

УДК 622.271.4:621.879]:622.013.364.2

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.019

Аргимбаев Каербек Рафкатович

кандидат технических наук, ассистент,
Санкт-Петербургский горный университет,
199106, г. Санкт-Петербург,
21-я линия В.О., 2
e-mail: diamond-arg@mail.ru

Argimbaev Kaerbek R.

candidate of technical sciences,
assistant,
Saint-Petersburg Mining University,
199106 St Petersburg, 21 line V.O., 2
e-mail: diamond-arg@mail.ru

Миронова Кристина Владимировна

студент,
Санкт-Петербургский
горный университет,
e-mail: mironova.k97@bk.ru

Mironova Kristina V.

student,
Saint-Petersburg Mining University
e-mail: mironova.k97@bk.ru

Бовдуй Майя Олеговна

студент,
Санкт-Петербургский
горный университет,
e-mail: m.bovduj@yandex.ru

Bovdyi Maya O.

student,
Saint-Petersburg Mining University
e-mail: m.bovduj@yandex.ru

**МЕТОДЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОТЕРЬ
И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ
ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ
ПРИ ОТРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ****METHODS ON THE ELIMINATION
OF LOSSES AND OPTIMIZATION
THE PROCESSES OF OPEN PIT MINING
WHILE MAN-MADE DEPOSITS
DEVELOPMENT***Аннотация:*

Приведены методы ликвидации потерь, возникающие при отработке сформированного посекционно техногенного месторождения с использованием экскаватора «обратная лопата» или шагающего экскаватора, а также приведена математическая модель, описывающая процессы горных работ.

Abstract:

Methods of losses elimination arising from man-made deposits mining formed by sections using pull or walking shovel, as well as the mathematical model describing processes of mining operations are cited.

Ключевые слова: сформированное посекционно техногенное месторождение, экскаватор «обратная лопата», шагающий экскаватор, потери, математическая модель.

Key words: man-made deposits, deposit formed by sections, pull shovel, walking shovel, losses, mathematical model

Разработка сформированного посекционно техногенного месторождения должна вестись с минимальным количеством технологических операций, чтобы улучшить технико-экономические показатели предприятия, занимающегося его освоением.

В ряде случаев потери неизбежны, например, замена амортизированного выемочно-погрузочного оборудования, применение различного типа выемочно-погрузочного оборудования, применение одного типа выемочно-погрузочного оборудования, но имеющего различные технические параметры и т. д.

Необходимость ликвидации потерь и полнота извлечения могут быть вызваны различными факторами: разработкой техногенных месторождений, содержащих в себе ценные и редкие полезные компоненты; изменениями требований к качеству и количеству добываемого техногенного сырья, когда забалансовые запасы переходят в рентабельные; изменениями в экономике страны или на международных сырьевых рынках [1, 2]. Поэтому ликвидация потерь приобретает первоочередное значение при освоении сформированного техногенного месторождения.

Следует учитывать, что дополнительные мероприятия требуют привлечения дополнительной техники или изменения параметров формируемого техногенного месторождения, что может привести к увеличению себестоимости добычи техногенного сырья.

Для ликвидации потерь могут применяться следующие методы:

1. Выполаживание углов откоса уступов в обрабатываемой секции до линии забоя шагающего экскаватора (рис. 1).

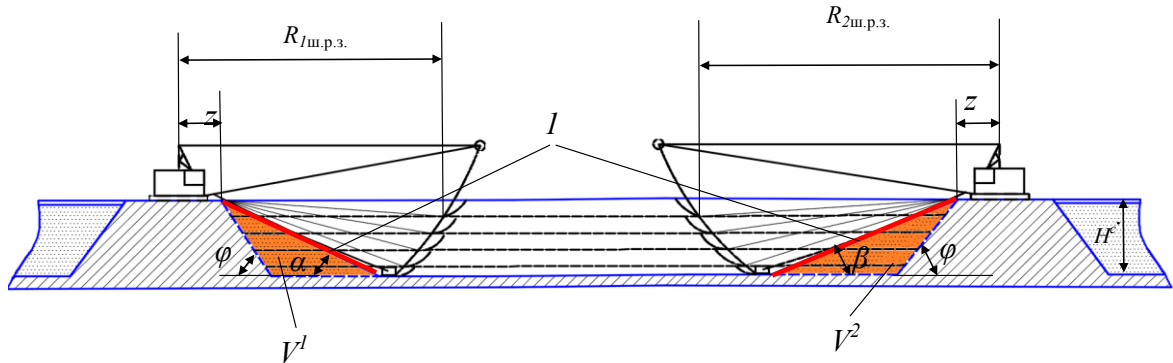


Рис. 1 – Обработка секции при выполаживании углов откоса перегородок из скальной вскрыши в i -ой секции линии забоя шагающих экскаваторов:

