Лекція №5. ***Штучне укріплення відкосів.***

5.1. МЕХАНІЧНІ СПОСОБИ УКРІПЛЕННЯ ВІДКОСІВ

Найбільш надійним і простим зміцненням відкосів є пальове укріплення. Найкращі результати воно дозволяє одержати на ділянках, ослаблених шаруватістю, тріщинами тектонічного походження і т.д.

Різні види пальового зміцнення укосів показані на рис. 7.1.

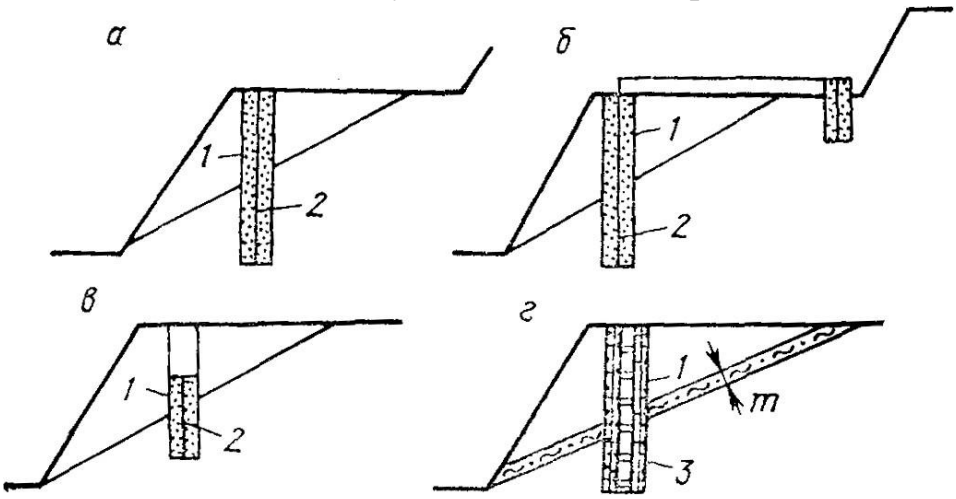

Рис. 7.1. Різновиди пальового зміцнення укосів:
а - залізобетонна паля; б — залізобетонна анкерована паля;
у - залізобетонна шпона; г паля-оболонка із гнучкою арматурами;
1 - бетон; 2 - тверда арматури; 3 - гнучка арматури

Ефективна робота паль досягається при достатньому її заглибленні нижче поверхонь ковзання в зоні призми упору. При зміцненні палями сильно тріщинуватих ділянок бажано приводити цементацію порід навколо палі, що суттєво підвищує ефект зміцнення. Усі види пальового зміцнення розраховуються за величиною необхідного утримуючого зусилля.

$$\Delta T_{\text{уд}} = \left(\eta_{\text{р}} - \eta_{\text{ф}}\right) \Sigma T_{\text{сдв}} \tag{5.1}$$

або

$$\Delta T_{\text{уд}} = \left(\frac{\eta_{\text{р}}}{\eta_{\text{ф}}} - 1\right) \Sigma T_{\text{уд}} \tag{5.2}$$

де η_p - розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості (для робочих бортів η_p=1,3, для неробочих - η_p=1,5÷2,0); $\eta_ф$ - фактичний коефіцієнт запасу стійкості дорівнює відношенню суми утримуючих сил до сил, що зрушують по передбачуваній поверхні ковзання.

Для ряду передбачуваних поверхонь ковзання визначається сума утримуючих $T_{уд}$ сил зсуву *(1, 2, 3, 4*, 5 на рис. 5.2), обчислюється значення $\eta_ф$ і вибирається величина η_p. Потім будується графік зміни $\eta_ф$ залежно від віддалення поверхні ковзання від верхньої брівки укосу й визначається границя області порід, що підлягають зміцненню (див. рис. 5.2).

