

DOI: <https://doi.org/10.20535/2707-2096.6.2021.241915>

УДК 622.271.3

С.М. Стовпник, к.т.н., доц.,
ORCID: 0000-0001-5664-8680

Т.В. Косенко*, ст. викладач,
ORCID: 0000-0001-9426-8320

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

* Відповідальний автор: tanitakos1@gmail.com

Стаття подана 21.04.2021; Стаття прийнята 7.06.2021

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ВНУТРІШНІХ ВІДВАЛІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТІВ

Мета та завдання. Метою роботи є розробка варіантів формування внутрішніх відвалів м'яких порід для забезпечення їх довготривалої стійкості. Завданням роботи є проведення випробувань фізико-механічних показників ґрунтів; розрахунок коефіцієнту запасу стійкості відвалів; визначення граничної висоти і кута укосу відвалу; розробка варіантів укладання внутрішніх відвалів, які забезпечують стійкість укосів.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач були проведені лабораторні дослідження фізико-механічних показників ґрунтів за нормативними методиками, виконані розрахунки стійкості укосів графоаналітичним методом, здійснено обґрунтування запропонованих варіантів методом порівняльного аналізу.

Основні результати. Під час проведення досліджень були визначені показники кута внутрішнього тертя та коефіцієнту зчеплення для пісків, суглинків, глин; на основі отриманих результатів встановлені оптимальна висота та кут укосу відвальних уступів; обґрунтовані варіанти укладання відвалів в залежності від складу ґрунтів; для запропонованих варіантів визначені розрахункові коефіцієнти запасу стійкості укосів відвалів.

Висновки та практичне значення. Дослідженнями встановлено, що найбільш раціональним є варіант формування внутрішніх відвалів з вкладанням в основу нижнього ярусу відвалу висотою 40 м шару сарматських пісків; у разі вкладання у нижню частину внутрішніх відвалів сіро-зелених глин доцільно нижній ярус відвалу формувати 2-ма під'ярусами висотою до 20 м; верхній ярус відвалу рекомендується формувати одним масивом висотою 26 м.

Ключові слова: стійкість бортів кар'єрів, стійкість укосів відвалів, коефіцієнт запасу стійкості, зчеплення, кут внутрішнього тертя, кут укосу, висота відвалу.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку відкритих гірничих робіт під час розробки родовищ корисних копалин одним з найбільш актуальних питань є стійкість бортів кар'єрів і відвалів. Зі стійкістю бортів кар'єрів та відвалів пов'язана безпечність робіт на кар'єрах. Завищені кути укосів приводять до виникнення осипів, зсувів, обрушень, що завдають значної шкоди гірничим підприємствам: порушується технологічний процес, знижується безпечність праці робітників, під завалами опиняються запаси корисних копалин, що підготовлені до виймання, потрібна додаткова переєкспація зсувних мас. Заниження ж кутів нахилу породних укосів, особливо при великій глибині кар'єру, приводить до збільшення об'єму розкритих робіт, при цьому виникає питання економічної доцільності розробки родовищ відкритим способом. Отже, основною задачею забезпечення стійкості уступів і бортів кар'єрів є визначення оптимальних параметрів укосів, при яких забезпечується безпека гірничих робіт і досягається висока економічність виробництва. При оцінці стійкості укосів застосовується методика визначення мінімального коефіцієнту запасу стійкості, рівного відношенню стримуючих сил до зсувних

сил, що виникають у привідкосному масиві [1]. За нормативним значенням коефіцієнту запасу стійкості, в залежності від фізико-механічних властивостей порід, що складають масив, визначаються оптимальна висота та кут укосу борта кар'єру або відвалу.

Проблема стійкості укосів породних відвалів зводиться до рішення наступних основних задач:

- визначення граничної висоти і кута укосу відвалу при визначених фізико-механічних характеристиках розкривних порід;
- визначення коефіцієнту запасу стійкості реального укосу відвалу з відомими параметрами і фізико-механічними характеристиками порід відвалу і ґрунтів основи;
- оцінка ступеню стійкості навантаженого укосу відвалу при відомих його параметрах і фізико-механічних характеристиках порід [2].

Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду показує, що найбільш перспективним для влаштування внутрішніх відвалів є застосування розкривних порід, особливості укладання яких повинно бути обґрунтовано додатково.

