

Корисна модель належить до галузі гірничої справи, зокрема до технологій складування розкривних порід при формуванні багатоярусних відвалів на слабкій основі, і може бути використана при розробці родовищ відкритим способом в умовах необхідності забезпечення стійкості та технологічної придатності відвалів розкривних порід.

Корисна модель може бути використана при розробці відкритих родовищ корисних копалин у різних гірничо-геологічних умовах при будівництві відвалів різної конфігурації.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є спосіб відвалоутворення на слабкій обводненій основі, який включає доставку і поярусне складування розкривних порід відвальними заходами (Патент UA № 29357 корисну модель).

Ключовими етапами цього є:

1. Попередні інженерно-геологічні та геофізичні дослідження для визначення характеристик ґрунтів, виявлення небезпечних зон слабких порід та зон залягання водонасиченого шару.

2. Розміщення вертикальних дренажних свердловин у шаховому порядку на проектній площі розширення відвалу для ефективного зниження надлишкового порового тиску та гідростатичного напору води.

3. Проходження гірничих виробок у породах слабкої основи та їх засипання розкривними породами з подальшим зведенням відвалу пошарово.

4. Осушувальні роботи, задля зниження рівня ґрунтових вод за рахунок водознижуючих свердловин із застосуванням щільних фільтрів і гравійної засипки.

5. Зміцнення нестійких зон буронабивними палями після проведення геофізичних досліджень, що дозволяють виявити розущільнені та ослаблені зони.

6. Поетапне буріння та засипання вертикальних дренажних свердловин з контролем за зниженням надлишкових порових тисків та гідростатичного напору води.

Недоліком відомого способу є те, що вирішення основного завдання ґрунтується на необхідності осушення та зміцнення основи, а не забезпеченні формування робочої зони необхідної стійкості.

Найближчий аналог переважно вирішує завдання щодо зміцнення та осушення слабкої основи відвалу за допомогою дренажних свердловин та паль, що важливо, але при цьому не охоплюється питання раціонального поярусного формування робочої зони, розташування робочих майданчиків та контролю кутів укосу - ключових параметрів для безпечної експлуатації багатоярусних відвалів.

У найближчому аналогу відсутня гнучка система управління кутами та орієнтацією майданчиків, а також можливість адаптації до геотехнічних умов, що змінюються.

Недостатню увагу приділено поярусному складуванню розкривних порід з урахуванням їхньої стійкості. Складування ведеться без детального геометричного опрацювання структури ярусів.

Немає математичного апарату для прогнозування кутів стійкості. Найближчий аналог більше спирається на інженерні дослідження та загальні рекомендації, що може знижувати точність та адаптивність рішень.

Найближчий аналог зосереджений на інженерно-геологічних методах підвищення несучої здатності відвалу та зниження гідростатичного тиску води, що важливо для загальної безпеки відвалу, проте не враховує питання організації робочого простору та раціонального поярусного розподілу гірничої маси.

Задачею корисної моделі є вдосконалення способу складування розкривних порід за рахунок забезпечення необхідних рівнів гнучкості, стійкості та адаптації до геомеханічних умов роботи гірничодобувного підприємства.

Перше ключове завдання, яке вирішується корисною моделлю, полягає у забезпеченні стійкості багатоярусного відвалу, що формується на слабкій основі, схильному до опадів, деформацій і втрати несучої здатності. Це досягається за рахунок формування поярусної робочої зони з використанням трикутних та діагональних робочих майданчиків, геометричні параметри та просторова орієнтація яких підбираються за розрахунковими залежностями, що дозволяє перерозподіляти навантаження та знижувати напруги в основі, а також знижувати ймовірність розвитку зсувних процесів та просадок.

Друге завдання пов'язане зі створенням можливості адаптації висоти кожного ярусу відвалу відповідно до розрахункового коефіцієнта запасу стійкості, що дозволяє керувати вертикальною структурою відвалу залежно від конкретних умов місцевості.

Третє завдання полягає у формуванні діагональних робочих майданчиків з контрольованим кутом орієнтації в плані, значення якого розраховується за певною залежністю. Ця міра дозволяє керувати геометрією фронту відвальних робіт і кутом укосу борту відвалу, що забезпечує як стійкість, так і технологічну ефективність. За рахунок цього з'являється можливість гнучкого планування та поетапного виконання відвальних робіт із мінімальними ризиками для стійкості споруди.