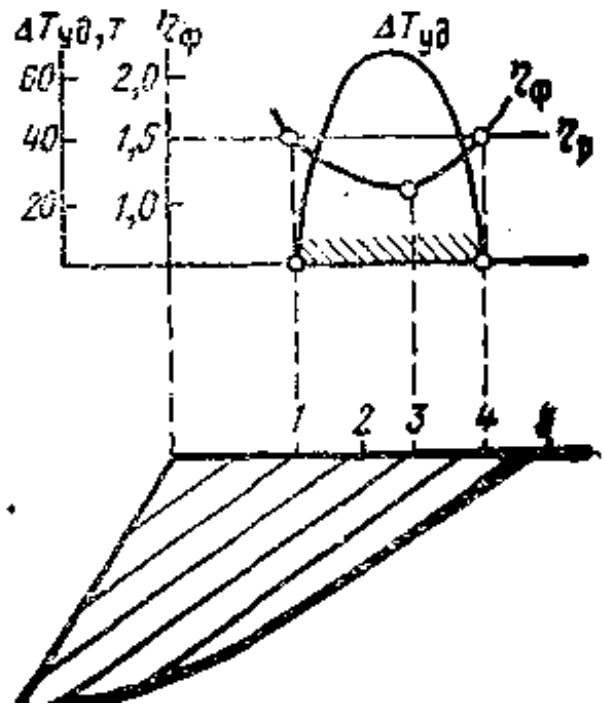

Рис. 5.2. Схема визначення додаткового утримуючого зусилля $T_{ут}$

У тих випадках, коли поверхні ослаблення визначені (тріщини великої протяжності з $k'<<k$ і $\rho'<<\rho$ розрахунок проводиться тільки по одній поверхні ковзання. Зокрема, величина $\eta_ф$ при підсіканні борта тріщиною великої протяжності може бути визначена за наступною формулою:

$$\eta_{ф} = \frac{\Sigma T_{уд}}{\Sigma T_{сдв}} = \frac{P \cos\beta \operatorname{tg}\rho' + k' S}{P \sin\beta} \quad (5.3)$$

де P - маса призми обвалення, обмеженої двома сусідніми перетинами, m; β - кут падіння тріщини, градус; ρ' - кут внутрішнього тертя по поверхні ослаблення; k' - зчеплення по поверхні ослаблення; S - площа поверхні ковзання, обмежена двома сусідніми перетинами.

Палі можуть бути зрізані по тріщині, коли масив, що сповзає є досить монолітним, або вигнуті, коли порушення представлене перем'ятими породами, схильними до пластичних деформацій або якщо породи призми обвалення досить дезінтегровані.

У першому випадку розрахунок виконується за напругами, що допускаються, і площа наведеного перетину, палі

$$S_{пр} = S_{б} + \frac{E_{а}}{E_{б}} S_{а} \quad (5.4)$$

де $S_{б}$ - площа бетону в перетині палі, мм^2; $S_{а}$ - площа арматур у перетині палі, мм; $E_{а}$, $E_{б}$ – модулі пружності арматури й бетону.

Несуча здатність палі при розрахунковому опорі бетону на зріз $R_{ср}$:

$$Q_{ср} = R_{ср} + S_{пр} \quad (5.5)$$

Тоді число паль, необхідних для зміцнення ділянки борту довжиною l:

$$N = \frac{\Delta T_{уд} l}{Q_{ср}} \qquad (5.6)$$

При роботі палі на вигин розрахунок проводиться згідно з будівельними нормами й правилам (ДБН) за першим граничним станом. Несуча здатність типових залізобетонних паль, перетин яких показано на рис. 5.3, звичайно зазначена в паспорті виробу.

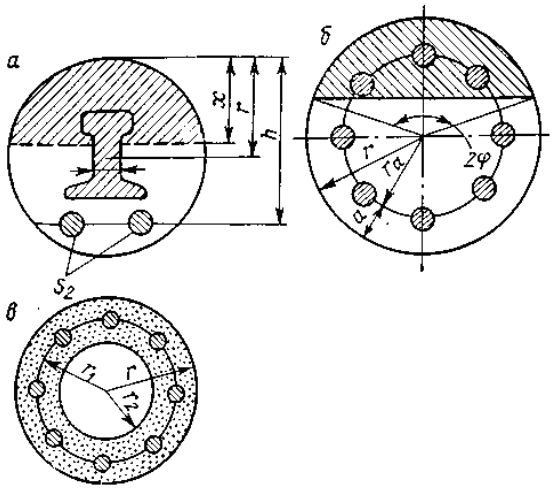

Рис. 5.3. Перетин палі:
а – із твердою арматурами; б – із гнучкою арматурами;
в – паля-оболонка (штрихуванням показана зона стиску палі)

Розрахунок полягає у визначенні згинального моменту, що діє на палю й відстані між палями.