Розрахунок і оцінка стійкості укосів відвалів проводиться на прикладі Малишевського рутил-циркон-ільменітового родовища.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Геологічна будова. В геологічній будові Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського рутил-циркон-ільменітового родовища беруть участь четвертинні глини і суглинки (Q_{I-III}) потужністю від 7 до 50 м, піски сарматського ярусу неогену (N_{2s2}) потужністю до 27 м, піщано-глинисті відкладення харківського і буцакського ярусів (N_{1kv}) потужністю від 30 до 100 м, кора вивітрювання кристалічних порід потужністю до 40 м, осадово-еффузивні породи Верховцевського комплексу архейського віку, що представлені сірими паліогранітами і магматитами. Основним рудним пластом Мотронівсько-Аннівської ділянки є піски полтавської свити (N_{1pl}), які умовно поділяються на три горизонти: верхній горизонт представлений тонкозернистими пісками з характерним строкатим забарвленням потужністю від 5 до 20 м, середній – жовтувато-сірими дрібно- і тонкозернистими пісками потужністю від 6-8 до 10-15 м, нижній – зеленувато-сірими дрібно- і тонкозернистими глауконіт-кварцовими пісками потужністю до 6м [3 – 5].

Дослідження фізико-механічних властивостей відвальних порід. Основні фізичні характеристики порід (щільність, природна вологість, гранулометричний склад) визначалися відповідно до нормативних методик. За отриманими в результаті лабораторних досліджень даними розраховувалися щільність в сухому стані, пористість, коефіцієнт пористості, коефіцієнт водонасичення, повна вологоємність. Фізико-механічні показники ґрунтів непорушеної структури наведені в табл.1.

Головною метою дослідження було вивчення міцнісних властивостей відвальних порід, оскільки стійкість укосів відвалів залежить від опору порід зсуву. Випробування зразків на зсув проводилися для отримання характеристик опору порід зсуву у відвалах з різним ступенем вологості та навантаження. Тому випробування проводилися за природної вологості та при додатковому зволоженні при нормальних навантаженнях від 0,05 до 0,7 МПа. Випробування порід природного непорушеного складу здійснювалися в лабораторних умовах за схемою швидкого зсуву, породи порушеної структури досліджувалися за схемою неконсолідовано-недренованого випробування.

Крім випробування окремих різностей порід в лабораторних умовах проводилися дослідження сумішей порід, що складають нижній і верхній розкривні уступи. Співвідношення різних порід в суміші відповідає їх процентному співвідношенню в уступі. Суміші порід досліджувалися за схемою неконсолідовано-недренованого випробування при нормальних навантаженнях від 0,05 до 0,5 МПа.

Таблиця 1 – Фізико-механічні показники порід не порушеної структури

Найменування ґрунтів	Вологість, ум.од	Щільність, г/см ³	Щільність частинок ґрунту, г/см ³	Коефіц. пористості, ум.од.	Число пластичності	Кут внутр. тертя, град	Питоме зчеплення, МПа
Суглинки лесовидні	0,168	1,87	2,68	0,68	0,118	21	0,068
Піски дрібнозернисті слабоглинисті	0,215	1,92	2,68	0,70		28	0,025
Глини червоно-бурі, бурі	0,287	1,80	2,70	0,95	0,20	20	0,094
Глини сіро-зелені	0,233	1,91	2,72	0,79	0,23	22	0,050
Каоліни кори вивітрювання	0,277	1,92	2,66	0,77	0,116	16	0,014

Методика дослідження. Враховуючи досвід розробки кар'єрів-аналогів можна зазначити, що зсувні деформації робочих уступів і бортів, як правило, були незначними, носили локальний характер і не створювали ризику виникнення аварійних ситуацій. Навпаки зсувні явища на внутрішніх відвалах були досить поширеними, оскільки в основу відвалів вкладалися глинисті породи, які мають невисоку міцність. Такі явища спостерігалися у первинних каолінах кори вивітрювання кристалічних порід та вторинних каолінах бучакського ярусу. Крім того необхідно враховувати, що в результаті набухання при додатковому зволоженні міцність глинистих відкладень знижується [3].

