

УДК 621.771.014

Г.І. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
О.А. САМОЙЛЮК, магістрантка, А.О. ШЕПЕЛЬ, аспірантка
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМУ ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШТАБИ У ГЛАДКИХ ВАЛКАХ

У роботі розглядається поздовжня прокатка тонкої штаби у гладких валках, при якій деформація здійснюється між валками при їхньому обертанні в різних напрямках.

Процес обтиснення металу тиском характеризується геометричними розмірами та формою осередку деформації. Геометрично осередок деформації містить елементи кола, і для чисельного визначення об'єму осередку деформації використана формула Сімпсона з автоматичним вибором кроку інтегрування для заданої точності

За допомогою розробленої комп'ютерної програми було визначено обтиснення штаби за дванадцять проходів та досліджена зміна геометричного об'єму осередку деформації в залежності від обтиснення та фактору форми.

Методами кореляційно-регресивного аналізу встановлені тіснота та форми зв'язку між об'ємом осередку деформації та обтиснення і фактором форми для розширення, розрахованого за різними формулами. Встановлено, що у всіх випадках спостерігається стійка статистична, нелінійна залежність об'єму осередку деформації від обтиснення і фактору форми. Вперше запропонована формула для обчислення об'єму осередку деформації, яка враховувала розширення штаби, визначене за теоретичними формулами: Жеза, Губкина, Зібеля, Чекмарьова. Встановлені закономірності дозволили розширити уявлення о взаємозв'язках характерних параметрів геометричного осередку деформації.

Ключові слова: поздовжня прокатка, штаба, осередок деформації, розширення, кліть

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Найбільш розповсюдженим методом обробки металів тиском є прокатка, при якій вихідна заготовка обтискується валками прокатного стану для зменшення поперечного перерізу заготовки і надання їй заданої форми. В даній статті розглядається гаряча поздовжня безперервна прокатка, при якій метал знаходиться одночасно відразу в декількох клітях. З одного боку, це прискорює обробку та зменшує енерговитрати на повторний нагрів металу між циклами прокатки. З іншого - вимагає високої точності і злагоженості роботи всіх механізмів прокатного стану для забезпечення необхідних геометричних розмірів і фізичних властивостей одержуваних виробів.

Будь який процес обробки металу тиском характеризується геометричними розмірами та формою осередку деформації.

Як зазначено в роботі [1], осередок деформації для обробки металів тиском по важливості можна порівняти з корисним об'ємом доменної печі при виробництві чавуну. Але недостатня увага об'єму металу в осередку деформації та часу перебування в ньому може негативно впливати на якість металу при прокатуванні. Тому дослідження об'єму осередку деформації з метою забезпечення необхідних геометричних розмірів і фізичних властивостей кінцевого продукту є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. В процесі прокатки, в результаті обтиснення штаби валками, метал тече як в поздовжньому, так і в поперечному напрямі. Величина розширення залежить перш за все від обтиснення, причому по мірі збільшення обтиснення в осередку деформації росте і розширення. Багатьма авторами встановлено, що зміна ширини штаби по довжині осередку деформації має криволінійний характер. В теоретичних висновках форму осередку деформації в плані зазвичай приймають за трапецію [2].

Разом зі встановленням характеру зміни ширини штаби в осередку деформації треба знати також величину повного розширення Δb , отриманого штабою при прокатці. Це особливо важливо при прокаті в калібрах, оскільки неточно визначена величина розширення може привести до переповнення або до не заповнення калібру. Але для спрощення розв'язання задач у багатьох випадках розширенням штаби знехтують [3].

Розширення штаби при сталому режимі прокатування - одна з найголовніших проблем, тому що в результаті необхідно отримати заготовку з заданими параметрами. По вертикалі контроль здійснюється підвищенням жорсткості робочих клітей, а по горизонталі наплив контролювати набагато важче через те, що він залежить від багатьох параметрів технологічного процесу.

Для розрахунку розширення при прокатці запропоновано багато формул. Ці формули створювалися на різних етапах розвитку теорії прокатки і відрізняються істотно. Одна з найбільш ранніх є формула Л. Жеза [2], яка враховує вплив тільки абсолютного обтиску на розширення. Мається на увазі, що вплив решти всіх параметрів прокатки може бути врахований показником, величина якого визначається експериментальним шляхом. Дослідженнями встановлено, що показник розширення a при прокатці з великими обтисненнями не є константою і набуває значень до 1,0. Тому формулою Л. Жеза можна користуватися тільки при прокатці з помірними обтисненнями ($a=0,25-0,48$), або в тих випадках, коли відома величина показника a для конкретних умов прокатки.

