

## Передмова

Виробнича діяльність гірничих інженерів-маркшейдерів пов'язана з визначенням та керуванням параметрів гірничих виробок в кар'єрі. Параметри гірничих виробок суттєво впливають як на загальні техніко-економічні параметри розробки так і на безпеку ведення гірничих робіт. Стійкість бортів кар'єрів, уступів кар'єрів та відвалів має ключове значення в забезпеченні безпеки умов праці на гірничому виробництві.

Тому для майбутніх гірничих інженерів дуже важливо вміти здійснювати розрахунок стійкості бортів кар'єрів та уступів, оцінювати можливість та параметри зрушення, а також вміти розв'язувати ряд практичних задач пов'язаних зі стійкістю гірських порід.

Дані практичні завдання розглядають:

- основні фактори, які впливають на стійкість відкосів кар'єрів;
- теоретичне ознайомлення студентів з основними поняттями і термінами;
- основні властивості міцності гірських порід та масиву;
- побудову можливої поверхні зсуву уступу за допомогою методу Г.Л. Фісенко;
- побудову стійкого відкосу увігнутого профілю методом В.В. Соколовського;
- побудови відкосу уступу випуклого та плоского профілю;
- розрахунок стійкості багатоярусного відвалу;

Результатом засвоєння даного матеріалу є розвиток у майбутнього фахівця уміння розраховувати параметри стійкого відкосу борта кар'єру та відвалів.

## **1. Коротка характеристика факторів, які впливають на стійкість відкосів кар'єрів**

На стійкість відкосів впливають багаточисельні фактори: геологічні, гідрогеологічні, гірничо-технічні, а також кліматичні умови.

Стійкість відкосів зменшується із зменшенням характеристик опору на зсув (зчеплення і внутрішнього тертя), та із збільшенням тріщинуватості порід і кількістю розривних геологічних порушень.

Утворення поверхней ковзання та їх розміщення в масиві в значній мірі залежить від орієнтування поверхней ослаблення, в тому числі шаруватості, сланцюватості, тектонічного порушення; ці фактори часто є вирішальними при оцінюванні стійкості відкосів.

Суттєвий вплив на стійкість відкосів здійснюють водоносні шари порід (горизонти), водойми, відкриті та підземні водотоки поблизу кар'єру. Слід зауважити, що гідростатичний тиск, який діє на поверхню ковзання, зменшує нормальну складову ваги порід, що призводить до зменшення сил тертя і, в кінцевому результаті, до зниження стійкості відкосів.

Кліматичні умови району родовища впливають на вивітрювання порід, наслідком якого є зменшення їх міцності та стійкості у відкосах.

На стійкість уступів і бортів кар'єрів також впливають гірничо-технічні умови: висота бортів і уступів, кути відкосів, ширина площадок, конфігурація бортів в плані та в розрізі, спосіб проведення буровибухових робіт.

На стійкість відвалів суттєво впливають: кут нахилу площадки основи відвалу, обводненість порід основи та відвальних порід, технологія формування відвалів.

## **2. Основні поняття і терміни**

*Борт кар'єру* – бокова поверхня, яка обмежує кар'єр і його вироблений простір. Якщо на борті кар'єру проводять гірничі роботи, то він називається робочим бортом. В результаті гірничих робіт робочий борт кар'єру переміщується і наближається до проміжних або до кінцевих контурів кар'єру. Борт кар'єру або його окремі ділянки, контури яких співпадають з кінцевими контурами кар'єру, називається неробочим. На неробочому борті кар'єру гірничі роботи не проводяться, але можуть розміщуватись транспортні з'їзди.

*Прибортний масив* – частина масиву гірських порід заключена між бортом кар'єру і поверхнею, яка обмежує область мікропросувань

в масиві в період прихованої стадії розвитку зсуву (обвалу). Параметри прибортового масиву залежать від міцності та структурних характеристик гірничого масиву.

*Відкос* – похила або вертикальна поверхня відкритої гірничої виробки або штучного насипу (відвалу).

*Деформація гірських порід* – зміна форми, розмірів і об'єму моноліту або ділянок масиву гірських порід під дією різних сил (статичних або динамічних).

*Небезпечні деформації гірських порід* – деформації відвалів, уступів і бортів кар'єрів, а також прилеглих до кар'єру територій, які можуть викликати аварії гірничо-транспортного обладнання і загрожують безпеці проведення робіт на кар'єрі.

*Коефіцієнт запасу стійкості* – відношення суми всіх сил, які утримують відкос у рівновазі, до суми всіх сил, які намагаються вивести його з рівноваги; дія цих сил у всіх інженерних методах розрахунків стійкості відкосів переноситься на розрахункову або найбільш напружену поверхню ковзання.

*Обвал* – відривання та швидке зміщення вниз гірських порід, які складають відкос, яке супроводжується подрібненням масиву, який зміщується по поверхні, що співпадає з різними порушеннями суцільності масиву.

*Зсув* – повільне, ковзаюче зміщення гірських порід, які складають відкос (часто і його основу), по нерухомому масиві. Зсув є найбільш крупним за розмірами видом порушення стійкості відкосів. Він пов'язаний головним чином з наявністю в товщі гірських порід слабких зволжених шарів, контактів, тектонічних порушень. Залежно від місця розвитку зсуву і будови порід деформуємого масиву виділяють зсуви бортів і уступів, зсуви відвалів, зсуви природних схилів.

*Поверхня ковзання* – поверхня в масиві борта кар'єру (відкосу уступу або відвалу), яка є геометричним місцем точок максимальних відносних зсувів гірських порід і відокремлює зміщувану частину від нерухомої частини масиву гірських порід.

*Призма можливого обвалу борта кар'єру (відвалу, відкосу уступу)* – частина масиву гірських порід (відвальних порід), яка розміщена між бортом кар'єру (відкосом уступу або відвалу) і найбільш напруженою поверхнею в масиві.

*Ширина призми можливого обвалу* – ділянка земної поверхні або площадки уступу між верхньою бровкою і контуром потенційної поверхні ковзання.

*Кут внутрішнього тертя гірських порід* – кут, тангенс якого дорівнює коефіцієнту внутрішнього тертя породи (кут нахилу прямолінійної частини графіку зсуву гірської породи до вісі нормальних напружень).

*Кут природного відкосу* – найбільший кут, який може бути утворений відкосом вільно насипаної гірничої маси в стані рівноваги з горизонтальною площиною; залежить від крупності і форми часток породи, шорсткості їх поверхні, а також від щільності і вологості породи.

*Кут нахилу борта кар'єру* – кут між умовною поверхнею, яка проходить через верхній та нижній контури кар'єру, і горизонтальною площиною.