Розрахунок стійкості укосів відвалів проводиться методом алгебраїчного сумування сил, що діють по найбільш напруженій поверхні. Результати зводяться до оцінки співвідношення зсувних та стримуючих сил або напружень. Умова граничної рівноваги при алгебраїчному сумуванні сил записується наступним чином [6, 7]:

$$n = \frac{\sum \tau_c}{\sum \tau_z}, \quad (1)$$

де n – коефіцієнт запасу стійкості; $\sum \tau_c$ – стримуючі сили; $\sum \tau_z$ – зсувні сили.

В інженерних розрахунках стійкості укосів формування стримуючих і зсувних сил забезпечується загальноприйнятими параметрами міцності ґрунту: зчепленням і кутом внутрішнього тертя (рис. 1). Таким чином, можна записати:

$$\sum \tau_c = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \cos \varphi_i \cdot \operatorname{tg} \rho_i + \sum_{i=1}^n k_i \cdot l_i, \quad (2)$$

$$\sum \tau_z = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sin \varphi_i, \quad (3)$$

де P_i – вага елементарного блоку, т:

$$P_i = \gamma a_i h_i, \quad (4)$$

φ_i – кут нахилу основи елементарного блоку, град; ρ_i – кут внутрішнього тертя порід, град; k_i – питоме зчеплення; l_i – площа основи елементарного блоку, м²; γ – щільність ґрунту, т/м³; a_i , h_i – розміри елементарного блоку, м [6, 7].

Коефіцієнт запасу стійкості укосу буде дорівнювати коефіцієнту запасу стійкості по найбільш напруженій поверхні.

Стан граничної рівноваги настає за умови рівності стримуючих і зсувних сил, в цьому випадку коефіцієнт запасу стійкості дорівнює 1,0. Чим більше коефіцієнт запасу стійкості, тим більш гарантовано забезпечується стійкість укосу.

Характерною рисою будови Мотронівсько-Аннівського ділянки є чіткий поділ розкриття на 2 яруси: верхній ярус представлений лесоподібними і червоно-бурими суглинками та глинами з локальними ділянками алювіальних і делювіальних відкладень; нижній ярус, який залягає на рудних пісках Полтавського віку, представлений сарматськими пісками і глинами.

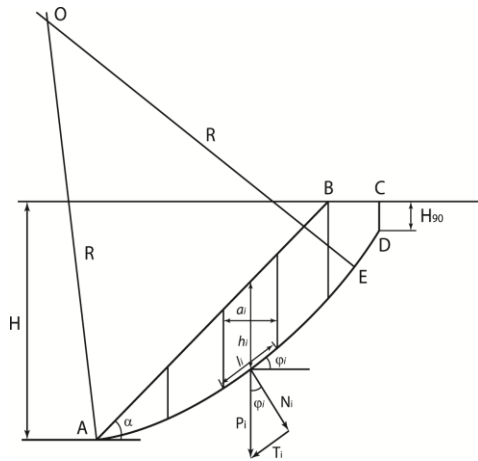


Рисунок 1 – Схема до розрахунку стійкості укосу методом алгебраїчного сумування по найбільш напруженій поверхні

Виходячи з цього, при валовому способі відпрацювання розкривних порід породи нижнього ярусу відвалу, що складаються з порід верхнього розкривного уступу, зазнають найбільших змін. При застосуванні селективного способу відпрацювання при формуванні першого (нижнього) ярусу відвалу сарматські піски та глини можна вкладати відповідно у нижню і верхню частини ярусу окремо. Це значно підвищує стійкість відвалу.

Геологічний переріз (рис. 2) досить коректно характеризує основні особливості геолого-літологічної будови родовища [3]. Середня висота нижнього розкривного уступу дорівнює 32,45 м, середня висота верхнього розкривного уступу дорівнює 21,1 м. Четвертинні лесоподібні суглинки та третя частина потужності червоно-бурих глин відпрацьовуються верхнім уступом, а дві треті частини потужності червоно-бурих глин, що залишилися, і повністю сарматські піски і глини відпрацьовуються нижнім уступом і вкладаються в нижні яруси внутрішнього відвалу. При значенні коефіцієнта розпушення 1,25 середня висота нижніх ярусів, що складаються в основному з сарматських відкладень, складе 40,6 м, а верхніх, представлених лесоподібними суглинками і червоно-бурими глинами, – 26,4 м.