H^c – высота секции, м; $R_{1ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, м; $R_{2ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, м; Z – безопасное расстояние до бровки уступа, м; V^1, V^2 – объемы необходимой насыпи, м³; l – исследуемая часть добычных забоев шагающих экскаваторов; φ – угол откоса перегородки из скальной вскрыши, град; α, β – углы исследуемых частей добычных забоев, град

После производства маркшейдерской съемки исследуемого участка добычных забоев шагающего экскаватора и ее обработки мы получили графики эмпирических линейных уравнений («Восток» – горизонтальное расстояние (l), что характеризует ось ОХ; «Высота» – глубина вырытого котлована (h_k), это ось ОУ) (рис. 2).

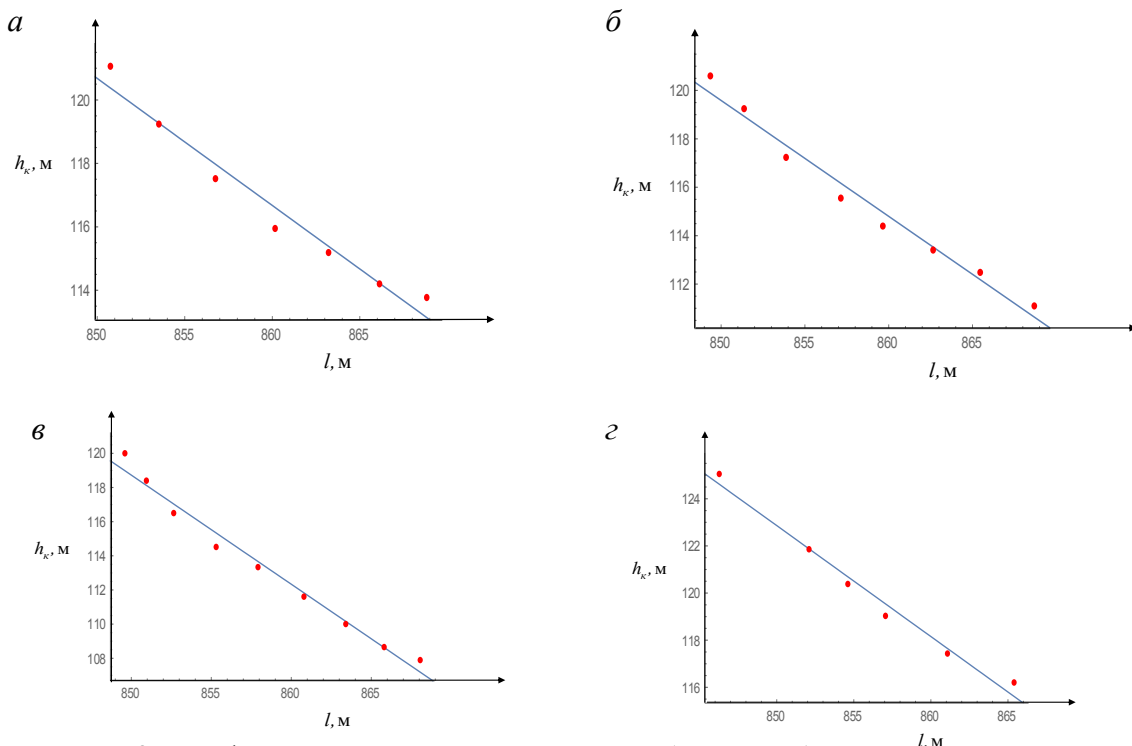


Рис. 2 – Графики линейных аппроксимаций добычных забоев шагающего экскаватора а – забой № 1; б – забой № 2; в – забой № 3; г – забой № 4

Аппроксимационный анализ проводился с применением программы Mathematica 11 от компании Wolfram.