*Кут відкосу уступу* – кут в площині, яка нормальна до простягання уступу, тобто кут між лінією, яка з'єднує верхню і нижню бровки уступу, і горизонтальною площиною.

*Кут відкосу ярусу відвалу* – кут в площині, яка нормальна до простягання відкосу відвалу, тобто кут між лінією, яка з'єднує верхню і нижню бровки ярусу відвалу, і горизонтальною площиною.

### **3. Мінерали і гірські породи. Основні поняття**

*Мінерал* – це проста або складна природна хімічна сполука, що входить до складу земної кори, приблизно однорідна за складом і властивостям.

До мінералів відносяться також усі хімічні елементи, що знаходяться в земній корі у вільному стані (золото, сірка).

Мінерали можуть бути газоподібними (вуглекислий газ, метан, природний газ); рідкими (вода, ртуть, нафта); твердими (алмаз, антрацит).

Всі природні мінерал можна поділити на периродні та штучні утворення. Серед природних утворень виділяють дві самостійні групи: органічні (бурштин, перли, корали, перламутр, гагат) та неорганічні мінерали.

Неорганічні мінерали класифікують за їх хімічним складом:

- *самородні прості речовини* – золото, срібло, платина, мідь, графіт, сірка, алмаз;
- *сульфіди і близькі до них сполуки* – пірит, галеніт, кіновар, сфалерит, халькозин;
- *оксиди і гідрооксиди* – кварц, піролюзит, корунд, куприт, гематит;

- *солі оксигеновмістних кислот* – нітрати, вольфрамати, сульфати (барит, ангідрит), хромати, вольфрамати і молібдати, фосфати (апатит, бірюза), карбонати (доломіт, кальцит) слікати (слюда, польові шпати, рогова обманка, тальк, пірофіліт, каолініт, топаз);
- *галогеїди* (галіт, флюорит, силвін).

Відомо більш 3000 мінералів, більшість із яких – тверді хімічні сполуки.

Основні фізичні властивості мінералів: твердість, блиск, форма поверхні зламу, спайність, колір, колір риски.

*Гірські породи* – це природні мінеральні агрегати щодо постійного мінералогічного і хімічного складу, що входять до складу земної кори і залягають в ній у виді самостійних геологічних тіл.

В утворенні гірських порід беруть участь біля 20 мінералів, що утворюють породу.

За характером зв'язків між мінеральними зернами гірські породи діляться на такі види:

- *пухкі (роздільно-зернисті)* – прості механічні суміші мінеральних зерен, не зв'язаних між собою (пісок, галька, гравій);
- *зв'язані (глинисті)* – мінеральні агрегати з водно-колоїдними зв'язками частинок між собою (глини, суглинки);
- *тверді (скельні)* – породи з жорстким або пружним зв'язком між частками окремих мінералів (пісковики, граніти, гнейси, діабаз).

Найважливішими ознаками будови порід є їх *структура* і *текстура*.

*Структура* визначається будовою (аморфна або кристалічна), розмірами і формою зерен і характером зв'язків між ними.

Основні типи структур:

- кристалічна (гігантозерниста з розміром зерен більше 10 мм; крупнозерниста з розміром зерен 5-10; середньозерниста з розміром зерен 1-5 мм; дрібнозерниста з розміром зерен менше 1 мм; афанітова, у якої зерна різняться тільки під збільшенням);
- прихованокристалічна (зерна не значні навіть при збільшенні);
- склоподібна (суцільна склоподібна маса);
- порфірова (в однорідну склоподібну або кристалічну масу вкраплені значні зерна);
- пегматитова (виникає при одночасній кристалізації двох мінералів, які закономірно проростають один в одного);

– уламкова (порода складається із зцементованих уламків).

Під *текстурою* гірської породи розуміють характер взаємного розташування її структурно однотипних частинок.

Найважливіші типи текстур:

- масивна (частинки породи не орієнтовані, щільно прилягають один до одного);
- пориста (частинки породи не щільно прилягають одна до одної, створюючи багато мікро пустот);
- шарувата (частинки чергуються, створюючи прошарки і нашарування).

За походженням (генезисом) гірські породи поділяються на три групи:

1. Магматичні (вивержені) породи, які утворилися в результаті охолодження і затвердіння магми. Залежно від місця кристалізації магми вони діляться на інтрузивні (глибинні) – граніт, діорит, габро та ефузивні (виливні) – діабаз, андезит, базальт.

За вмістом кремнезему  $\text{SiO}_2$  магматичні породи поділяють на кислі (більше 65%), середні (52...65%), основні (40...52%) і ультраосновні (менше 40%).

2. Осадкові породи, які виникли у наслідок відкладення з води або повітря механічних, хімічних або органічних продуктів руйнування магматичних і метаморфічних порід (вапняки, пісковики, туфи).

3. Метаморфічні породи, які утворилися внаслідок глибокого перетворення магматичних або осадових порід під впливом високих тисків, температур і гарячих газових розчинів (кварцит, кристалічні сланці, гнейси, мармур).

В окрему групу виділяють пірокластичні (вулканогенно-уламкові) гірські породи, які утворилися внаслідок виливання та застигання лави на земній поверхні, тобто завдяки вулканічній діяльності. До таких гірських порід належать вулканічні туфи, вулканічні бомби, лапілі, вулканічний пісок.

#### **4. Фізико-технічні властивості гірських порід**

До фізико-технічних властивостей відносяться щільність, об'ємна маса, об'ємна і питома вага, насипна вага, пористість, кут природного відкосу, тріщинуватість, пластичність, крихкість.

*Щільністю* породи називається маса одиниці об'єму твердої фази (мінерального скелета).

Маса одиниці об'єму породи в її природному стані  $\rho$  називається *об'ємною масою*. Вона, як правило, менша щільності за рахунок того, що в структурі породи є пори.

Щільність породи визначається щільністю мінералів що її складають:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_{0i} V_i, \quad (1)$$

де  $n$  – число мінералів;

$\rho_{0i}$  – щільність складового мінералу;

$V_i$  – частка об'єму, що зайнятий складовим матеріалом.

Відношення сумарного об'єму пор наявних у породі до загального об'єму породи називається *загальною пористістю*

$$P = \frac{V_n}{V_n - V_m}, \quad (2)$$

де  $V_n$  – об'єм пор;

$V_m$  – об'єм мінеральної частини.