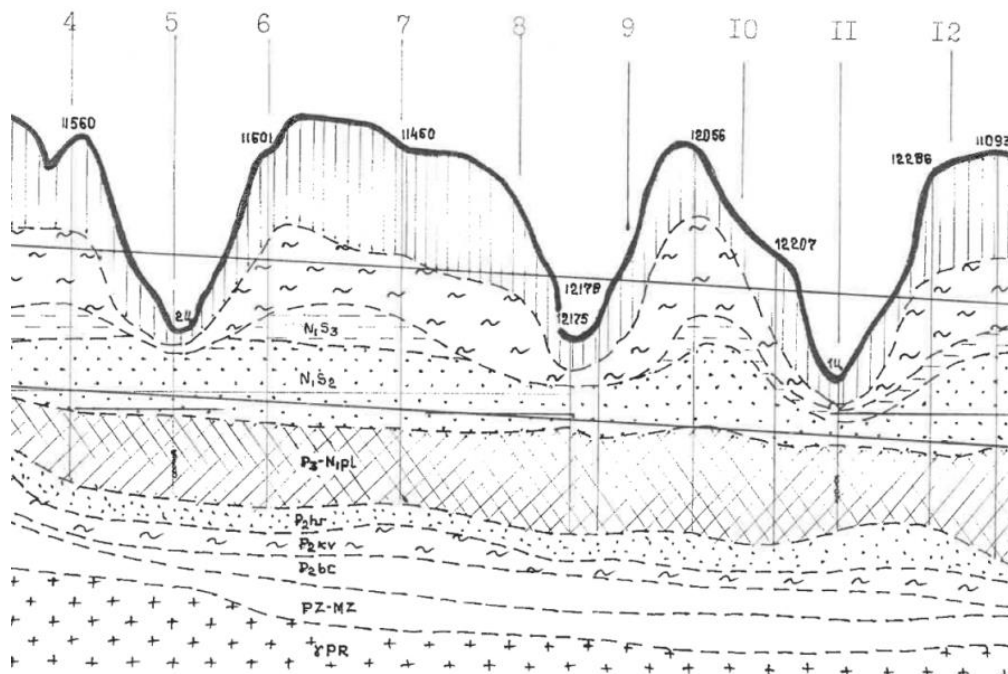


Рисунок 2 – Інженерно-геологічний розріз родовища.

Опір зсуву відвальних сумішей розраховувався для середньозважених вологих сумішей. При цьому враховувався процентний вміст літологічних різностей за природної вологості. Результати розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункові показники фізико-механічних властивостей відвальних сумішей

Відвальна суміш	Вологість частини один	Щільність, т/м ³	Параметри опору зсуву в залежності від коефіцієнту запасу стійкості n			
			n=1,0		n=1,2	
			ρ , град	k, т/м ²	ρ , град	k, т/м ²
Суглинки лесовидні, глини червоно-бурі	0,19	1,80	21,5	1,6	18,2	133
Суглинки лесовидні, глини червоно-бурі, пісок дрібнозернистий, глини сіро-зелені	0,16	1,80	36,0	1,8	-	-
Пісок сарматський	0,13	1,80	23,0	1,85	-	-
Глини сарматські	0,24	1,80	11,5	5,14	-	-
Первинні каоліни	-	-	10,0	3,0	-	-

Результати досліджень. Для забезпечення стійкості внутрішніх відвалів пропонується селективне формування відвалів, що представлено в даній статті двома варіантами. У першому варіанті розглядається селективне відсіпання в нижню частину внутрішніх відвалів сарматських сіро-зелених глин, які є слабопроникними і мають невисоку міцність. Внаслідок зростання напорів в підрудному водоносному комплексі спостерігається погіршення умов стійкості відвалів. Також цьому сприятиме і хвостосховище, розташоване у виробленому просторі. Були виконані розрахунки стійкості внутрішніх відвалів з точки зору їх можливої деформації по поверхні ослаблення, розташованій в зоні первинних каолінів кори вивітрювання. Для розрахунків були прийняті середні потужності підрудних відкладень: для харківських і київських відкладень - 5 м, для бучакського - 8 м. Кут укосу нижнього ярусу відвалів висотою 40 м варіював в межах 12-30°.