Анализируя полученные результаты корреляционного и дисперсионного анализов, критерии оценки правдоподобия (АИК ВК, скорректированный коэффициент детерминации (adjusted R2), а также построенные графики, можно утверждать, что характер линейных уравнений в полной мере описывает исследуемую часть добычного забоя, и возможно его принять для дальнейших расчетов.

Таким образом, исследуемая часть представляется линейным уравнением, которое имеет следующий вид:

$$y = -k \cdot x + b, \quad (1)$$

где k – эмпирический коэффициент, характеризующий угол наклона линии забоя шагающего экскаватора и зависящий от его модели; b – константа уравнения.

Составив и решив систему линейных уравнений забоя шагающего экскаватора и откоса скальной перегородки, можно получить объем необходимой насыпи в i -ой секции:

$$V_i = \left(\frac{f \cdot (f + 2b)}{2k_1} + \frac{2f \cdot (-y_2 - b - k_2 \cdot x_2) + f^2}{2k_2} + \frac{(-f) \cdot (-y_0^2 - k_0^1 \cdot x_2) - f^2}{k_0^1} \right) \cdot L, \quad \text{м}^3, \quad (2)$$

где b – константа уравнений; (x, y_0^1) , (x_2, y_0^2) – координаты откосов перегородок из скальной вскрыши в i -ой секции; $f = |H^c|$; k_1 , k_2 – эмпирические коэффициенты, характеризующие угол наклона линии забоя шагающих экскаваторов 1-го и 2-го, соответственно, которые зависят от модели; L – длина i -ой секции по низу, м; y_2 – координата местоположения 2-го шагающего экскаватора по оси ОУ; k_0^1 – эмпирический коэффициент, характеризующий угол откоса перегородки из скальной вскрыши в обрабатываемой секции.

При использовании одинакового типа выемочно-погрузочного оборудования площадь и объем насыпи в i -ой секции будут равны:

$$S_i = f \cdot \left(\frac{f - y_2}{k_1} - x_2 \right) + \frac{(-f) \cdot (-y_0^2 - k_0^1 \cdot x_2) - f^2}{k_0^1}, \quad \text{м}^2; \quad (3)$$

$$V_i = S_i \cdot L, \quad \text{м}^3. \quad (4)$$

Так как пределы интеграла зависят от высоты секции, то данные формулы площади и объема могут быть использованы как для определения необходимой насыпи в секции для экскаваторов, находящихся на одном уровне стояния относительно друг друга, так и при различных уровнях стояния экскаваторов (выше или ниже по сравнению друг с другом).

2. *Создание съездов в секциях и размещение в них бульдозеров для подвигания оставшегося техногенного сырья в рабочую зону выемочно-погрузочного оборудования (рис. 3, 4).*

Для применения данного метода, основания секций должны иметь достаточную несущеспособность, чтобы обеспечить движение бульдозеров и безопасность ведения работ.

Подвигание потерь, возникших в результате пересечения рабочих зон экскаваторов, должно осуществляться на расстояние, равное длине основания треугольника потерь, что позволит добыть остаток техногенного сырья (рис. 5).

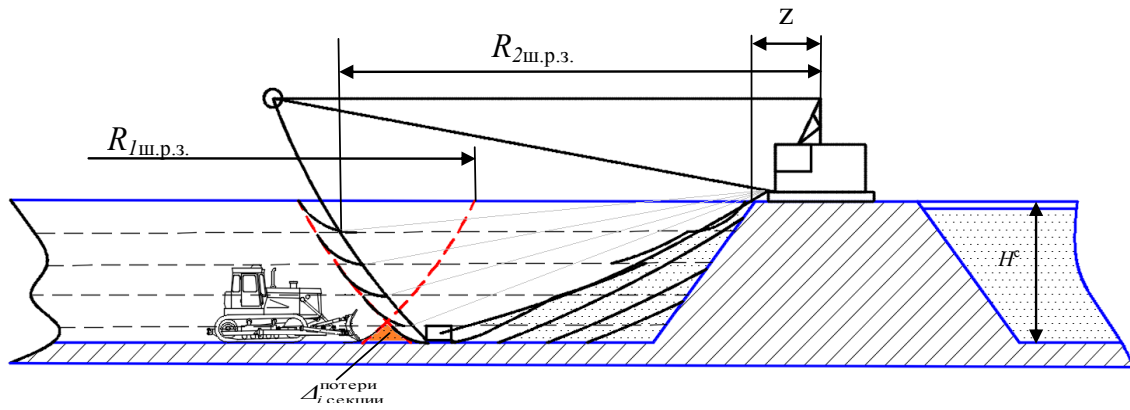


Рис. 3 – Подвигание оставшегося материала бульдозером в рабочую зону шагающего экскаватора:

H^c – высота секции, м; $R_{1ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, м;
 $R_{2ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, м; $\Delta_i^{потери}$ – величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в i -ой секции; z – безопасное расстояние до бровки уступа, м

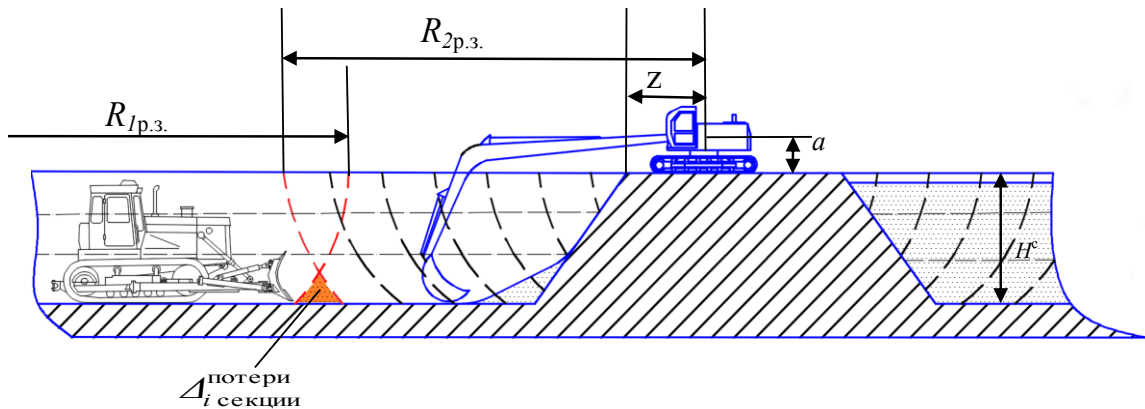


Рис. 4 – Подвигание оставшегося техногенного сырья бульдозером в рабочую зону экскаватора типа «обратная лопата»:

H^c – высота секции, м; $R_{1р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора «обратная лопата», м;
 $R_{2р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора «обратная лопата», м; $\Delta_i^{потери}$ – величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов «обратная лопата» в i -ой секции;
 z – безопасное расстояние до бровки уступа, м

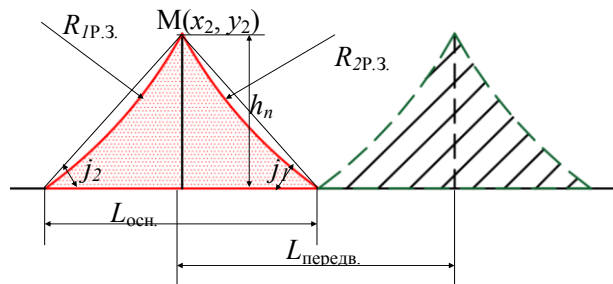


Рис. 5 – Схема потерь, возникающих в результате пересечения рабочих зон экскаваторов: h_n – высота потерь, м; $R_{1р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, м; $R_{2р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, м; $M(x_2, y_2)$ – координата пересечения рабочих зон экскаваторов, м;

$L_{осн.п.}$ – длина основания треугольника потерь, м; $L_{передв.}$ – расстояние передвижки потерь техногенного сырья, м; j_1, j_2 – углы наклона поверхностей, формирующих треугольник потерь, м

Длина основания треугольника потерь, возникающих в результате пересечения рабочих зон экскаваторов определяется согласно зависимостям (5) – (8):

для шагающего экскаватора

при $j_1 \neq j_2$:

$$L_{\text{осн. п.}}^{\text{ш}} = \text{ctg } j_1 \cdot H^c - \text{ctg } j_1 \cdot y_2 + \text{ctg } j_2 \cdot H^c - \text{ctg } j_2 \cdot y_2, \text{ м}, \quad (5)$$

при $j_1 = j_2 = j$ (угол естественного откоса техногенного сырья):

$$L_{\text{осн. п.}}^{\text{ш}} = 2 \cdot \text{ctg } j \cdot H^c - 2 \cdot \text{ctg } j \cdot y_2, \text{ м}, \quad (6)$$