Наступною, відносно простою і популярною є формула Е. Зібеля [2], яка враховує вплив на розширення відносного обтиснення і довжини осередку деформації.

До більш складніших і точніших формул для розрахунку розширення відносяться формули С.І. Губкіна і О.П. Чекмарьова [4].

Вони належать до розряду емпіричних оскільки отримані в результаті обробки і опису експериментальних даних.

Постановка завдання. Метою роботи є встановлення закономірностей зміни об'єму осередку деформації від обтиснення та фактору форми при прокатуванні у гладких валках. Для порівняння точності обчислень, при визначенні об'єму осередку деформації, було прийнято рішення скористатися найбільш відомими формулами для розрахунку розширення

Викладення матеріалу та результати. Виконаємо розрахунок об'єму осередку деформації. Тіло осередку деформації показано на рис. 1.

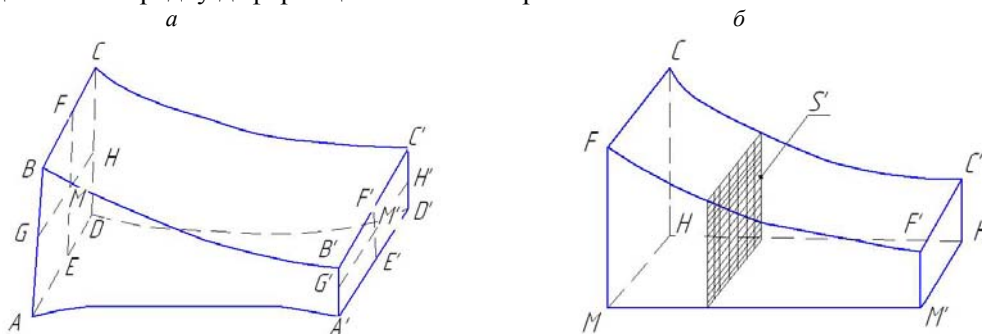


Рис. 1. Тіло осередку деформації: а- ціле тіло; б- частина тіла осередку деформації

Дана фігура симетрична відносно площини проведеної через середини відрізків BC та $B'C'$, AD та $A'D'$. Вона також симетрична відносно площини проведеної через середини відрізків AB та DC , $A'B'$ та $D'C'$.

Провівши ці площини вихідна фігура розділиться на чотири частини, які мають однаковий об'єм. Тому достатньо знайти об'єм однієї частини, а об'єм осередку деформації буде у чотири рази більше.

З боків дана фігура обмежена площинами $FCHM$, $HCC'H'$, $F'C'H'M'$ та $FF'M'M$, які перпендикулярні площині основи $MHH'M'$ зверху тіло обмежене циліндричною поверхнею з радіусом валка R .

Помістимо початок координат в точку M , так як площини $MHH'M'$, $FFF'M'$ і $MFCH$ взаємно перпендикулярні, тоді відрізок MM' буде розташовуватись на осі x , відрізок MH на осі y і відрізок MF на осі z .

Переріз S' являє собою прямокутник паралельний площині $MFCH$, тоді об'єм даної фігури може бути знайдений шляхом інтегрування площ перерізу S' уздовж прямої MM' :

$$V = \int_0^{|MM'|} S(x) dx,$$

де $|MM'|$ - довжина відрізка MM' ; $S'(x)$ - площа перерізу.

Площу перерізу знаходимо як добуток довжин основи та висоти: $S'(x) = y(x)z(x)$, де $y(x)$, $z(x)$ - відповідно довжина основ та висоти.

Для знаходження $y(x)$ спроектуємо нашу фігуру на площину xoy (рис. 2а).