Результати розрахунків стійкості відвалів по поверхні ослаблення в зоні первинних каолінів, представлені на рис. 3.

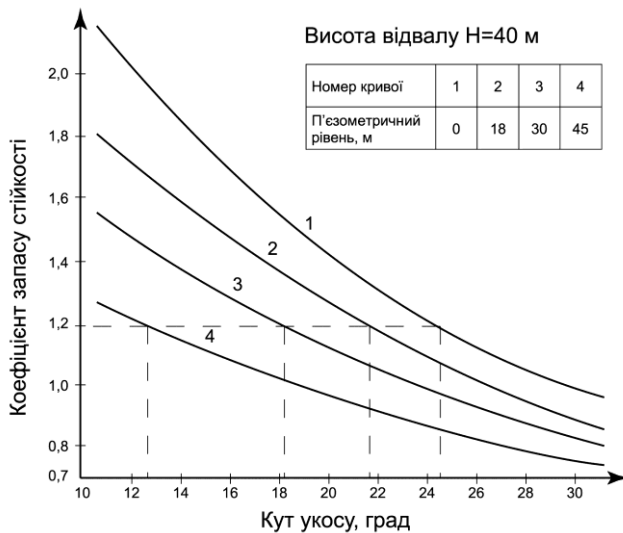


Рисунок 3 – Графік залежностей коефіцієнта запасу стійкості внутрішніх відвалів від кута укосу відвалу

З графіка видно, що напори бучакського водоносного горизонту істотно впливають на допустимі кути відсіпання. Так, при нормативній величині коефіцієнту запасу стійкості нижнього ярусу відвалу ($n=1,2$) при нульових значеннях напорів кут відсіпання становить 24,5°. При напорах, що не перевищують відміток підшови рудничного пласта, стійкість забезпечується тільки при кутах менше 22°.

Під час розрахунків стійкості у варіанті відсіпання в нижню частину відвалу глин був виконаний розрахунок залежності коефіцієнта запасу стійкості від кута відсіпання і відстані до хвостосховища [8].

За результатами розрахунків, що відображені на графіку (рис. 4), видно, що за відсутності у виробленому просторі хвостосховища нормативний коефіцієнт запасу стійкості $n=1,2$ забезпечується при куті відсіпання $\alpha=17^\circ$, але поєднання глини в припідшовенній зоні і хвостосховища у виробленому просторі істотно впливають на кут складування. З віддаленням фронту гірничих робіт вплив хвостосховища на стійкість поступово зменшується. На відстані 900-1200 м рекомендовані кути на 0,5-1,5° менші за оптимальне для цього випадку значення 17°.

Для вирішення завдань управління стійкістю укосів, включаючи використання на нижніх ярусах від валоутворювача ОШР-5000/95, для варіанту вкладання глин в припідшовенній зоні була встановлена залежність кута відсипання від висоти ярусу з урахуванням розміщення хвостосховища у виробленому просторі.

Розрахунки показали, що відстань до хвостосховища більш суттєво впливає на відвал великої висоти (рис. 5). Якщо нижня частина відвалу формується двома ярусами висотою до 20 м, кут укосу з нормативним коефіцієнтом запасу $n = 1,2$ може бути прийнятий рівним 20° - 21° . При цьому вплив хвостосховища практично не відчувається.

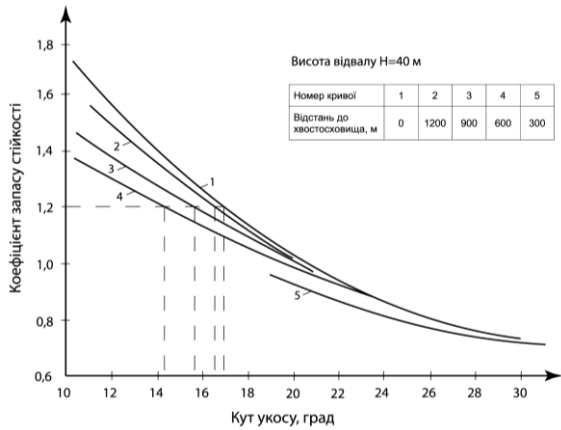


Рисунок 4 – Графік залежностей коефіцієнта запасу стійкості нижніх ярусів відвалу висотою 40 м від кута укосу і відстані до хвостосховища