Відношення сумарного об'єму пор до об'єму твердої фази (мінерального скелета) називається *коефіцієнтом пористості*

$$K_n = \frac{V_n}{V_m}. \quad (3)$$

Пори, що контактують з атмосферою, називають *відкритими*. Відношення об'єму відкритих пор  $V_{\text{відк}}$  до загального об'єму породи називається *відкритою пористістю*

$$P_{\text{отк}} = \frac{V_{\text{відк}}}{V_n + V_m}. \quad (4)$$

Аналогічно, відношення об'єму *закритих* пор  $V_{\text{закр}}$ , тобто пор, що не мають сполучення з атмосферою, до загального об'єму породи називається *закритою пористістю*

$$P_{закр} = \frac{V_{закр}}{V_n + V_m}. \quad (5)$$

Відношення об'ємної маси до щільності називається *коефіцієнтом щільності*.

Об'ємна маса, щільність і пористість породи пов'язані між собою співвідношеннями

$$\begin{aligned} K_{пл} &= \frac{\rho}{\rho_0} = 1 - P; \\ \rho &= \rho_0(1 - P); \\ \rho_0 &= \rho(1 + K_n). \end{aligned} \quad (6)$$

Подібно щільності, розрізняють *об'ємну* і *питому* вагу породи, що пов'язані між собою через пористість  $P$

$$\gamma = \gamma_0(1 - P). \quad (7)$$

Вага одиниці об'єму розпушеної гірської маси називають *насіпною вагою*.

$$\gamma_n = \frac{\gamma}{K_{розп}}, \quad (8)$$

Насіпна й об'ємна вага пов'язані через *коефіцієнт розпушення*, який визначається як відношення об'єму розпушеної маси  $V_{розп}$  до об'єму породи в пласті  $V_{пл}$

$$K_{розп} = \frac{V_{розп}}{V_{пл}}. \quad (9)$$

Розпушені породи характеризуються розміром кута *природного відкосу*, під яким розуміють кут, утворений вільною поверхнею насипаної розпушеної маси і горизонтальної площини.

**5. Побудова можливої поверхні зсуву уступу за допомогою методу Г.Л. Фісенко**



**Задача №1.** Побудувати можливу поверхню зсуву уступу висотою  $H$  і кутом  $\alpha$ . Порода, якою складено уступ має наступні характеристики:

- кут внутрішнього тертя  $\rho$ , град;
- зчеплення  $k$ , т/м<sup>2</sup>;
- питома вага  $\gamma$ , т/м<sup>3</sup>.

Вихідні дані наведені в табл. 7.

Таблиця 7

№ варіанту	Вихідні дані				
	Висота уступу, м	Кут нахилу уступу, град.	Кут внутрішнього тертя породи, град.	Зчеплення породи, т/м <sup>2</sup>	Питома вага породи, т/м <sup>3</sup>
1	20	40	15	1,2	1,6
2	21	41	20	1,3	1,7
3	22	42	25	1,4	1,8
4	23	43	30	1,5	1,9
5	24	44	35	1,2	1,6
6	25	45	15	1,3	1,7
7	26	40	20	1,4	1,8
8	27	41	25	1,5	1,9
9	28	42	30	1,2	1,6
10	29	43	35	1,3	1,7
11	30	44	15	1,4	1,8
12	20	45	20	1,5	1,9
13	21	40	25	1,2	1,6
14	22	41	30	1,3	1,7
15	23	42	35	1,4	1,8
16	24	43	15	1,5	1,9
17	25	44	20	1,2	1,6
18	26	45	25	1,3	1,7
19	27	40	30	1,4	1,8
20	28	41	35	1,5	1,9
21	29	42	15	1,2	1,6

Продовження табл. 7

22	30	43	20	1,3	1,7
23	20	44	25	1,4	1,8
24	21	45	30	1,5	1,9
25	22	40	35	1,2	1,6
26	23	41	15	1,3	1,7
27	24	42	20	1,4	1,8

28	25	43	25	1,5	1,9
29	26	44	30	1,2	1,6
30	27	45	35	1,3	1,7

### **Розв'язання:**

1. Визначаємо висоту вертикального оголення породи  $H_{90}$ :

$$H_{90} = \frac{2 \cdot k}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - \frac{\rho}{2}), \text{ м,} \quad (61)$$

де  $k$  – зчеплення породи, т/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – питома вага породи, т/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – кут внутрішнього тертя породи, град.

2. Будуємо відкос уступу з кутом нахилу  $\alpha$  і проводимо побудову поверхні зсуву за наступним алгоритмом (рис. 5):

➤ Будуємо уступ висотою  $H$  і кутом відкосу  $\alpha$ .

➤ Відкладаємо висоту вертикального оголення породи  $H_{90}$  – пряма  $a$ .

➤ Вибираємо довільну точку  $D$  на прямій  $a$ .

➤ З точок  $B$  і  $D$  відкладаємо відповідно кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  які рівні між собою і дорівнюють:

$$\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ + \frac{\rho}{2}, \text{ град} \quad (62)$$

Точка  $M$  – точка перетину прямих  $BM$  і  $DM$ .

➤ З точки  $C$  (нижня бровка уступу) відкладаємо кут  $\beta_3$ , який дорівнює:

$$\beta_3 = 45^\circ - \frac{\rho}{2}, \text{ град} \quad (63)$$

➤ На продовженні прямої  $DM$  вибираємо рівні відрізки  $MK$  і  $KL$ , тобто  $MK = KL$ .

➤ Через точки  $K$  і  $L$  проводимо прямі  $KN$  і  $LG$  паралельно прямій  $BM$ , тобто  $BM \parallel KN \parallel LG$ . Точки  $N$  і  $G$  – перетин  $KN$  і  $LG$  з прямою  $AC$  відповідно.

➤ На прямій  $CQ$  відкладаємо відрізки  $CF$  і  $FE$ , які рівні між собою, тобто  $CF = FE = MK = KL$ .

➤ Через точки  $F$  і  $E$  проводимо прямі  $FT$  і  $EP$ , які паралельні прямій  $AC$ , тобто  $FT \parallel EP \parallel AC$ . Точки  $T$  і  $P$  лежать на верхній площадці уступу.

➤ Перетин прямих  $KN$  і  $FT$  дає точку  $H$ . Перетин прямих  $LG$  і  $EP$  дає точку  $X$ . Через дані точки проводимо пряму  $HX$ .

➤ Продовження прямої  $HX$  і  $CQ$  дають в перетині точку  $S$ .

➤ Через точку  $S$  проводимо пряму паралельно прямій  $DM$ . Перетин даної прямої з прямою  $BM$  дає точку  $Y$ .

➤ Продовжуючи пряму  $SY$  до перетину з прямою  $a$  отримуємо точку  $Z$ .