Четверте завдання полягає у забезпеченні узгодженого та рівномірного відсипання розкривних порід, що виключає локальні навантаження та нерівномірний розподіл маси. Спосіб передбачає організацію відвальних заходів з боків від робочих майданчиків із напрямом переміщення вздовж їхніх сторін. Це дозволяє рівномірно розподілити навантаження по ширині ярусу, оптимізувати логістику техніки та зменшити динамічний вплив на основу.

П'яте завдання, що вирішується - оперативне управління стійкістю робочої зони відвалу в процесі експлуатації. Це досягається за рахунок можливості коригування кута орієнтування діагональних майданчиків, що впливає на результуючий кут укосу борту відвалу.

Шосте завдання - підвищення безпеки експлуатації відвалу та умов роботи відвальної техніки. Передбачається формування стійких та геометрично вивірених робочих майданчиків, за рахунок чого створюються безпечні умови для розміщення, переміщення та розвантаження транспортних засобів, що знижує ймовірність аварійних ситуацій та травматизму.

Сьоме завдання - розширення сфери застосування відвальної технології, включаючи ділянки зі складною топографією, обмеженою площею розміщення, високою вологістю основи або підробленими зонами. Завдяки розрахунковій адаптації параметрів та гнучкості конфігурації майданчиків, заявлений спосіб може застосовуватися у найрізноманітніших геолого-інженерних умовах, що підвищує його універсальність.

Вирішення всіх зазначених завдань забезпечується комплексом технологічних прийомів, заснованих на геометричній трансформації робочої зони відвалу, використанні аналітичних залежностей для розрахунку кутів і висот, узгодженої логістики розміщення розкривних порід та впровадження коригувальних механізмів управління стійкістю.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб формування робочої зони зовнішнього відвалу на слабкій основі включає доставку і поярусне складування розкривних порід відвальними заходками.

Згідно з корисною моделлю на земній поверхні формують поярусно робочу зону відвалу у вигляді робочих майданчиків трикутної форми, після чого формують аналогічні майданчики кожного наступного вищерозташованого ярусу, які трансформують у діагональні робочі майданчики.

Яруси відвалу формують різною висотою, яку визначають за коефіцієнтом запасу стійкості, при цьому формують кут орієнтування діагональних робочих майданчиків у плані щодо основного напрямку фронту відвальних робіт на кожному ярусі, який визначають за формулою

$$\alpha_i \leq \arctg \left[\frac{0,5 \cdot \Sigma_{o,i}}{\sum_{j=1}^{i+1} \{h_j \cdot (\operatorname{ctg}(\varphi_{\delta,(i+1)}) - \operatorname{ctg}(\beta_j))\} - \sum_{j=1}^{i-1} \{h_{n,j}\}} \right], \text{град}$$

де

h_j - висота j-го ярусу відвалу, м;

β_j - кут укосу j-го ярусу відвалу, град.;

$\Sigma_{o,i}$ - ширина основи робочого майданчика трикутної форми в плані, розташованого на i-му ярусі відвалу, м;

$\varphi_{\delta,(i+1)}$ - гранично-допустимий кут стійкості (i+1)-го ярусного борту відвалу, град.

Розкривні породи складають у робочій зоні відвалу відвальними заходками, які розташовують з боків трикутних і діагональних робочих майданчиків, які переміщують уздовж цих сторін і формують при цьому робочу зону на кожному (i)-му ярусі відвалу з результуючим кутом укосу (i)-ярусного борту відвалу рівним:

$$\varphi_{p,j} = \arctg \left[\frac{\sum_{j=1}^i \{h_j\}}{\sum_{j=1}^i \{h_j \cdot \operatorname{ctg}(\beta_{\delta,j})\} + \sum_{j=1}^{i-1} \left\{ \frac{\Sigma_{p,n,j}}{\sin(\alpha_j)} \right\}} \right], \text{град}$$

за умови, що для $j=1 \dots i$:

$\varphi_{p,j} \leq \varphi_{\delta,j}$, град.,

та для $j>1$:

$\alpha_j \geq \alpha_{(j-1)}$, град.,

де

$\Sigma_{p,n,j}$ - нормативна ширина j-го діагонального робочого майданчика, який розташований на відповідному j-му ярусі відвалу, м.

Оперативне управління стійкістю робочої зони відвалу здійснюють корекцією кута орієнтування діагональних робочих майданчиків, за рахунок чого змінюють результуючий кут укосу робочого борту відвалу.

Технічним результатом корисної моделі є формування стійкої робочої зони з можливістю оперативного регулювання параметрів укосів шляхом зміни кутів орієнтування діагональних робочих майданчиків, а також дотримання граничних умов стійкості кожного ярусу відвалу.