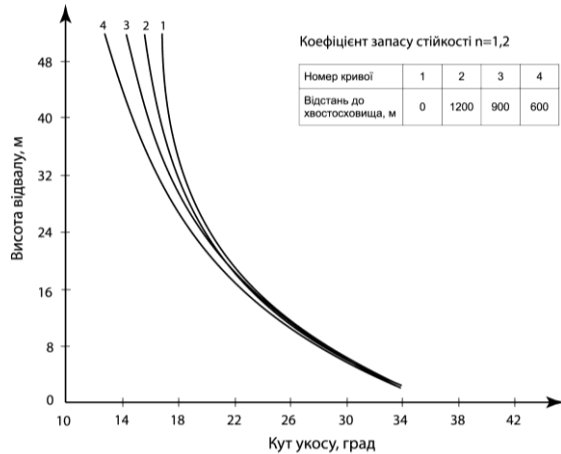


Рисунок 5 – Графік залежностей кута укосу нижніх ярусів відвалу від висоти і відстані до хвостосховища

У другому варіанті селективного відсипання нижнього ярусу відвалу з точки зору забезпечення стійкості були оцінені умови, коли в основу відвалу відсипається шар сарматських пісків потужністю кілька метрів. Вище вкладається шар, що являє собою суміш пісків, сіро-зелених і червоно-бурих глин. Таке відсипання вирішується технологічно при застосуванні ОШР-5000/195, що встановлюється на робочому горизонті.

Проведені розрахунки стійкості відвалу для вихідної висоти 40 м при відсипанні в нижню частину пісків показали (рис. 6), що за відсутності в нижній частині відвалу техногенного водоносного горизонту кут відсипання відвалу становить до $19,8^\circ$, тобто приблизно на 3° більше, ніж при відсипанні глин. Наявність в нижній частині відвалу водоносного горизонту також несуттєво впливає на параметри укосів.

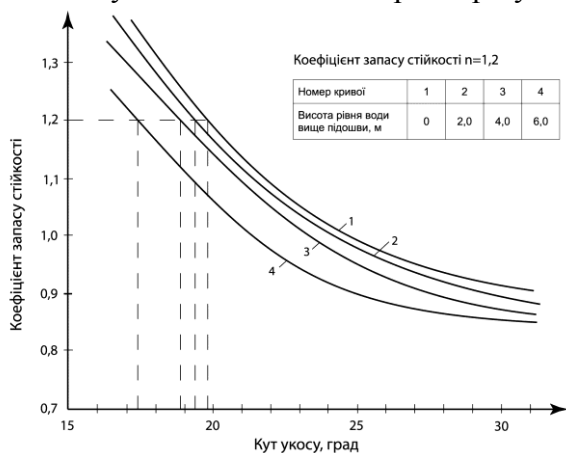


Рисунок 6 – Графік залежностей коефіцієнта запасу стійкості нижнього ярусу відвалу висотою 40 м від кута укосу

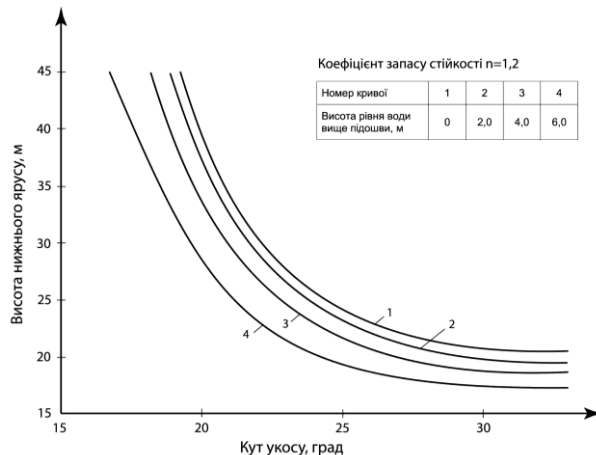


Рисунок 7 – Графік залежностей кута укосу нижніх ярусів відвалу від висоти і положення депресійної кривої

При застосуванні ОШР-5000/95 на нижньому ярусі відвалу, за умови, що він складається з двох під'ярусів висотою до 20 м, останні можуть відсипатися під кутом природного укосу.