➤ Прямі  $CS$  і  $SY$  є дотичними до кола і перпендикуляри  $CO$  і  $YO$  є радіусами кола ( $CO = YO = R_k$ ) з центром у точці  $O$ .

➤ За допомогою циркуля будуємо частину кола з точки  $C$  до точки  $Y$ .

➤ З точки  $Z$  проводимо вертикально перпендикуляр  $WZ$  до перетину з верхньою площадкою уступу.

Таким чином ми отримали можливу поверхню зсуву, яка на рисунку має вигляд кривої  $CYZW$ , що має  $CY$  – частину кола, відрізки  $YZ$  і  $ZW$  – прямі.

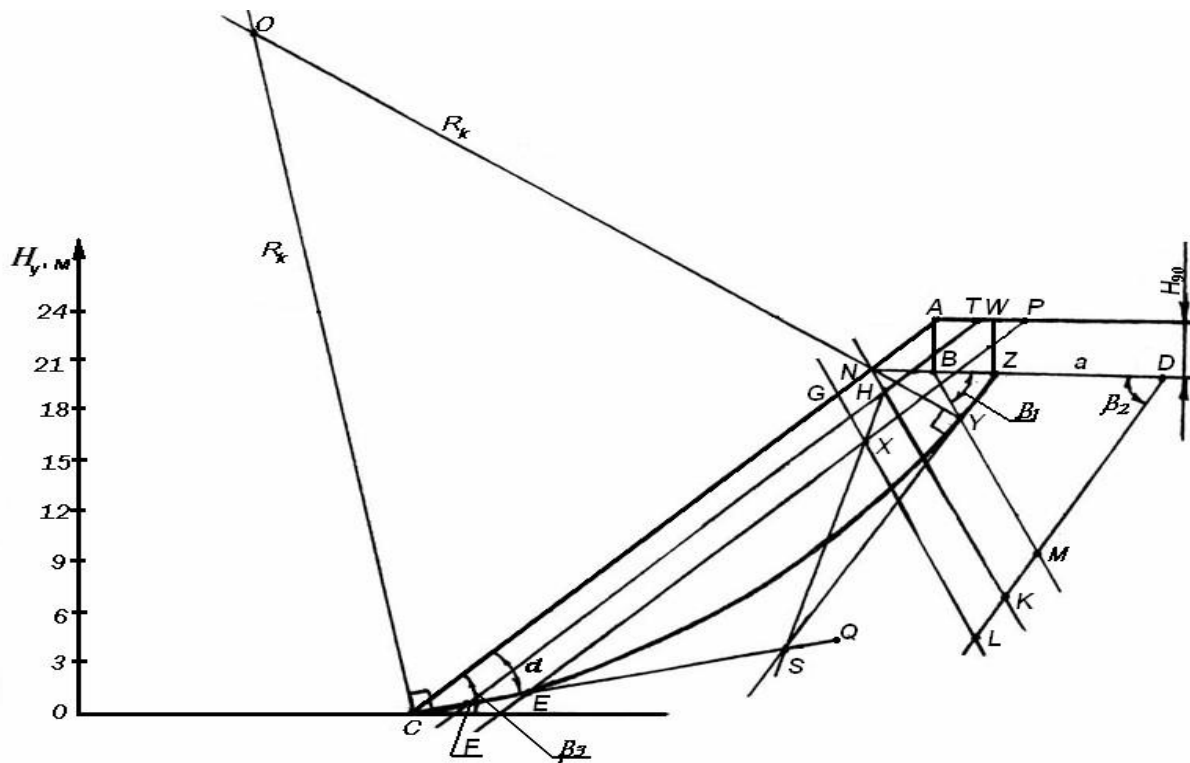


Рис. 5. Побудова можливої поверхні зсуву уступу

## 6. Побудова стійкого відкосу увігнутого профілю методом В.В. Соколовського

**Задача №2.** Побудувати стійкий відкос увігнутого профілю за наступними даними:

- кут внутрішнього тертя  $\rho$ , град;
- зчеплення  $k$ , т/м<sup>2</sup>;
- питома вага  $\gamma$ , т/м<sup>3</sup>;
- висота уступу  $H_y$ , м.

Вихідні дані наведені в табл. 7. (Задача №1).

### *Розв'язання:*

1. Визначаємо висоту вертикального оголення породи  $H_{90}$  (розраховано в задачі №4).

2. Будуємо верхню і нижню площадку уступу (рис. 7). Точка А – верхня бровка уступу.

3. З точки А опускаємо перпендикуляр АС, який чисельно рівний висоті вертикального оголення породи  $H_{90}$ .

4. З точки С опускаємо перпендикуляр донизу, який і буде віссю  $Y$ . З точки С проводимо перпендикуляр до відрізка АС. Даний перпендикуляр є віссю  $-X$ . Точка С співпадає з початком координат – з точкою О.

У такий спосіб ми отримали систему координат  $-XOY$ . В даній системі  $Y_{\max} = H - H_{90}$ .

5. Для побудови стійкого відкосу уступу увігнутої форми переходимо до безрозмірних координат через формули:

$$\bar{y} = \frac{\gamma}{k} \cdot y \quad (64);$$

$$x = \frac{k}{\gamma} \cdot \bar{x} \quad (65)$$

Також для побудови увігнутого профілю використовуємо графік (рис. 6).

6. Для побудови профілю необхідно декілька точок. Для знаходження цих точок використовуємо наступний алгоритм:

- вибираємо значення  $y$  ( $y = H - H_{90}$ ) і заносимо в таблицю 8 у першу графу (стовпчик);
- визначаємо безрозмірну координату  $\bar{y}$  за формулою (64);
- за графіком знаходимо відповідне значення  $\bar{x}$ ;
- за формулою (65) знаходимо значення  $x$ .

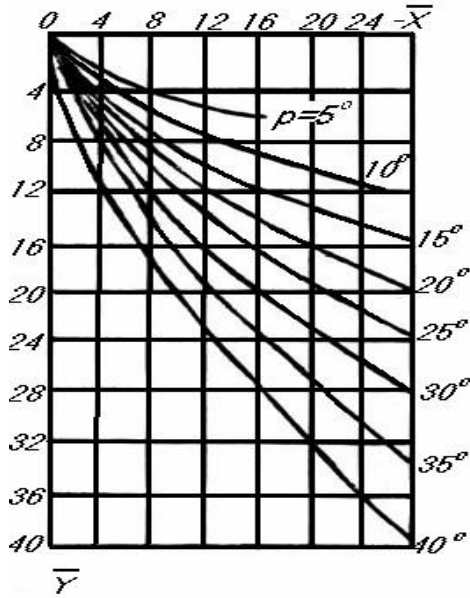


Рис. 6. Графік граничних обрисів рівностійкого відкосу увігнутого профілю

Таблиця 8

$y$	$\bar{y}$	$\bar{x}$	$x$
21			
18			
15			
12			
9			
6			
3			

7. По точках будемо увігнутий профіль, який представлений на рис. 7.