Заглиблення замка палі в непорушений масив забезпечує її стійкість і палю можна представити, як балку із забитим кінцем з рівномірно розподіленим навантаженням. При цьому момент згину, переданий на палю:

при зрушенні монолітного масиву по слабкому прошарку

$$M = m\Delta T_{уд} \qquad (5.7)$$

де m - потужність прошарку, м;

при зрушенні порід із взаємним переміщенням блоків (шаруватий, тріщинуватий масив у межах призми можливого обвалення).

$$M = \frac{1}{3} h \Delta T_{\text{уд}} \tag{5.8}$$

де h – висота призми можливого зсуву, м;

в укосі однорідних порід при розрахунковій (не визначеній) поверхні ковзання вертикальною тріщиною відриву:

$$M = \frac{1}{3} (h - H_{90}) \Delta T_{\text{уд}} \tag{5.9}$$

При заанкерованих палях (вони подібні до балок на двох опорах) величина моменту згину, переданого на палю, може бути визначений за такими формулами:

$$M = \frac{2}{15} m \Delta T_{\text{уд}} \tag{5.10}$$

$$M = \frac{2}{15} h \Delta T_{\text{уд}} \tag{5.11}$$

$$M = \frac{2}{15} (h_1 - H_{90}) \Delta T_{\text{уд}} \tag{5.12}$$

Загальне число паль N необхідне для надійного зміцнення ділянки, визначається з порівняння моменту згину, створюваного призмою можливого зсуву M и несучої здатності палі при вигині $M_{\text{изд}}$:

$$M \geq \frac{Ml}{M_{\text{изд}}} \tag{5.13}$$

Відстані між палями приймаються зазвичай однаковими. Якщо масив, що зміцнюється палями, складений пухкими слабкозв’язними породами, то вони здатні «обтікати» палі. Тоді необхідно відстань між ними зменшувати.

Глибина закладення палі нижче поверхні ковзання визначається міцністю порід, величиною додаткового утримуючого зусилля й надійністю закріплення арматури. Орієнтовно глибина закладення $l_{зак}$ може бути прийнята рівної 1,5-2,0 м у скельних, 2-3 м у напівскельні й 3-4 м у м'яких зв'язних породах. Для зміцнення відкосу, залізобетонними палями (шпонами), буряться свердловини, установлюють у них готові палі або арматури (для шпона тільки на певному інтервалі, для паль - по всій довжині свердловини) і потім бетонують. При пальовому зміцненні сильно тріщинуватих порід після установки арматур свердловини набивають щебенем та цементують його.

Штанги й гнучкі ***тросові тяжі*** являють собою конструкцію, що як би зшиває шаруватий масив. Їхнє застосування доцільне в породах великоблочної шаруватої структури, причому на невеликій глибині від поверхні відкосу, що закріплюється (5-6 м для штанг і до 30 м для тяжів) повинна бути монолітна порода для надійного закріплення штанг і тяжів. При відсутності монолітних порід і необхідності зведення штанговому кріплення можливо попереднє, зміцнення порід цементацією в зоні закріплення замка.

У попередньо пробурену свердловину *1* (рис. 5.4) заводиться металева штанга *3*. Її кінець закріплюється в свердловині за допомогою бетону *2*. Потім за допомогою гвинтового домкрата, (гайка *5* з підбивкою *4* на головці штанги) їй надається натяг.

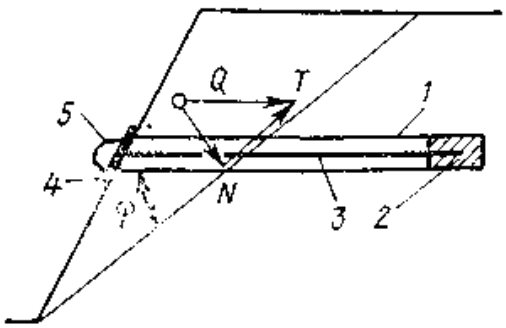

Рис. 5.4. Схема передачі зусилля натягу штанги Q на відкос, що зміцнюється

Зусилля натягу Q притискає блок, що прагне зсунутися, до моноліту із силою N, що діє по нормалі, і створює дотичну силу яка й забезпечує стійкість відкосу. Крім закріплення головки штанги, на поверхні відкосу може застосовуватися фіксація з металевої сітки бетонних плит, металевих або дерев'яних підхватів індивідуальних або групових, що поєднують кілька штанг. Це убезпечує випадання окремих шматків породи й сприяє більш, рівномірній передачі зусилля на відкос. Доцільно також ізолювати відкос торкрет-бетоном по металевій сітці. Штанги повинні бути розташовані у вертикальній площині паралельно напрямку дії зусилля, що зрушує блок. Штанга повинна підходити до поверхні тріщини під кутом $\varphi = 45° + \frac{\rho'}{2}$ але не більш 90°.

