ І ВИЗНАЧЕННЯ ЗСУВНИХ ТИСКІВ

Бакуліна В.М., ст. викл.

Петренко Ю.В., студ.

*Національний університет біоресурсів і
природокористування України, м. Київ*

E-mail: bakulina88@ukr.net

Порушення стійкості схилу пов'язане з подоланням діючими на деяких площадках дотичними зсувними напруженнями сил опору ґрунту зрушенню. Дотичні напруження у товщі схилу виникають під дією власної ваги ґрунтової товщі, а також додаткового навантаження на схил від споруд та

фільтраційного тиску ґрунтової води. Опір ґрунту зрушенню зумовлений виникаючими в його масиві силами внутрішнього тертя та зчеплення. За наявності тертя ($\varphi > 0^\circ$) сили тертя виникають під дією власної ваги ґрунту і додаткового навантаження від споруд. Зсув ґрунту проходить по площадках із відносно невеликими значеннями відношень дотичних напружень до опору зрушенню в даній точці й по найбільш напруженій поверхні. Усі ці поверхні зливаються в певну криволінійну поверхню ковзання. Для побудови поверхні (для плоскої задачі лінії) ковзання використовують метод круглоциліндричних (рис. 1, а), гіперболічних, параболічних поверхонь, притулених укосів (рис. 1, б) та ін. Метод круглоциліндричних поверхонь частіше використовується для оцінювання загальної стійкості схилів в однорідній товщі ґрунтів і для однієї з найбільш поширених форм порушення стійкості схилів – обвалюванням блоків. В інших випадках використовують метод притуленого укосу чи суміщених. В даному випадку розрахунки виконані за суміщеними площинами ковзання, місце положення яких вибиралося у найбільш слабких шарах, прошарках, за контактними площинами, виходячи з умов створення максимальних впливів на захисні споруди, а також перевірялося чисельним моделюванням методом скінченних елементів.

З аналізу інженерно-геологічних умов встановлено, що найбільш сприятливими для виникнення в них поверхонь ковзання є техногенні насипні ґрунти, товща яких сягає декількох метрів, що ускладнено значною крутизною окремих ділянок поверхні схилу. Крім того потенційні поверхні ковзання можуть виникнути в межах делювіально-колювіальних відкладів четвертинного періоду з низькими значеннями характеристик міцності (зокрема супіски і піски ІГЕ-5 та ІГЕ-8), тоді як корінні ґрунти, які залягають під ними мають відносно горизонтальне нашарування і порівняно високі значення характеристик міцності, що практично виключає можливість їх зрушення в даних умовах. Зважаючи на це аналітичне визначення поверхонь ковзання спиралося на оцінку найбільш небезпечних поверхонь ковзання у межах насипних і делювіально-колювіальних ґрунтів, в тому числі на межі контакту з корінними ґрунтами неогенового та палеогенового періодів.

Для визначення рівноваги ґрунтового масиву необхідно знати фізико-механічні характеристики всіх шарів ґрунту, що складають схил. Головними з них є питома вага γ , кут внутрішнього тертя φ_{st} і питома структурне зчеплення c_{st} . Існують різні способи визначення цих характеристик: одноплощинне зрушення при консолідованому чи неконсолідованому стані ґрунту, зрушення ґрунту в умовах трьохосового стиснення, за допомогою

пенетрації та обертального зрізу тощо. Тому дуже важливо оцінити, яка із цих схем відповідає умовам роботи ґрунту в конкретному випадку.

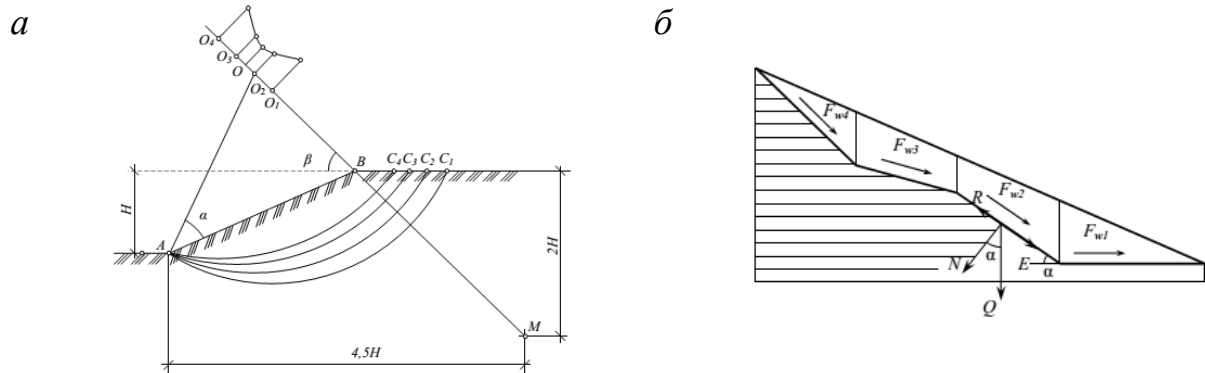


Рис. 1. Розрахункові схеми для побудови поверхонь ковзання:
a – метод круглоциліндричних поверхонь; *б* – метод притуленого укосу

Ступінь стійкості схилу оцінюється величиною коефіцієнта запасу стійкості (k_{st}). При $k_{st} > 1$ схил вважається стійким. При $k_{st} < 1$ відбувається втрата стійкості. При $k_{st} \approx 1$ настає стан граничної рівноваги ґрунтового масиву що, як правило, призводить до виникнення зсуву. Оцінювання стійкості схилу полягає в розгляді умови рівноваги ґрунтового масиву шириною 1 м (плоска задача) з вертикальними бічними гранями, умовно вирізаний з масиву схилу в напрямку зсуву (сили, що діють за бічними гранями, не враховуються). Рівнодіюча зсувного тиску E вздовж поверхні ковзання з урахуванням забезпечення необхідного коефіцієнта запасу k_{sn} визначалася різницею тисків ґрунту зі сторони верхового схилу F і відпору ґрунту нижче розрахункового перерізу по схилу R/k_{sn} . Отже, рівнодіючу зсувного тиску на утримуючі споруди E визначено за виразом

$$E = F - \frac{R}{k_{sn}},$$

де F – зсувні зусилля від тиску ґрунтового масиву з урахуванням ваги розміщених у зоні зрушення будинків і споруд, а також гідродинамічного тиску; R – опір ґрунтового масиву зміщенню.