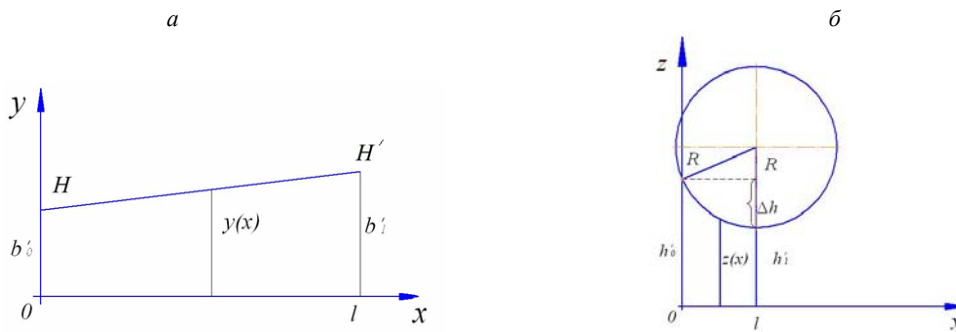


Рис. 2. Проекція фігури на площину: а - xoy ; l - довжина відрізка MM' ; b'_0 - половина ширини штаби на вході в кліть; b'_1 - половина ширини штаби на виході із кліті; б - xoz ; h'_0, h'_1 - половина висоти штаби відповідно на вході та виході з кліті; R - радіус валка; $\Delta h' = h'_0 - h'_1$ зміна висоти

Для знаходження зміни ширини $y(x)$ знайдемо рівняння прямої HH'

$$\frac{x}{l} = \frac{y - b'_0}{b'_1 - b'_0}, \text{ звідси: } y(x) = \frac{x}{l}(b'_1 - b'_0) + b'_0.$$

Для знаходження $z(x)$ скористаємося рис. 2б, на якому показана проекція фігури на площину xoz , і рівнянням кола $(x - l)^2 + (z - (R + h'_1))^2 = R^2$.

$$\text{Звідси } z(x) = \sqrt{R^2 - (x - l)^2} + (R + h'_1).$$

З цього ж рисунка знаходимо довжину l

$$l = \sqrt{R^2 - (R - \Delta h')^2}.$$

Отже, площа перерізу $S'(x)$ визначається за формулою

$$S'(x) = \left(\frac{x}{l}(b'_1 - b'_0) + b'_0 \right) \left(\sqrt{R^2 - (x - l)^2} + (R + h'_1) \right).$$

Позначимо $\Delta b' = b'_1 - b'_0$ - приріст ширини штаби, таким чином об'єм осередку деформації буде

$$V = 4 \int_0^{\sqrt{R^2 - (R - \Delta h')^2}} \left(\frac{x}{l} \Delta b' + b'_0 \right) \left(\sqrt{R^2 - (x - l)^2} + R + h'_1 \right) dx.$$

Оскільки фігуру розділено на чотири симетричні частини, тому для знаходження об'єму осередку деформації усієї фігури достатньо занести коефіцієнт 4 під знак інтеграла

$$V = \int_0^{\sqrt{R^2 - (R - \Delta h')^2}} \left(\frac{x}{l} \Delta b + b_0 \right) \left(\sqrt{D^2 - 4(x - l)^2} + D + h_1 \right) dx, \quad (1)$$

де b_0 - ширина штаби на вході в кліть; $\Delta b_1 - b_0$ - розширення штаби; D - діаметр валка; h_1 - ширина штаби на виході з кліті.

Так як обчислення виконується на комп'ютері, немає необхідності в явному знаходженні певного інтеграла.

Геометрична фігура містить елементи кола, то для чисельного визначення об'єму зручно скористатися відомою формулою Сімпсона [5] з автоматичним вибором кроку інтегрування для заданої точності.

Інтерфейс програми для розрахунку осередку деформації представлений на рис. 3.

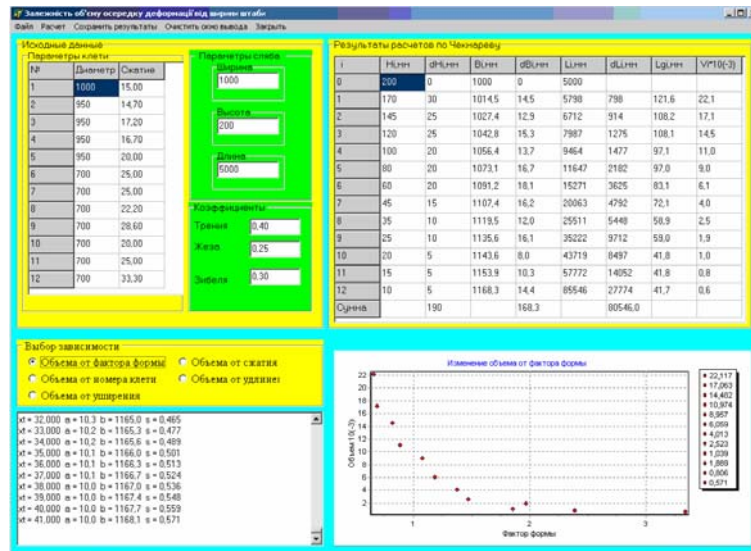


Рис. 3. Інтерфейс програми для розрахунку об'єму осередку деформації

Отже, до кінцевої формули (1) розрахунку об'єму осередку деформації входить такий параметр розширення, який можна визначити за формулами: Жеза, Зібеля, Губкіна та Чекмарьова. Розрахуємо розширення для всіх клітей чорнової та чистої групи. За результатами розрахунків побудуємо графіки залежності об'єму осередку деформації від обтиснення (рис.3) та фактору форми (рис.4). Методами кореляційно-регресивного аналізу встановлені тіснота та форми зв'язку між об'ємом осередку деформації та обтиснення та фактором форми.