Реалізація заявленого способу формування робочої зони багатоярусних відвалів забезпечує досягнення комплексу технічних результатів, спрямованих на підвищення стійкості відвальної структури, зниження ризиків деформаційних та аварійних процесів, покращення умов для роботи відвальної техніки, а також на розширення функціональних та технологічних можливостей при розміщенні розкривних порід на слабких основах. Застосування запропонованої технології дозволяє ефективно вирішувати завдання управління просторовою конфігурацією відвалу з урахуванням інженерно-геологічних умов та оперативного коригування параметрів відвальних робіт у режимі реального часу.

Основним технічним результатом корисної моделі є забезпечення стійкості багатоярусних відвалів, що формуються на слабких ґрунтах, за рахунок використання адаптивної поярусної технології з поетапною організацією трикутних і діагональних робочих майданчиків. Це дозволяє перерозподілити навантаження на основу та уникнути її концентрованого впливу, що критично важливо при роботі в умовах зниженої міцності основи, наявності водонасичених ґрунтів, підроблених територій та інших несприятливих факторів.

Важливим технічним ефектом є можливість формування ярусів із різною висотою, що визначається за коефіцієнтом запасу стійкості. На відміну від традиційних схем з фіксованою висотою ярусів, у заявленому способі враховуються конкретні геомеханічні умови ділянки розміщення, що дозволяє уникнути неприпустимих напруг у тілі відвалу та у його основі. Це сприяє запобіганню зсувних процесів, осідань та деформацій, а також знижує ймовірність руйнування бортів відвалу.

Додатковим результатом є можливість керованого формування результуючого кута укосу борту відвалу за рахунок застосування розрахункових залежностей та коригування кута орієнтування діагональних робочих майданчиків. Це забезпечує дотримання нормативних вимог щодо стійкості укосів, а також дозволяє змінювати геометрію укосів за необхідності без порушення стійкості усієї структури. Таким чином, відпадає необхідність у проведенні масштабних рекультиваційних заходів та коригувальних земляних робіт, пов'язаних із переукладанням порід.

Технологія дозволяє забезпечити оптимальну організацію фронту відвальних робіт, оскільки напрямком відвальних заходок синхронізується з просторовою конфігурацією робочих майданчиків. За рахунок цього досягається рівномірне завантаження кожного майданчика, виключається перевантаження окремих ділянок, зменшується динамічний вплив на основу, що особливо важливо при складуванні великих об'ємів розкривних порід. Управління напрямом заходок також сприяє раціональнішому використанню площі відвалу та поліпшенню логістики технологічних потоків.

Додаткова перевага полягає у зниженні витрат на геотехнічний моніторинг та аварійно-відновлювальні заходи. Завдяки розрахунковому управлінню стійкістю та контрольованому формуванню укосів відвалу вдається мінімізувати ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій, а також знизити необхідність екстрених заходів щодо стабілізації відвальної маси. Це сприяє економії ресурсів та часу, а також підвищує надійність функціонування відвалу протягом усього його експлуатації.

Спосіб реалізується таким чином.

На сьогоднішній день при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом широко застосовуються технології поярусного формування відвалів порід з використанням відвальних заходок. Ці технології припускають послідовне укладання розкривної маси на основу у вигляді ярусів, причому робоча зона відвалу зазвичай організується як горизонтальний або слабопохилий майданчик, по якому здійснюється рух технологічного транспорту та розміщення відвальних механізмів.

Однак наявні способи мають ряд істотних недоліків, які в умовах слабких ґрунтів основи, високої вологості, нестабільних геомеханічних характеристик підстилаючих порід, а також при значних об'ємах розкривної маси, що складається, створюють ризики порушення стійкості відвалів, зниження виробничої ефективності і збільшення експлуатаційних витрат.

По-перше, класична схема формування відвалів горизонтальними майданчиками не забезпечує необхідного перерозподілу навантаження за площею основи. В результаті при накопиченні значної маси розкривних порід формується зосереджений тиск на обмежену площу, що спричиняє надмірну деформацію основи, особливо у разі слабких або водонасичених ґрунтів. Це призводить до розвитку небезпечних деформацій, включаючи опади, сповзання та локальні обвалення.

По-друге, існуючі технології не передбачають можливості гнучкого коригування конфігурації робочої зони у процесі експлуатації. Відвальні заходи в більшості випадків проектується і реалізуються з урахуванням фіксованих параметрів геометрії, що обмежує можливість їх адаптації під умови, що змінюються, наприклад, у разі зміни стійкості бортів, надходження нових геологічних даних або появи просядок.