Згідно з нормами величина нормативного коефіцієнта запасу стійкості для стадії експлуатації будівлі складає

$$k_{sn} = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc}}{\gamma_c} = \frac{1,25 \cdot 1}{1} = 1,25,$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи (прийняті такі, що задовольняють умовам рівноваги); γ_n – коефіцієнт надійності, що враховує клас наслідків (відповідальності) об'єктів інженерного захисту (прийнято СС3); γ_{fc} – коефіцієнт поєднання навантажень (прийнято основне). Згідно з нормами

величина нормативного коефіцієнта запасу стійкості для будівельного періоду складає

$$k_{sn} = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc}}{\gamma_c} = \frac{1,25 \cdot 0,95}{1} = 1,2,$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи (прийняті такі, що задовольняють умовам рівноваги); γ_n – коефіцієнт надійності, що враховує клас наслідків (відповідальності) об'єктів інженерного захисту (прийнято ССЗ); γ_{fc} – коефіцієнт поєднання навантажень (прийнято будівельний період).

Вважається, що схил, який буде захищатися, знаходиться у зсувонебезпечному стані. Тому враховувалися сили тертя та структурне зчеплення ґрунтів. Загальний алгоритм розрахунку: 1) обґрунтування причин і механізмів зсуву, встановлених і підтверджених у процесі інженерно-геологічних вишукувань та досліджень; 2) підбір та обґрунтування найбільш імовірних поверхонь ковзання; 3) оцінка стійкості схилу в природному стані; 4) уточнення характеристик міцності ґрунтів методом «зворотних» розрахунків; 5) прогноз стійкості схилу з урахуванням зміни характеристик міцності ґрунтів та зміни рівня ґрунтових вод.

Для уточнення характеристик міцності ґрунтів (кута внутрішнього тертя φ_{st} та структурного питомого зчеплення c_{st}) було проведено «зворотній» розрахунок. Цей розрахунок проведено для найбільш небезпечних ділянок схилу для ліній ковзання, для яких коефіцієнт стійкості був мінімальним. Для уточнення характеристик міцності їм задавалися такі значення щоб величина коефіцієнта запасу стійкості дорівнювала одиниці ($k_{st}=1$), оскільки схил знаходиться у передзсувному стані (спостерігаються тріщини, заколи, нахил дерев вбік падіння схилу тощо). Розрахунки стійкості схилів включали аналіз їх фактичного стану, а також прогнозного стану з урахуванням дії всіх можливих несприятливих факторів і змін інженерно-геологічних умов. При цьому було враховано зміну гідрогеологічних умов (поверхневого та підземного стоків) за рахунок підвищення фактичного рівня ґрунтових вод на 1 м, а також зміну характеристик міцності порід ґрунтового масиву (використовувалися значення найменші із отриманих при «зворотному» розрахунку). Можливі зміни рельєфу в процесі освоєння схилу, додаткові зовнішні навантаження і дії, активізація та розвиток небезпечних геологічних процесів (сейсмічних, карстових, суфозійних, абразійних, вивітрювання гірських порід, ерозії та зсувів тощо), а також наявність і розташування улоговин в даних розрахунках не враховувалися. Вплив водоносних горизонтів, які дреноються на схилах, на стійкість схилів враховано за умов зволоження порід, зважування, фільтраційного тиску,

суфозійного виносу. Вода спричиняє зважувальну дію на породи, з яких складається схил, при цьому змінюються сили гравітації. Насичуючи ґрунти, вода змінює їх фізико-механічні характеристики, і особливо зменшує величину опору зрушення. Крім цього, ґрунтові води, змочуючи можливі поверхні ковзання, зменшують сили тертя. При цьому вода зважуючи ґрунтовий скелет знижує за рахунок порового тиску нормальні напруження у площині зрушення і може призвести до майже повного зняття внутрішнього тертя у ґрунті. Врахування дії напірних ґрунтових вод виконують двома способами: 1 – метод використання величини гідродинамічного тиску; 2 – метод зважування. Суть першого методу: 1) характеристики зрушення ґрунту в рівні поверхні ковзання приймають для випадку його водонасичення; 2) власну вагу ґрунту приймають із урахуванням зважування у воді частинок зсувного відсіку між кривою депресії і поверхнею ковзання; 3) до величини зрушувальної сили додають величину гідродинамічного тиску. Суть другого методу: 1) характеристики зрушення ґрунту в рівні поверхні ковзання приймають для випадку його водонасичення; 2) при визначенні сил, що зрушують масив ґрунту, приймається повна вага відсіків без урахування зважувальної дії ґрунтових вод, а при визначенні сил, які утримують масив ґрунту, приймається вага відсіків із урахуванням зважувальної дії ґрунтових вод в зоні, що знаходиться між кривою депресії і поверхнею ковзання.