При цьому в підошві відвалу може допускатися рівень води в техногенному горизонті до 2 м (рис.7). При більш високих рівнях води нормативний коефіцієнт запасу стійкості забезпечується при менших кутах відсипання.

Враховуючі проведені дослідження необхідно підкреслити, що в загальній стійкості внутрішніх відвалів визначальним є нижній ярус. Нормативний коефіцієнт запасу стійкості відвалу ($n=1,2$) забезпечується при висоті відвалу 66 м з урахуванням верхнього ярусу і бермі не менше 30-40 м.

Верхній ярус відвалу формується відвалоутворювачем ОШР-5000/95. Розрахунки стійкості верхніх ярусів висотою по 13 м показали, що за умови відсутності поверхонь ослаблення, їх можна формувати кожен окремо під кутом близько 34° , що майже дорівнює куту природного укусу. У випадку формування верхнього ярусу відвалу висотою 26 м за один прохід відвалоутворювача ОШР-5000/95 рекомендований кут укусу дорівнює 26° при нормативному коефіцієнті запасу стійкості $n=1,2$. На локальних ділянках, де висота ярусу може досягати 40-42 м, безпечний кут відсипання необхідно знижувати до 23° .

ВИСНОВКИ та практичне значення

1. В результаті проведення лабораторних досліджень ґрунтів отримані показники кута внутрішнього тертя (суглинки, глини – $20-22^\circ$, піски – 28° , каоліни – 16°), питоме зчеплення (суглинки, глини – 0,05-0,09 МПа, піски – 0,025 МПа, каоліни – 0,014 МПа). Тому при формуванні відвальних сумішей основну частину складають суглинки і глини.

2. Варіант формування відвалу з вкладанням в основу нижнього ярусу сарматських пісків і вище суміші пісків та глин дозволяє досягти висоти нижнього ярусу 40 м і збільшити кут відсипання відвалу приблизно на 3° в порівнянні з іншим варіантом, коли нижній ярус відвалу складається з сарматських сіро-зелених глин. Відсипка здійснюється відвалоутворювачем ОШР- 5000/195.

3. У разі вкладання у нижню частину внутрішніх відвалів сіро-зелених глин доцільно нижній ярус відвалу формувати 2-ма під'ярусами висотою до 20 м з використанням відвалоутворювача ОШР-5000/95.

4. Верхній ярус відвалу рекомендується формувати масивом висотою 26 м з використанням відвалоутворювача ОШР-5000/95.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Г.Л. Фисенко, *Устойчивость бортов карьеров и отвалов*. Москва, Россия: Недра, 1965.
- [2] В.Н. Попов, П.С. Шпаков, и Ю.Л. Юнаков, *Управление устойчивостью карьерных откосов*. Москва, Россия: Горная книга, 2008.
- [3] Отчет о НИР «Обосновать параметры горно-транспортного оборудования для разработки Мотроновского месторождения титановых руд», Днепропетровск, 2003.
- [4] О. Лазніков, «Обґрунтування способу розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського титано-цирконієвого родовища», *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць, ІГТМ НАНУ*, Вип. 124, с. 232–238, 2015.
Доступно: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/135961>
- [5] Б. Собко, А. Гайдін, та О. Лазніков, «Вплив розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища на гідрогеологічні умови території», *Збірник наукових праць НГУ*, № 45, с. 184–189, 2014.
Доступно: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/151863/28.pdf>
- [6] Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Ленинград, Россия: ВНИМИ, 1972.
Доступно: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294853/4294853734.pdf>
- [7] Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. Ленинград, Россия: ВНИМИ, 1987.
- [8] О. Ложніков, «Сучасні проблеми освоєння титан-цирконієвих родовищ України», *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, Вип. 1, №120, с. 120–125, 2020. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.1.120-125

- [9] B. Sobko, O. Lozhnikov, A. Haidin, and O. Laznikov, «Substantiation of rational mining method at the Motronivskiy titanium-zirconium ore deposit exploration», *Наукoвий вісник Національного гірничого університету*, № 6, с. 41–48, 2016. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_6_6.