для экскаватора «обратная лопата»:

при $j_1 \neq j_2$

$$L_{\text{осн. п.}}^{\text{об}} = \text{ctg } j_1 \cdot (H^c + a) - \text{ctg } j_1 \cdot y_2 + \text{ctg } j_2 \cdot (H^c + a) - \text{ctg } j_2 \cdot y_2, \text{ м}, \quad (7)$$

при $j_1 = j_2 = j$ (угол естественного откоса техногенного сырья):

$$L_{\text{осн. п.}}^{\text{об}} = 2 \cdot \text{ctg } j \cdot (H^c + a) - 2 \cdot \text{ctg } j \cdot y_2, \text{ м}. \quad (8)$$

Тогда расстояние подвигания потерь составит

для шагающего экскаватора:

$$L_{\text{передв.}}^{\text{ш}} = L_{\text{осн. п.}}^{\text{ш}}, \text{ м}, \quad (9)$$

для экскаватора «обратная лопата»:

$$L_{\text{передв.}}^{\text{об}} = L_{\text{осн. п.}}^{\text{об}}, \text{ м}. \quad (10)$$

3. Уменьшение глубины i -ой секции (рис. 6, 7).

При данном методе ликвидации потерь высота i -ой секции меняется на величину h^c , которая равняется

$$h^c = y_2, \text{ м}, \quad (11)$$

где y_2 – координата пересечения рабочих зон экскаваторов по оси ОУ, м.

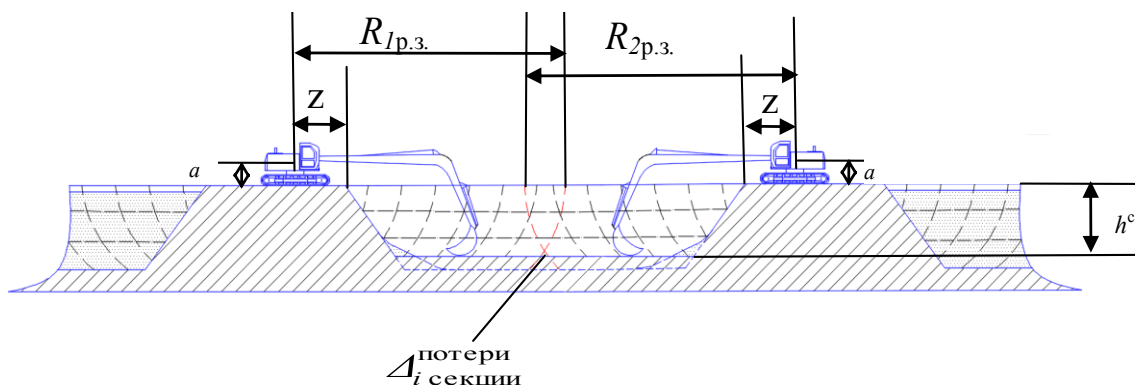


Рис. 6 – Отработка секции меньшей глубины экскаваторами типа «обратная лопата»:

$R_{1р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора «обратная лопата», м; $R_{2р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го

экскаватора «обратная лопата», м; $\Delta_i^{\text{потери}}$ – величина потерь при пересечении рабочих зон

экскаваторов «обратная лопата» в i -ой секции; h^c – измененная высота секции, м;

z – безопасное расстояние до бровки уступа, м

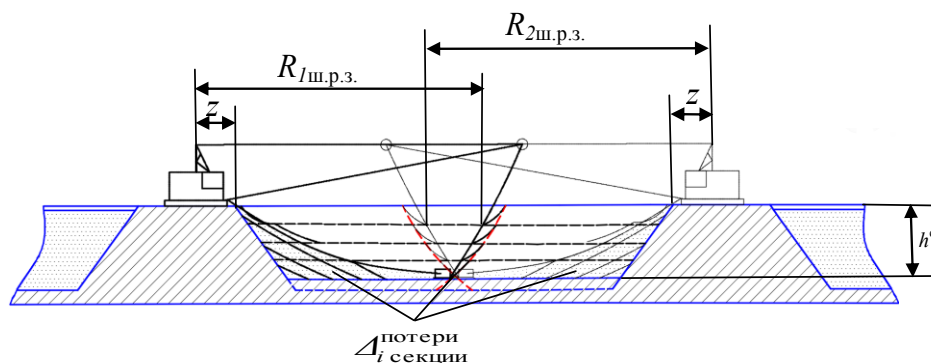


Рис. 7 – Отработка секции меньшей глубины шагающими экскаваторами:

$R_{1ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, м; $R_{2ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, м; $\Delta_i^{потери}$ – величина потерь при пересечении рабочих зон экскаваторов в i -ой секции, а также недобытый материал в силу ограниченности технических параметров выемочно-погрузочного оборудования; h^c – измененная высота секции, м; z – безопасное расстояние до бровки уступа, м

4. Уменьшение ширины i -ой секции (рис. 8, 9).

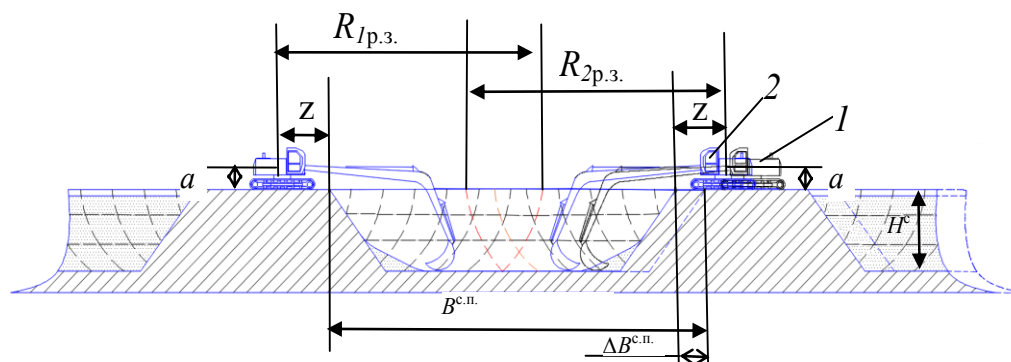


Рис. 8 – Отработка секции меньшей ширины экскаваторами типа «обратная лопата»:

$R_{1р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора «обратная лопата», м; $R_{2р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора «обратная лопата», м; $B^{с.п.}$ – ширина секции по низу, м; $\Delta B^{с.п.}$ – величина изменения ширины секции, м; z – безопасное расстояние до бровки уступа, м; H^c – высота секции, м;

1 – предыдущее положение экскаватора типа «обратная лопата»;
2 – новое положение экскаватора типа «обратная лопата»

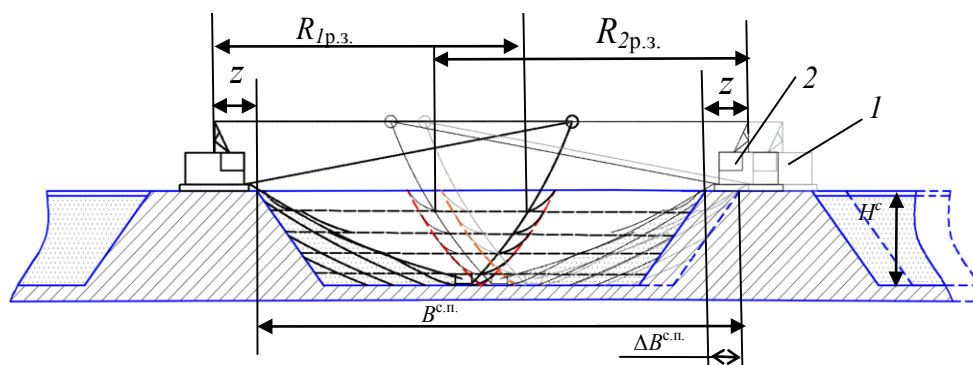


Рис. 9 – Отработка секции меньшей ширины шагающими экскаваторами:

$R_{1ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 1-го экскаватора, м; $R_{2ш.р.з.}$ – радиус рабочей зоны 2-го экскаватора, м; z – безопасное расстояние до бровки уступа, м; H^c – высота секции, м;

$B^{с.п.}$ – ширина секции по низу, м; $\Delta B^{с.п.}$ – величина изменения ширины секции, м;

1 – предыдущее положение шагающего экскаватора; 2 – новое положение шагающего экскаватора