По-третє, при традиційному поярусному складуванні розкривних порід із горизонтальними робочими зонами відсутній облік оптимального напрямку формування укосів з погляду мінімізації напружено-

деформованого стану масиву. Це означає, що кут фронту відвальних робіт кожного ярусу, зазвичай, не піддається ефективному контролю, а проектні параметри ухилу схилів можуть не відповідати реальним умовам стійкості, що збільшує ризик зсуву борту відвалу.

По-четверте, існуючі методи не забезпечують ефективного контролю над результуючим кутом укосу багатоярусного борту відвалу в процесі його поетапного формування. Розрахунок параметрів стійкості часто проводиться на стадії проектування та не переглядається при формуванні кожного нового ярусу, що може призводити до недооцінки ризиків зсувних процесів в умовах слабких чи нерівномірних основ.

По-п'яте, при застосуванні існуючих технологій утруднено забезпечення рівномірного розподілу розкривної маси шириною робочої зони. Внаслідок цього спостерігаються локальні зони навантаження, що додатково знижує стійкість відвалу, а також ускладнює переміщення технологічного транспорту та обслуговування укосів.

По-шосте, існуючі способи не передбачають можливості оперативного управління станом укосів через зміну геометрії робочих майданчиків. Відсутність механізму коригування кута орієнтування робочих зон не дозволяє реалізувати активне керування стійкістю, особливо для формування високих або протяжних відвалів, де накопичені деформації можуть досягати критичних значень.

Крім того, формування ярусів однакової висоти протягом усього відвалу не враховує просторовий розподіл коефіцієнтів стійкості, що залежать від локальних геологічних і гідрогеологічних умов. Це може призводити до перевитрати розкривних порід, нерівномірного осідання, необхідності часткової рекультивациі або реконструкції окремих ділянок відвалу.

Нарешті, відсутність аналітичних залежностей, що дозволяють розраховувати кут орієнтування робочих майданчиків та результуючий кут укосу багатоярусного борту відвалу в умовах слабкої основи з урахуванням поточних геометричних параметрів, ускладнює проведення точного прогнозу стійкості та проектного обґрунтування відвальних робіт на кожному етапі.

Відмінною особливістю способу є використання геометрично орієнтованих трикутних та діагональних робочих майданчиків, що організуються поярусно, із застосуванням спеціальних розрахункових залежностей, що забезпечують дотримання граничних умов стійкості та регулюють результуючу конфігурацію укосів на кожному ярусі відвалу.

На першому етапі формування відвалу проводиться попередня підготовка земної поверхні та інженерно-геологічне обстеження майданчика складування розкривних порід. На підставі отриманих даних визначаються межі розміщення відвалу, характеристика основи, а також вихідні параметри, необхідні для виконання розрахунків: властивості міцності ґрунтів, гранично допустимі кути укосів, висоти і ухили ярусів, параметри стійкості.

Формування робочого простору починається із влаштування базового ярусу відвалу. На земній поверхні організуються робочі майданчики трикутної форми, основа яких орієнтується згідно з обраним напрямом фронту відвальних робіт.

Ширина заснування трикутного майданчика на i -му ярусі позначається як $Ш_{0,i}$. Укладання розкривних порід здійснюється з використанням відвальних заходок, що розміщуються з боків трикутників. Ці заходи служать напрямними шляхами переміщення породорозвантажувальної техніки, а також сприяють рівномірному розподілу маси по майданчику.

Наступний етап - формування вищерозташованих ярусів. Кожен наступний ярус проектується з урахуванням аналізу стійкості, причому висота h_j j -го ярусу може відрізнятися від попередніх і визначається залежно від коефіцієнта запасу стійкості та інших розрахункових параметрів. Геометрична конфігурація майданчиків модифікується від трикутної форми переходять до діагональної. Діагональні робочі майданчики дозволяють гнучкіше керувати напрямом відвальних робіт і перерозподілом навантажень, а також є інструментом адаптації технології до локальних умов.