Контрфорси (рис. 5.5, *а*) зі скельних порід виконують роль привантаження й тим самим запобігають розвитку зсувів. Розміри контрфорсу повинні забезпечити їм додаткове утримуюче зусилля. Загальний опір зсуву контрфорсу повинен дорівнювати зсувному тиску. Тоді маса контрфорсу (у *кг*)

$$P_к = \frac{F}{\mathrm{tg}\rho_к} \tag{5.14}$$

де F - тиск порід призми можливого зсуву;

$tg\ \rho_к$ – коефіцієнт тертя контрфорсу по підставі.

До ***контрбанкетів*** (рис. 5.5, *б)* застосовуються для зміцнення піщаних відкосів, що обпливають. Їхні параметри залежать від коефіцієнта фільтрації водоносного горизонту $K_ф$, питомої витрати води q і закладення відкосу в межах проміжку височування ω. Висота привантаження $h_п$ повинна бути більше (на 0,5-1,0 м) висоти проміжку височування $h_в$.

Відсипання привантаження зі скельних порід повинне вестися безпосередньо слідом за вилученням порід уступу,

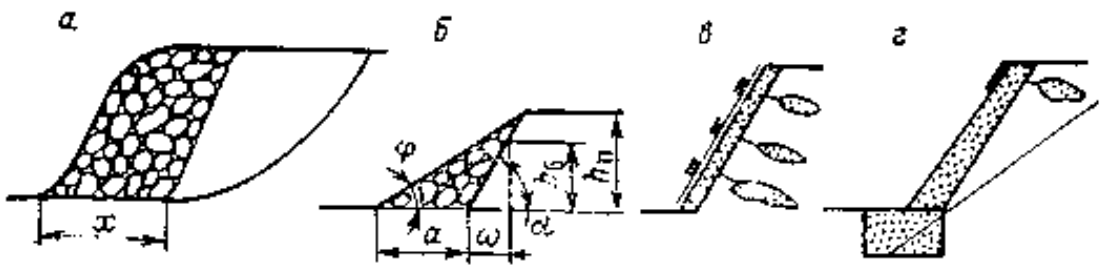

Рис 5.5. Типи підтримуючих споруд

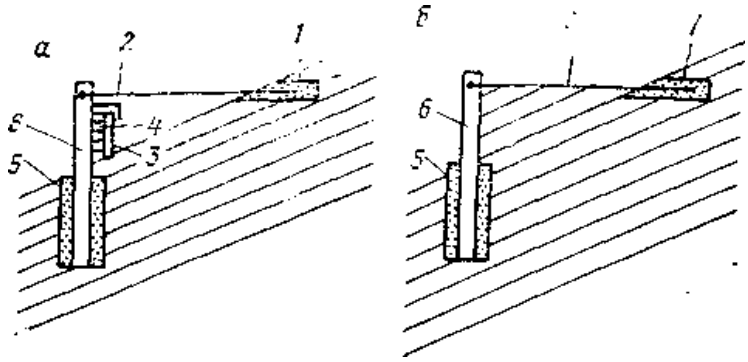

Рис. 5.6. Схема штучних берм:

1 – залізобетонний замок тросового анкера; 2 – анкер (канат); 3 – затягування (залізобетонні плити); 4 – пояса зі швелера; 5 – шпара; б – шпунт із рейок

тому, що значне відставання привантаження призводить до розвитку зсувів і опливанню укосів.

Підпірні залізобетонні й захисні стінки (рис. 5.5, *в, г*) не знайшли застосування в практиці зміцнення відкосів на кар'єрах через малу несучу здатність, більші витрати на зведення й неможливості зміцнення відкосів великої висоти.