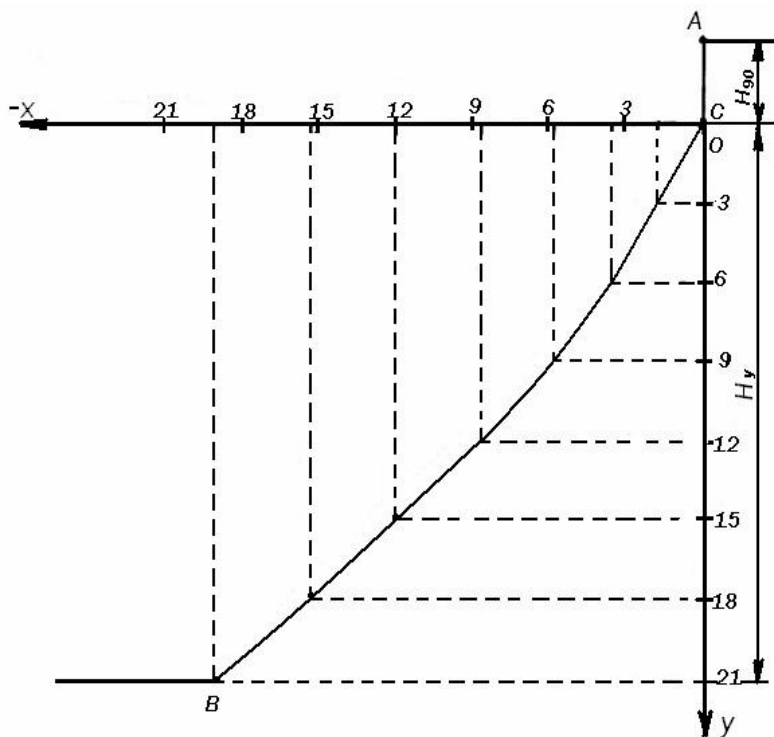


Рис. 7. Побудова увігнутого профілю відкосу уступу

### 7. Побудова відкосу уступу випуклого та плоского профілю.

**Задача №3.** Побудувати відкос уступу випуклого та плоского профілю за наступними даними:

- кут внутрішнього тертя  $\rho$ , град;
- зчеплення  $k$ , т/м<sup>2</sup>;
- питома вага  $\gamma$ , т/м<sup>3</sup>;
- висота уступу  $H_y$ , м.

Вихідні дані наведені в табл. 7. (Задача №4).

#### *Розв'язання:*

1. Визначаємо висоту вертикального оголення породи  $H_{90}$  (розраховано в задачі №4).
2. Визначаємо приведену висоту уступу:

$$H' = \frac{H_y}{H_{90}}, \text{ м} \quad (66)$$

3. По таблиці 9 для побудови випуклого профілю знаходимо величину приведенного закладення  $L'$  при заданому куті внутрішнього тертя  $\rho$ .

Таблиця 9

Умовна висота відкосу $H'$ , м	Закладення відкосу $L'$ випуклого борта при кутах внутрішнього тертя $\rho$ , м						
	5	10	15	20	25	30	35
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0,57	0,50	0,46	0,40	0,35	0,33	0,27
2,0	1,37	1,20	1,05	0,93	0,85	0,75	0,64
2,5	2,37	2,03	1,80	1,55	1,35	1,22	1,05
3,0	3,85	3,02	2,60	2,25	1,95	1,72	1,45
3,5	6,00	4,17	3,50	2,95	2,55	2,25	1,92
4,0	8,70	5,50	4,50	3,75	3,20	2,77	2,40
4,5	11,75	7,10	5,57	4,50	3,90	3,35	2,90
5,0	15,00	8,75	6,70	5,40	4,60	3,95	3,40
6,0	-	12,30	9,15	7,30	6,05	5,20	4,45
7,0	-	15,90	11,75	9,20	7,60	6,45	5,50
8,0	-	19,50	14,45	11,25	9,15	7,75	6,60
9,0	-	23,00	17,20	13,30	10,80	9,15	7,70
10	-	-	20,05	15,40	12,45	10,55	8,90
11	-	-	23,00	17,55	14,20	11,90	10,05
12	-	-	25,90	19,80	15,95	13,25	11,25
13	-	-	-	22,10	17,70	14,65	12,45
14	-	-	-	24,30	19,50	16,10	13,65
15	-	-	-	26,60	21,35	17,50	14,65
16	-	-	-	-	23,20	18,95	16,05
17	-	-	-	-	25,00	20,40	17,25
18	-	-	-	-	-	21,85	18,46
19	-	-	-	-	-	23,35	19,65
20	-	-	-	-	-	24,80	20,85

4. Дійсні значення закладення знаходимо за формулою:

$$L = L' \cdot H_{90} \quad (67)$$

5. Значенню приведенної висоти уступу  $H'$  відповідає висота уступу  $H$  і якому відповідає дійсне значення закладення  $L$ . Таким чином ми отримали точку з координатами  $H$  і  $L$ . Дана точка (т. А) є верхньою



бровкою уступу.

6. Знаходимо декілька проміжних значень  $H$  і  $L$  і заносимо їх до табл.10.

Таблиця 10

$H, м$	$H'$	$L'$	$L$
24			
21			
18			
15			
12			
9			
6			

7. За даним, точкам  $H$  і  $L$  будуємо відкос випуклої форми в системі координат  $HOL$  (рис. 8).

8. За значеннями кута внутрішнього тертя  $\rho$  і умовної висоти уступу  $H'$  по табл. 11 для побудови плоского профілю відкосу уступу знаходимо кут укосу плоскої форми  $\beta$ .