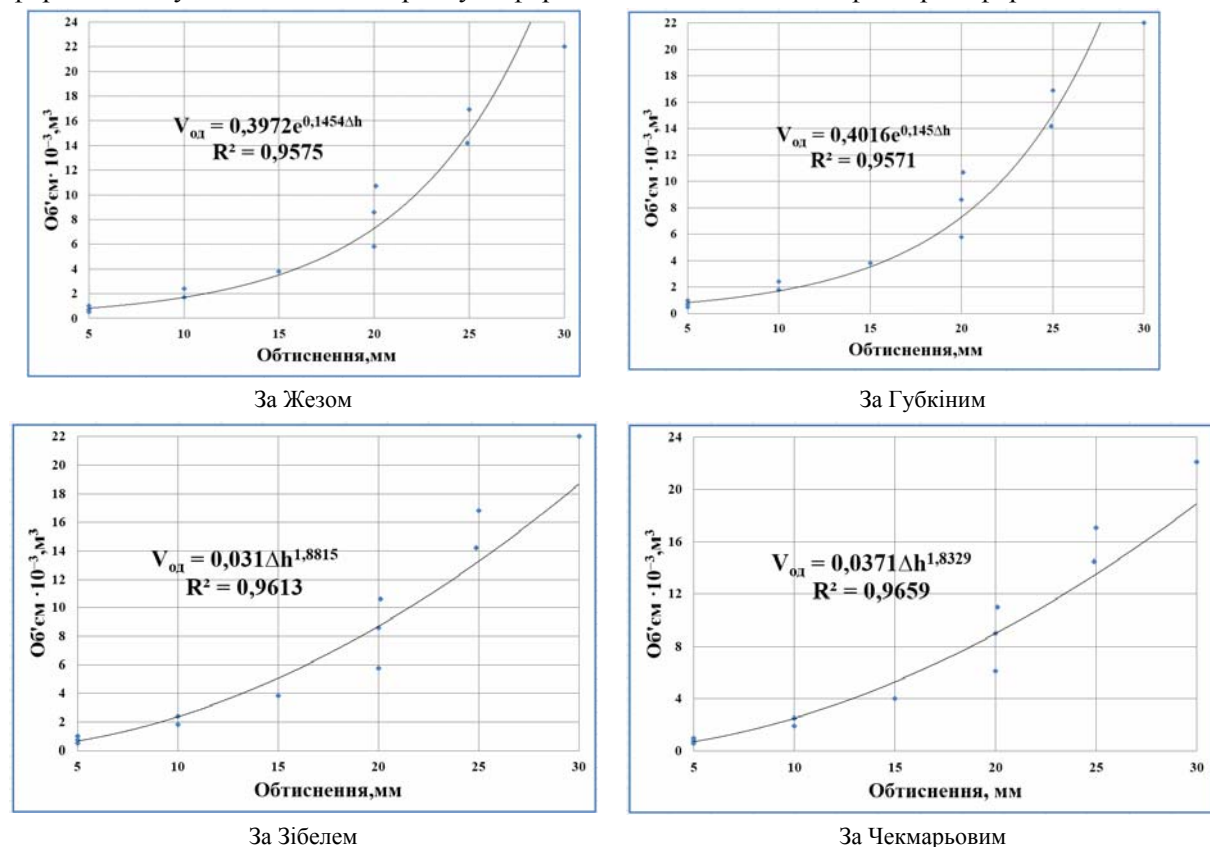


Рис.4. Графіки залежності об'єму осередку деформації від обтиснення

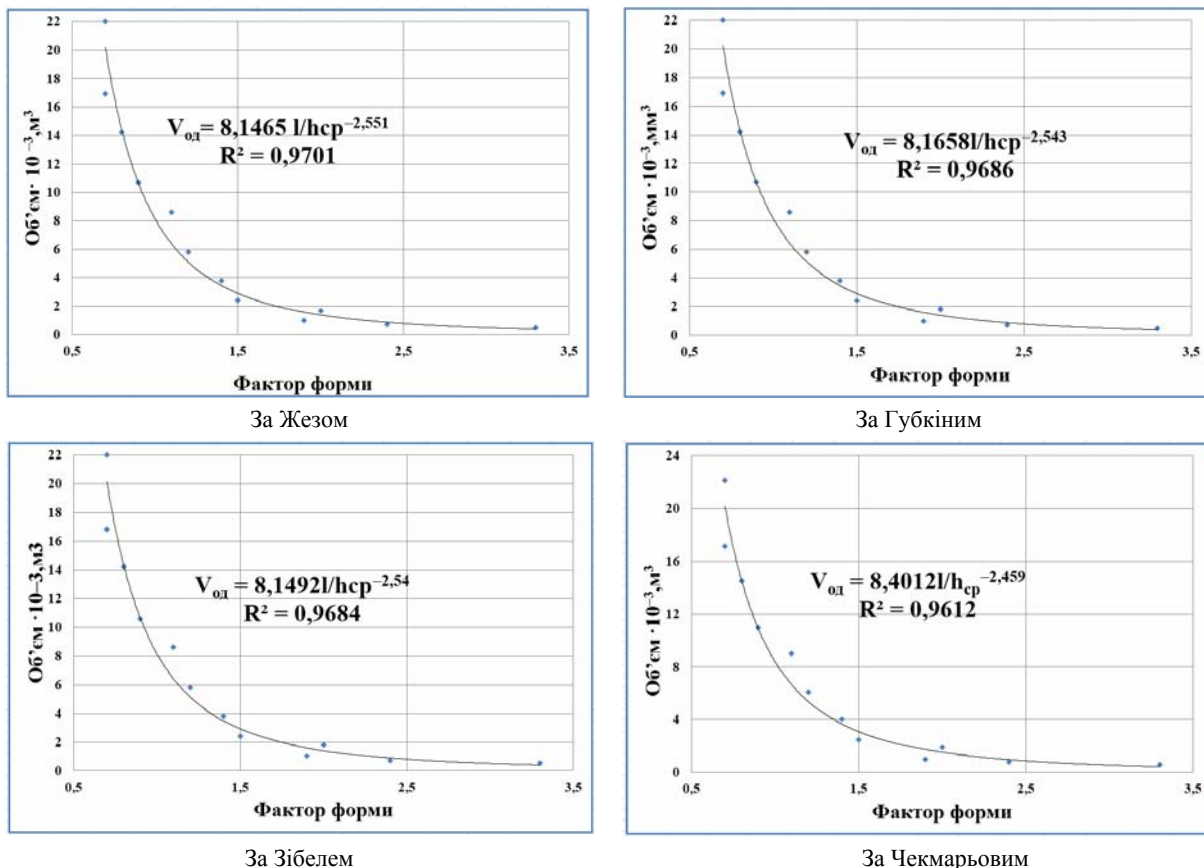


Рис.5. Графіки залежності об'єму осередку деформації від фактору форми

Залежність об'єму осередку деформації від обтиснення та фактору форми має високі значення коефіцієнта детермінації, що пояснюється високим зв'язком факторіальної ознаки.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Вперше запропонована формула для обчислення об'єму осередку деформації, яка враховувала розширення штаби, визначене за теоретичними формулами: Жеза, Губкіна, Зібеля, Чекмарьова. Встановлені закономірності дозволили розширити уявлення о взаємозв'язках характерних параметрів геометричного осередку деформації.

За допомогою розробленої комп'ютерної програми було визначено обтиснення штаби за 12 проходів та досліджена зміна геометричного об'єму осередку деформації впродовж прокатного стану, від кліті до кліті.

Методами кореляційно-регресивного аналізу встановлені тіснота та форми зв'язку між об'ємом осередку деформації та обтисненням і фактором форми. Встановлено, що у всіх випадках спостерігається стійка статистична, нелінійна залежність об'єму осередку деформації від обтиснення та фактору форми.

Розроблення моделі з метою комплексного дослідження фізичного і геометричного осередку деформації при прокатуванні листового металу буде складовою частиною подальших досліджень авторів.