Для забезпечення стійкості відвалів та запобігання деформаційним процесам кут орієнтування діагональних робочих майданчиків у плані (позначається α_i) щодо основного напрямку фронту відвальних робіт на кожному i -му ярусі розраховується за такою формулою:

$$\alpha_i \leq \arctg \left[\frac{0,5 \cdot Ш_{0,i}}{\sum_{j=1}^{i+1} \{h_j \cdot (\operatorname{ctg}(\varphi_{6,(i+1)}) - \operatorname{ctg}(\beta_j))\} - \sum_{j=1}^{i-1} \{n_j\}} \right] \text{ град}$$

де

h_j - висота j -го ярусу відвалу, м;

β_j - кут укосу j -го ярусу відвалу, град.;

$Ш_{0,i}$ - ширина основи робочого майданчика трикутної форми в плані, розташованого на i -му ярусі відвалу, м;

$\varphi_{6,(i+1)}$ - гранично-допустимий кут стійкості $(i+1)$ -го ярусного борту відвалу, град.;

Отриманий кут орієнтування α_j служить орієнтиром для просторового розташування робочих зон, з боків яких продовжується складування розкривних порід у межах діагональних заходок. Це забезпечує створення стійких ділянок з можливістю контролю напряду навантаження основи та управління формуванням ухилу укосів.

У процесі ярусного нарощування відвалу необхідно дотримуватись умови узгодження геометрії укосів та їх стійкості. І тому розраховується результуючий кут укосу багаторярусного борту відвалу $\varphi_{p,j}$.

$$\varphi_{p,j} = \arctg \left[\frac{\sum_{j=1}^i \{h_j\}}{\sum_{j=1}^i \{h_j \cdot \operatorname{ctg}(\beta_{6,j})\} + \sum_{j=1}^{i-1} \left\{ \frac{W_{p,l,j}}{\sin(\alpha_j)} \right\}} \right], \text{ град.}$$

за умови, що для $j=1 \dots i$:

$$\varphi_{p,j} \leq \varphi_{6,j}, \text{ град.,}$$

та для $j>1$:

$$\alpha_j \geq \alpha_{(j-1)}, \text{ град.,}$$

$W_{p,l,j}$

- нормативна ширина j -го діагонального робочого майданчика, який розташований на відповідному j -му ярусі відвалу, м.

Отримане значення результуючого кута укосу $\varphi_{p,j}$ порівнюється з нормативним значенням граничного кута стійкості $\varphi_{6,j}$.

Умова стійкості вважається виконаною за дотримання нерівності:

$$\varphi_{p,j} \leq \varphi_{6,j} \text{ для всіх } j.$$

Крім того, для забезпечення плавного переходу між ярусами та недопущення звуження робочих зон на верхніх рівнях потрібне дотримання наступної умови:

$$\alpha_j \geq \alpha_{(j-1)}, \text{ для } j>1.$$

Це забезпечує наростаючий чи рівномірний характер зміни кута орієнтації робочих майданчиків від нижнього до верхнього ярусу.

Формування кожного ярусу завершується після досягнення проектної висоти та розрахункового кута ухилу. Перехід до наступного ярусу можливий лише після підтвердження стійкості сформованого борту геотехнічного аналізу або інструментального моніторингу. Таким чином, технологія передбачає використання ітераційного проектування з покроковою верифікацією параметрів, що базується на наведених розрахункових формулах.

Особливістю запропонованої технології є можливість оперативного керування стійкістю відвалу за рахунок коригування кута орієнтування діагональних робочих майданчиків. Зміна значення α_j призводить до перерозподілу ширини робочої зони, зміни протяжності укосів і, як наслідок, зміни результуючого кута укосу $\varphi_{p,j}$. Це забезпечує можливість оперативного втручання у процес формування відвалу у разі виникнення відхилень у поведінці основи, зміні погодних умов, підвищенні водонасиченості чи прояві нестійкості.

Крім того, технологія дозволяє формувати яруси різної висоти, залежно від локальних умов ділянки складування. Замість традиційного підходу з фіксованою висотою ярусів тут застосовується адаптивна стратегія, при якій висота кожного ярусу h_j вибирається на підставі аналізу коефіцієнта запасу стійкості та можливої деформації основи. Це дозволяє знизити навантаження на найбільш уразливі ділянки та підвищити загальну стійкість відвальної структури.

Таким чином, корисна модель забезпечує:

- формування стійкої відвальної структури на слабких основах;
- регулювання геометрії та ухилів ярусів залежно від геотехнічних умов;
- оперативне управління напрямом та конфігурацією фронту робіт;
- підвищення технологічної безпеки та продуктивності;
- зниження витрат на коригувальні та аварійні заходи;
- розширення сфери застосування способу в умовах складних ландшафтних та інженерно-геологічних обмежень.

Реалізація запропонованого способу дозволяє перейти від статичного проектування відвалів до технології, що динамічно адаптується, з можливістю покрокового управління параметрами формування, що являє собою якісно новий підхід до відвальних робіт у гірничодобувній промисловості.

Впровадження способу дозволить як підвищити безпеку і стійкість відвалів, а й оптимізувати процеси складування розкривних порід.