Таблиця 11

Умовна висота відкосу $H', м$	Кут нахилу плоского борта (в градусах) при куті внутрішнього тертя $\rho$							
	0	5	10	15	20	25	30	35
$l$	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	90	90	90	90	90	90	90	90
1,5	80,7	81,4	82,3	83,0	83,0	84,0	84,5	85,0
2,0	69,2	71,3	73,0	74,6	75,8	77,3	78,1	79,6
2,5	53,0	60,0	63,5	65,5	68,2	71,0	72,5	74,4
3,0	-	47,3	53,7	58,0	61,8	65,2	68,0	70,2
3,5	-	37,0	46,1	51,0	56,3	60,2	64,0	66,5
4,0	-	28,0	39,5	45,8	51,3	56,0	60,1	63,6
4,5	-	22,3	34,6	41,6	47,2	52,5	56,9	60,9
5,0	-	18,0	30,8	38,0	44,0	49,6	53,6	58,5
5,5	-	14,7	27,8	35,0	41,4	47,0	51,7	56,6
6,0	-	12,0	26,8	32,7	39,1	45,0	50,0	54,8
6,5	-	10,0	24,0	30,9	37,3	43,4	48,5	53,4
7,0	-	8,0	22,5	29,4	36,8	41,9	47,1	52,2
8,0	-	-	20,1	27,2	33,6	39,6	45,2	50,2
9,0	-	-	18,4	25,6	31,7	38,0	43,9	48,6
10	-	-	17,1	24,2	30,3	36,7	42,6	47,4

Продовження табл. 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	-	-	16,4	23,4	29,7	36,7	41,6	46,4
12	-	-	15,8	22,7	29,0	36,0	40,7	45,6
14	-	-	14,6	21,4	27,9	34,0	39,2	44,3
16	-	-	14,2	20,8				
18	-	-	-	19,8	26,8	33,0	38,3	43,0
20	-	-	-	19,2	26,2	32,3	37,7	42,7
24	-	-	-	-	25,5	31,7	37,1	42,1
28	-	-	-	-	24,7	30,3	36,5	40,9
30	-	-	-	-	-	29,7	35,7	40,3

9. Знаходимо результуючий кут відкосу  $\alpha$  випуклої форми. З'єднуємо лінією точки А і О.

10. Виконуємо спрямлення випуклого профілю. Для цього уступ по висоті ділимо на три рівні відрізки (прямі  $a$  і  $b$ ). Пряма  $a$  перетинає випуклий профіль в точці В, а результуючий кут  $\alpha$  в точці С. Визначаємо середину відрізка ВС – точка D. Сполучаємо початок координат з точкою D. З точки D проводимо пряму під кутом  $\alpha$  до прямої  $b$  і одержуємо в перетині точку К. Далі з'єднаємо точку К з верхньою бровкою уступу (т. А). Отже лінія ODKA є лінією спрямлення випуклого профілю відкосу уступу.

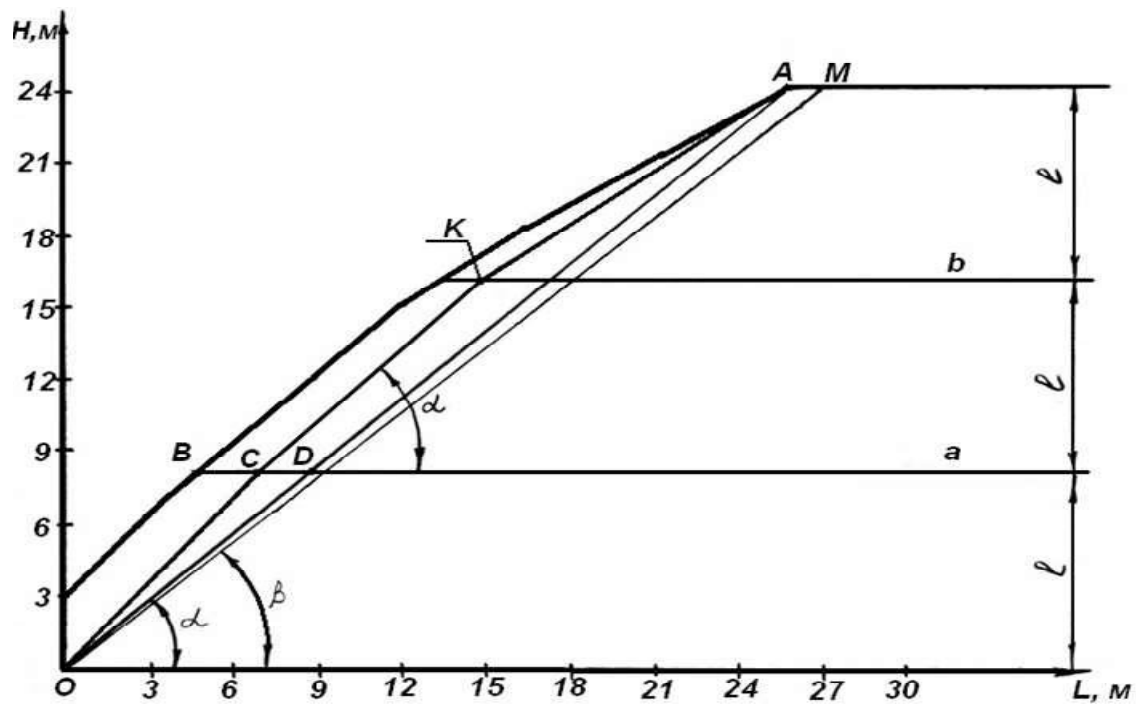


Рис. 8. Побудова випуклого та плоского профілю відкошу уступу

## 8. Розрахунок стійкості багатоярусного відвалу

**Задача №4.** Розрахувати стійкість багатоярусного відвалу та побудувати його профіль за наступними даними:

- кут внутрішнього тертя породи  $\rho$ , град;
- зчеплення породи  $\kappa$ , т/м<sup>2</sup>;
- питома вага породи  $\gamma$ ; т/м<sup>3</sup>;
- кут природного відкосу  $\alpha$ , град;
- висота відвалу  $H$ , м.

Вихідні дані наведені в табл. 12.

Таблиця 12

№ варіанту	Вихідні дані				
	Висота відвалу, м	Кут природного відкосу, град.	Кут внутрішнього тертя породи, град.	Зчеплення породи, т/м <sup>2</sup>	Питома вага породи, т/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
1	40	35	15	1,2	1,6
2	45	36	20	1,3	1,7
3	50	37	25	1,4	1,8
4	40	38	30	1,5	1,9
5	45	39	35	1,2	1,6
6	50	40	15	1,3	1,7
7	40	41	20	1,4	1,8
8	45	42	25	1,5	1,9
9	50	43	30	1,2	1,6
10	40	44	35	1,3	1,7
11	45	45	15	1,4	1,8
12	50	35	20	1,5	1,9
13	40	36	25	1,2	1,6
14	45	37	30	1,3	1,7
15	50	38	35	1,4	1,8
16	40	39	15	1,5	1,9
17	45	40	20	1,2	1,6
18	50	41	25	1,3	1,7
19	40	42	30	1,4	1,8
20	45	43	35	1,5	1,9
21	50	44	15	1,2	1,6
22	40	45	20	1,3	1,7
23	45	35	25	1,4	1,8
24	50	36	30	1,5	1,9
25	40	37	35	1,2	1,6
26	45	38	15	1,3	1,7

1	2	3	4	5	6
27	50	39	20	1,4	1,8
28	40	40	25	1,5	1,9
29	45	41	30	1,2	1,6
30	50	42	35	1,3	1,7

### ***Розв'язання***

1. За графіком (рис. 9) знаючи кут внутрішнього тертя  $\rho$  та кут природного відкосу  $\alpha$  знаходимо граничну висоту  $H'$  в безрозмірних координатах.