Список літератури

1. **Бережний М.М.** Енергетичний баланс та реологічні властивості осередку деформації при прокатуванні штаби гладкими валками [Текст]: монографія / **М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька.** - Кривий Ріг: Чернявський Д.О., 2011. – 117 с.
2. **Грудев А.П.** Теорія прокатки [Текст]: Учебник для вузов / **А.П. Грудев** – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
3. **Старченко Д.І.** Динаміка повздовжньої прокатки [Текст]: навч. посібник / **Д.І. Старченко** – Київ: ІСДО, 1995. – 384 с.
4. **Коновалов Ю.В.** Справочник прокатчика. Часть 1. Производство горячекатаных полос и листов / **Ю.В. Коновалов.** - М.: Теплотехник, 2008. - 640 с.
5. **Демидович Б.П.** Основы вычислительной математики / **Б.П. Демидович, И.А. Марон.** - М.: Наука, - 1966. – 664 с.

6. **Бережний М.М.** Вплив внутрішньої поверхні металів на їх поведінку під час деформації / **М.М. Бережний В.А. Чубенко** // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2007. – Вип. 19. – С. 65-68.
7. **Бережний М.М.** Сучасний стан і перспективи металургії України / **М.М. Бережний, В.І. Міхєєва, В.А. Чубенко, В.П. Мовчан** // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2003. - Вип. 1. - С. 44-46.
8. **Бережний М.М.** Дослідження роботи циклонів з використанням параметра часу перебування в них продуктів / **М.М. Бережний, Т.А. Олійник, В.П. Яременко** // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2007. – Вип.19. – С. 61-65
9. **Бережний М.М.** Зменшення густини металу під час стружкоутворення / **М.М. Бережний, Ю.Г. Вілкул, В.А. Чубенко** // Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг, 2004. - Вип. 5. - С. 72-76.
10. **Бережний М.М.** Геометрія осередку деформації при поздовжньому прокатуванні / **М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, О.І. Прокопенко** // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2011. - Вип. 27. - С. 155-158.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.14

УДК 622.271

А.Е. БИЛЕНКО, В.В. ТЕРЕЩЕНКО, В.Г. ПШЕНИЧНЫЙ, Ю.В. ПЕРЕГУДОВ
ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТРАБОТАННОГО КАРЬЕРА №2 ПАО «ЦГОК» ВСКРЫШНЫМИ ПОРОДАМИ ГЛЕЕВАТСКОГО КАРЬЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ЗАСЫПКИ

Показана актуальность горнотехнической рекультивации для Кривбасса и ПАО «ЦГОК». Предложены технические решения по совместной засыпке карьера №2 вскрышными породами экскаваторным и бульдозерным способами. Для экскаваторного способа засыпки рассмотрена доставка как железнодорожным, так и автомобильным транспортом. Обоснованы безопасные параметры засыпки карьера №2 драглайнами и бульдозером.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Проблема рекультивации карьеров остро стоит в современных условиях Кривбасса. Одним из направлений горнотехнической рекультивации отработанных карьеров является засыпка их вскрышными породами действующих карьеров. Близкое расположение отработанного карьера №2 ПАО «ЦГОК» к эксплуатируемому Глееватскому карьере позволяет использовать выработанное пространство карьера №2 для складирования вскрышных пород и одновременно осуществлять его горнотехническую рекультивацию.

В настоящее время засыпка карьера №2 осуществляется драглайнами с доставкой вскрышных пород железнодорожным транспортом, согласно разработанных проектных решений [1]. Постепенное выбитие автомобильных отвалов Глееватского карьера обуславливает необходимость поиска новых земель для формирования бульдозерных отвалов. Поэтому возникает задача разработки технологии засыпки карьера №2 при доставке вскрышных пород как железнодорожным, так и автомобильным транспортом.

Анализ исследований и публикаций. Анализ теории и практики складирования вскрышных пород в выработанное пространство карьера показывает, что эффективная технология засыпки отработанных карьеров позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели отвалообразования, уменьшить площади земель отчуждаемых под внешние отвалы.

При этом, для упрощения организации производства отвальных работ и обеспечения минимальных затрат на транспортирование вскрышных пород, засыпку предпочтительно осуществлять одним ярусом с дневной поверхностью.

Если устойчивая высота отвального яруса меньше глубины карьера, то формирование внутреннего отвала должно осуществляется ярусами с максимальной высотой по условию устойчивости.

В работе [2] предложен способ засыпки отработанных карьеров (до 300 м) одним ярусом.

Для обеспечения устойчивости отсыпаемого яруса отвала и увеличения его высоты, на дне карьера формируют насыпи в виде полуконусов до сопряжения их боковых откосов, служащих дополнительным упором для отсыпаемых пород.