S. Stovpnyk, PhD, Assis. Prof.,
ORCID: 0000-0001-5664-8680

T. Kosenko*, Sen. Lect.,
ORCID: 0000-0001-9426-8320

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: tanitakos1@gmail.com

Received 17.09.2021; Accepted 29.09.2021

ENSURING THE STABILITY OF INTERNAL DUMPS ACCORDING TO THE RESULTS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF SOILS

Purpose and task. The purpose of the work is to develop variants for the formation of internal dumps of soft rocks to ensure their long-term stability. The task of the work is to conduct tests of physical and mechanical parameters of soils, calculate the coefficient of stability of dumps, determine the maximum height and angle of the blade slope; develop options for laying internal dumps ensuring stability of the slopes.

Research methods. To solve the set tasks, laboratory studies of physical and mechanical parameters of soils were carried out according to normative methods, calculations of slope stability by graphoanalytical method were performed, the proposed variants were substantiated by the method of comparative analysis.

The main results. During the research, the parameters of the angle of internal friction and the coefficient of adhesion for sands, loams, clays were determined; on the basis of the received results the optimum height and a slope angle of dump ledges are established; substantiated options for stacking dumps depending on the composition of soils; for the proposed options, the calculated coefficients of the margin of stability of the slopes of the dumps are determined.

Conclusions and practical significance. Studies have shown that the most rational variant is the formation of internal heaps with embedding in the base of the lower tier of the heap 40 m high layer of Sarmatian sands; in the case of embedding in the lower part of the inner heaps of gray-green clays, it is advisable to form the lower tier of the heap with 2 sub-tiers up to 20 m high; it is recommended to form the upper tier of the dump with one massif 26 m high.

Keywords: stability, quarry, sides, heap slopes, coefficient of stability reserve, adhesion.

REFERENCES

- [1] G. Fisenko, *Ustoychivost bortov karerov i otvalov* [Stability of the sides of quarries and dumps]. Moscow, Russia: Nedra, 1965.
- [2] V. Popov, P. Shpakov, and Yu. Yunakov, *Upravlenie ustoychivostyu karernyih otkosov* [Pit slope stability management]. Moscow, Russia: Gornaya kniga, 2008.
- [3] Otchet o NIR, "Obosnovat parametryi gorno-transportnogo oborudovaniya dlya razrabotki Matronovskogo mestorozhdeniya titanovyih rud" [Justify the parameters of mining and transport equipment for the development of the Motronovskoye titanium ore deposit], Dnepropetrovsk, 2003.
- [4] O. Laznikov, «Substantiation of the Mining Method for Motronivsko-Annivsky site in the Malyshevskiy Titanium-Zirconium Deposit», *Geo-Technical Mechanics: Mizhvid.Zbirnyk naukovykh prac IHTM NANU*, vol. 124, pp. 232-238, 2015. Available: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/135961>
- [5] B. Sobko, and A. Gaydin, "The impact of the mining Matronushka-Annuska site of Malyshevsky Deposit on the hydrogeological conditions of the territory", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 45, pp. 184-189, 2014. Available: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/151863/28.pdf>
- [6] *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu uglov naklona bortov, otkosov ustupov i otvalov stroyaschihsya i ekspluatiruemyih karerov* [Procedural Guidelines for Determining Inclinations for Edges, Slopes, Ledges, and Spoil Heaps of Operable Quarries and Quarries Under Construction]. Leningrad, Russia: VNIMI, 1972. Available: <http://www.gostfr.com/normadata/1/4294853/4294853734.pdf>
- [7] *Metodicheskie ukazaniya po raschetu ustoychivosti i nesuschey sposobnosti otvalov* [Guidelines for calculating the stability and bearing capacity of dumps]. Leningrad, Russia: VNIMI, 1987.
- [8] O. Lozhnikov, «Modern Problems of Titanium-Zirconium Deposits Development in Ukraine», *Transactions of Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, vol.1, no. 120, pp. 120-125, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2020.1.120-125>.
- [9] B. Sobko, O. Lozhnikov, A. Haidin and O. Laznikov, «Substantiation of rational mining method at the Motronivskiy titanium-zirconium ore deposit exploration», *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 6, pp. 41-48, 2016. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_6_6.