2. Визначаємо розрахункову граничну висоту ярусу відвалу:

$$h_{я} = H' \cdot \frac{k}{\gamma}, \text{ м}, \quad (68)$$

де  $H'$  – безрозмірна гранична висота;

$k$  - зчеплення породи  $k$ , т/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – питома вага породи; т/м<sup>3</sup>.

Так, як  $H > h_{я}$ , то необхідно застосувати багатоярусне відвалоутворення.

3. Знаходимо кількість ярусів:

$$n_{я} = \frac{H}{h_{я}}, \quad (69)$$

де  $H$  – висота відвалу, м.

4. Визначаємо результуючу граничну висоту в безрозмірних координатах:

$$H_{зр} = H \cdot \frac{k}{\gamma} \quad (70)$$

5. Знаючи кут внутрішнього тертя  $\rho$  і граничну висоту  $H'_{зр}$  за графіком знаходимо результуючий кут укоси  $\alpha_{р}$ .

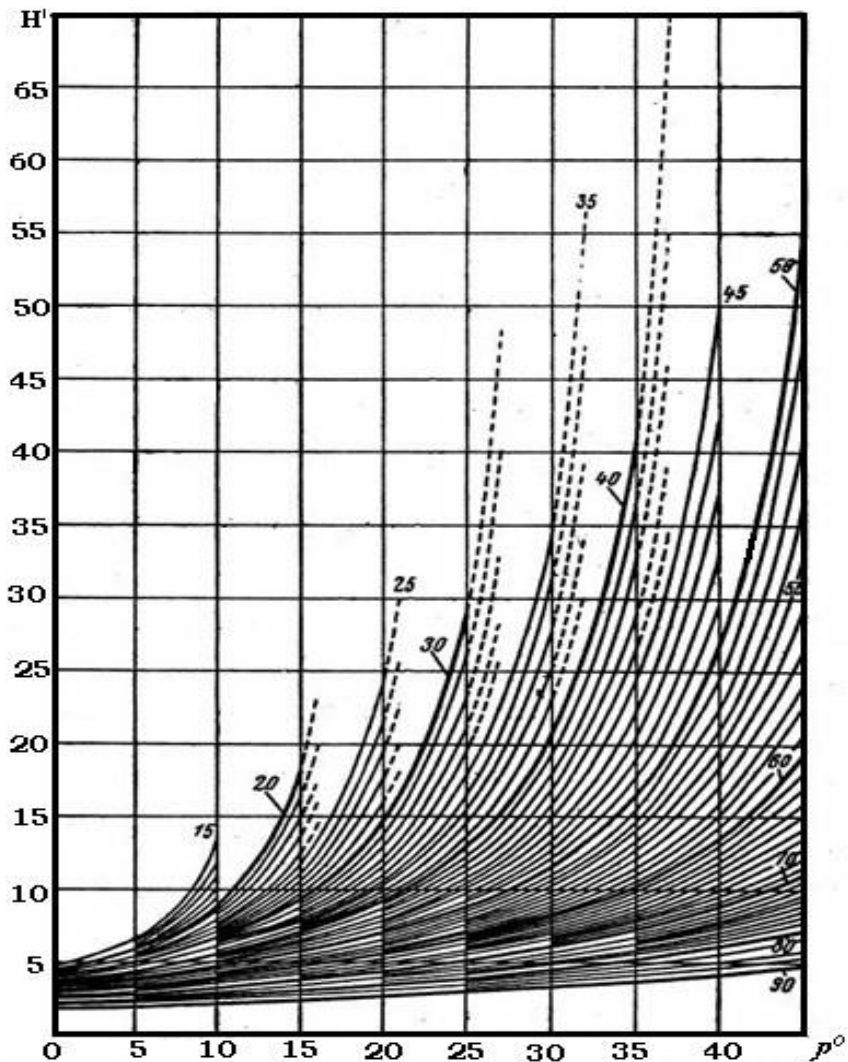


Рис. 9. Графік для розрахунку прямолінійних відкосів  
(пунктиром дані криві, що побудовані за екстраполяційними даними)

6. Профіль багатоярусного відвалу будемо наступним чином:  
 – з точки F (нижня бровка) під кутом  $\alpha_p$  проводимо пряму FA  
 (точка A – верхня бровка);

- ділимо висоту відвалу на кількість ярусів  $n_j$  з висотами, сума яких повинна дорівнювати  $H$  і висота кожного ярусу не повинна перевищувати  $h_n$ ;
  - з точок  $A$  та  $F$  під кутом природного укосу  $\alpha$  проводимо прямі на висоти відповідних ярусів і отримуємо точки  $B$  і  $E$  відповідно;
  - з точок  $B$  і  $E$  проводимо горизонтальні прямі, які перетинаються з прямою  $AF$  в точках  $G$  і  $H$ .
  - з точки  $O$ , яка знаходиться на середині відрізка  $H$  проводимо пряму під кутом природного відкосу  $\alpha$  до перетину з попередньо нанесеними горизонтальними прямими в точках  $C$  і  $D$ .
- У такий спосіб отримали контур  $ABCDEF$  багатоярусного відвалу.