У багатьох випадках не вдається запобігти розвитку осипань і можуть утворюватися суцільні відкоси неприпустимо великої висоти. У цьому випадку забезпечити безпеку робіт можна шляхом створення штучних уловлювальних берм (рис. 5.6, *а*), що представляють собою анкеровану шпунтову стінку. Припустимо також зміцнювати запобіжні берми на підтятих контактах, що падають убік кар'єру під кутами понад 30–35° (рис. 5.6, б).

5.2. ЗМІЦНЕННЯ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД ТА ІЗОЛЯЦІЯ ПОРІД УКОСІВ

Зміцнення гірських порід необхідно для поліпшення властивостей міцності масиву на ослаблених ділянках. Воно досягається введенням у тріщини масиву речовин, які після схоплювання з породою мають значно більш високі характеристики опору зсуву, ніж до зміцнення. Ефект підвищення міцності породи досягається за рахунок проникнення матеріалу зміцнювача по тріщинах і схоплювання його з породою. Введення зміцнювача в масив здійснюється під тиском. У якості зміцнюючих речовин речовин застосовуються цементні розчини, полімерні смоли та силікати.

Цементні розчини нагнітаються в масив через свердловини та повинні мати термін схоплювання, що забезпечує його проникнення по тріщинах на проектну відстань. Швидкосхоплювальні цементи слід застосовувати в сильно тріщинуватих породах з більшим розкриттям тріщин, а при тонких тріщинах – цементні розчини із тривалим строком схоплювання. Строк схоплювання можна регулювати, додаючи в розчин соду, хлористий кальцій і інші речовини, що скорочують час схоплювання. Цементація сильно тріщинуватих порід може вестися піщано-цементними розчинами. В усті свердловини бетонується трубка–кондуктор із фланцем, до якого приєднується вимірювальна апаратура й трубопровід (рис. 5.7), по якому подається цементний розчин.

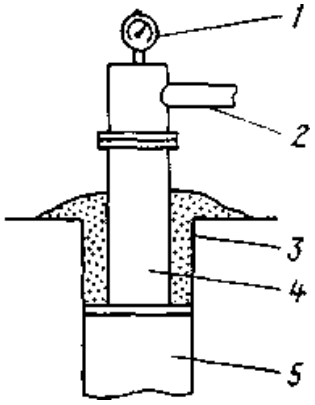

Рис. 5.7. Схема устаткування устя шпари при цементації:

1 – манометр; 2 – трубопровід; 3 – бетон;
4 – трубка-кондуктор; 5 – шпара

Електрохімічні методи зміцнення являють собою різновид силікатизації (уведення в масив, що зміцнюється, силікату натрію, хлористого кальцію). Однак застосування цих розчинів проводиться не за рахунок нагнітання їх у свердловини під тиском, а за рахунок створення різниці електричних потенціалів між сусідніми свердловинами, тому що проникність порід занадто мала.

Електрофізичні методи (електроосмос) полягають у впливі постійного струму (анод і катод вводяться в поруч розташовані свердловини) на воду, що втримується в слабких глинистих породах з малою проникністю. Вода рухається до свердловин і відбувається осушення масиву, що підвищує його характеристики міцності. Зміцнення цими двома способами ефективно лише на невеликій відстані від свердловин (до 1–1,5 м) і витрати на зміцнення великі, що дозволяє поки застосовувати ці способи в промислово-експериментальних роботах.

Ізоляція відкосів застосовується для запобігання їх вивітрюванню. Оскільки процеси вивітрювання найбільше сильно залежать від часу стояння відкосів, ізоляція доцільна для глибоких кар'єрів із тривалим строком існування. У якості ізолюючих покриттів можуть застосовуватися полімерні матеріали, бетон, бітум і ін. Полімерні покриття не знайшли широкого застосування у зв'язку з великою вартістю ізоляції.

Для зміцнення порід відкосів застосовують біологічні методи.

Багаторічний досвід дорожнього й цивільного будівництва дозволив установити, що ерозія в значно меншій мірі проявляється на відкосах, поверхня яких закріплена рослинним покривом. У цей час на кар'єрах ведуться роботи із закріплення відкосів піщано-глинистих порід, як у природньому стані, так і порушеної структури.

Породи відкосу, що закріплюється біологічним способом, є ґрунтом і тому повинні задовольняти мінімальним вимогам, що забезпечують розвиток рослин, – бути проникними для кореневої системи, містити мінімум мінеральних речовин, придатних для засвоєння рослиною, і ін. Найбільше повно цьому відповідають суглинки, супіски, глини й піски.