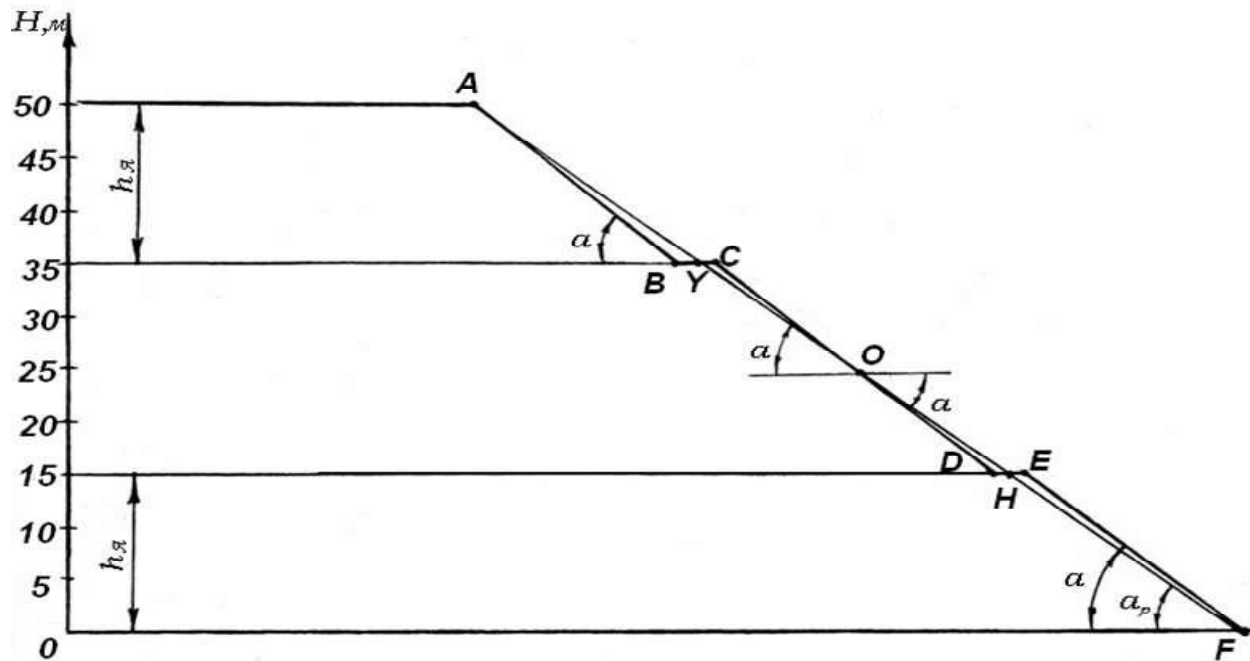


Рис. 10. Профіль багатоярусного відвалу



## **9. Вимоги до виконання та оформлення розрахунково-графічної роботи**

Розрахунково-графічна робота “Стійкість бортів кар’єрів” виконується згідно з індивідуальним варіантом, який відповідає номеру по списку студента в академічній групі. Індивідуальні варіанти завдань наведено в кожному розділі задач методики.

Розрахунково-графічна робота оформляється на аркушах формату А4. До пояснювальної записки входять: титульний аркуш (додаток 1); зміст (додаток 2); розрахункова частина; висновки; використана література.

## **10. Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи**

Виконана розрахунково-графічна робота захищається особисто викладачу.

Оцінювання здійснюється за бальною системою:

90-100 балів (“А”, “відмінно”) – якщо розрахунково-графічна робота виконана вірно згідно індивідуального варіанту (вірно виконані усі 8 задач), і під час захисту були надані вірні і повні відповіді на поставлені питання;

81-89 балів (“В”, “добре”) – якщо розрахунково-графічна робота виконана згідно індивідуального варіанту із незначними помилками, які суттєво не вплинули на кінцевий результат. Або під час захисту були незначні помилки у відповідях на поставлені питання;

70-80 балів (“С”, “добре”) – якщо розрахунково-графічна робота виконана згідно індивідуального завдання у більшості своїй з незначними помилками, які суттєво не вплинули на кінцевий результат, а суттєві помилки присутні не більше як у трьох задачах. Та під час захисту були незначні помилки у відповідях на поставлені питання;

69-70 балів (“D”, “задовільно”) – якщо розрахунково-графічна робота виконана згідно індивідуального варіанту із суттєвими помилками, які зустрічаються не більше ніж у чотирьох задачах. Або під час захисту не було подано правильних відповідей щонайменше на 50% поставлених питань, чи відповіді неточними і неповними;

50-60 балів (“Е”, “задовільно”) – якщо розрахунково-графічна робота виконана згідно індивідуального варіанту із суттєвими помилками, які зустрічаються більше ніж в чотирьох задачах. Або під час захисту не було подано правильних відповідей більше 50% від усіх поставлених питань, чи відповіді були неточними і неповними.

26-49 балів (“FX”, “незадовільно з обов’язковим перескладанням окремих модулів”) – якщо розрахунково-графічна робота виконана не вірно, чи не за своїм індивідуальним варіантом. Або під час захисту не було надано жодної відповіді на поставлені питання, чи відповіді були не вірними;

0-25 балів (“F”, “незадовільно з обов’язковим перескладанням повного курсу”) – якщо розрахунково-графічна робота не була виконана або виконана менше ніж на 25% відсотків правильно.

### Список рекомендованої літератури

1. *Алексеенко С.Ф., Мележик В.П.* Фізика гірських порід. Гірський тиск. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1987.
2. *Алексеенко С.Ф., Мележик В.П.* Фізика гірських порід. Гірський тиск. Збірник задач і вправ. К.: Вища шк. Головне вид-во, 1988.
3. *Барон Л.И.* Свойства гірських порід при різних видах і режимах нагрюження. – М.: Надра, 1983.
4. Гірська справа: термінологічний словник. М.: Надра, 1981.
5. *Новик Г.Я., Кузяев Л.С.* Сборник задач і вправ по фізиці гірських порід. – М.: МГИ, 1984.
6. *Орлов В.В., Гудзь А.Г.* Збірник прикладів і задач по механіці гірських порід і кріпи. – М.: Госгортехіздат, 1961.
7. *Ржевский В.В., Новик Г.Я.* Основи фізики гірських порід. – М.: Надра, 1984.
8. Фізичні властивості гірських порід і корисних копалин /Під. ред. *Н.Б. Дортмана.* – М.: Надра, 1986.
9. *Ямщиков В.С.* Методи і засоби дослідження і контролю гірських порід і процесів. М.: Надра, 1982
10. *Музыка І.А., Кальчук С.В., Остафійчук Н.М.* Методичні вказівки до вивчення предмету «Керування стійкістю відвалів та бортів кар'єру – :Житомир: ЖДТУ, 2008.



Кальчук Сергій Володимирович  
Остафійчук Неля Миколаївна

## **Стійкість бортів кар'єрів**

*Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи  
“Стійкість бортів кар'єрів” для студентів спеціальності  
7.050301 “Маркшейдерська справа”*

Рецензент: Назаренко В.О.  
Соболевський Р.В.

---

Здано в набір \_\_\_\_. Підписано до друку \_\_\_\_. Формат 30×42/4.  
Гарнітура Times New Roman. Папір офісний. Друк ризографія.  
Умов. друк. арк. \_\_\_\_. Обл. вид. арк. \_\_\_\_. Наклад 200 прим. Зам. № \_\_\_\_.

---

Віддруковано з оригіналу в редакційно-видавничому відділі  
Житомирського державного технологічного університету  
10005, Житомир, вул. Черняхівського, 103