При условии, что величина, на которую изменяется ширина i -ой секции $\Delta B^{c.п.}$, равняется длине основания потерь $L_{осн.п.}$, получим:
при использовании шагающего экскаватора

$$\Delta B^{c.п.} = L_{осн.п.}^{ш}, \text{ м}, \quad (12)$$

при использовании экскаватора «обратная лопата»

$$\Delta B^{c.п.} = L_{осн.п.}^{об}, \text{ м}. \quad (13)$$

Технологическая схема разработки техногенных месторождений значительно отличается от традиционных схем, существующих на горнодобывающих предприятиях, и включает стадии от выемочно-погрузочных работ до поставки готового продукта потребителю (рис. 10).

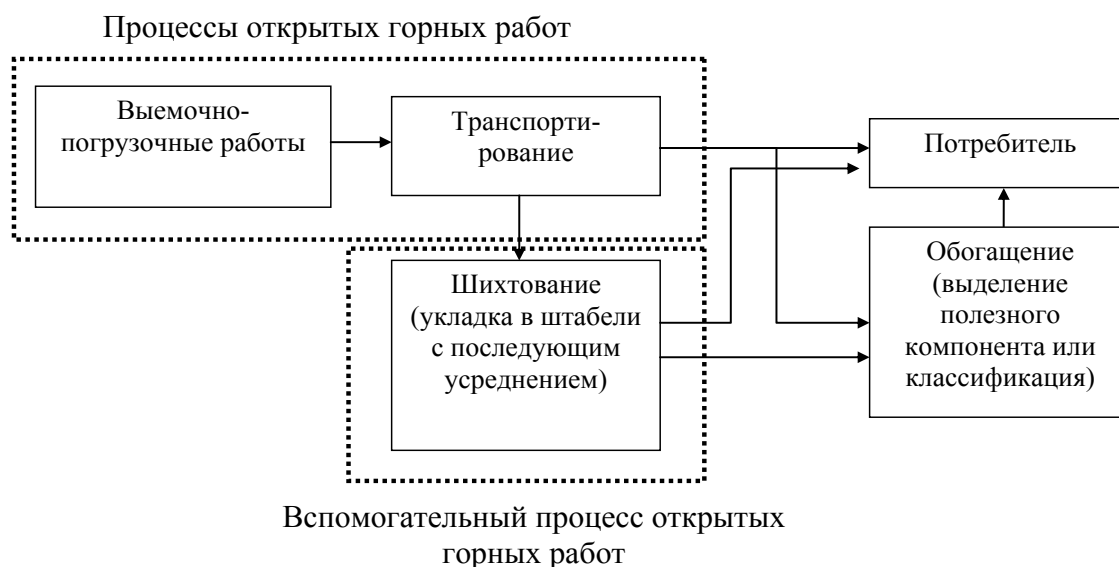


Рис. 10 – Технологическая схема освоения техногенного месторождения

Малостадийность технологической схемы (см. рис. 10) показывает наглядно простоту разработки таких месторождений, а процессы горных работ менее энергоемки по сравнению с процессами, представленными на природных месторождениях, что делает техногенные месторождения привлекательными для их освоения.

Особое внимание на горных работах стоит уделять потерям и разубоживанию. Потери возникают по контуру каждой разрабатываемой секции, в результате производства выемочно-погрузочных работ теряется добываемое техногенное сырье, оставляемое по ряду технических причин горнотранспортным оборудованием. Данный процесс может осуществляться как экскаваторами «обратная лопата», так и шагающими экскаваторами. Процесс горных работ при использовании экскаватора «обратная лопата» может по трудоемкости добычи превосходить шагающий экскаватор, при этом достигается максимальный показатель извлечения.

Трудоемкость выполняемых процессов заключается в количестве проделанных циклов, а также увеличении их продолжительности. Отработка в данном случае ведется с максимального радиуса рабочей зоны и постепенно приближается к верхней бровке насыпи из скальной вскрыши. По мере выборки дальних точек рабочей зоны происходит извлечение техногенного сырья, оставшегося у откоса скальной насыпи.

Для сокращения времени рабочего цикла экскаватора «обратная лопата» и увеличения его производительности необходимо производить подачу автосамосвала под погрузку на расстоянии, равном расстоянию от оси экскаватора до крайней линии зоны добычного забоя (рис. 11).

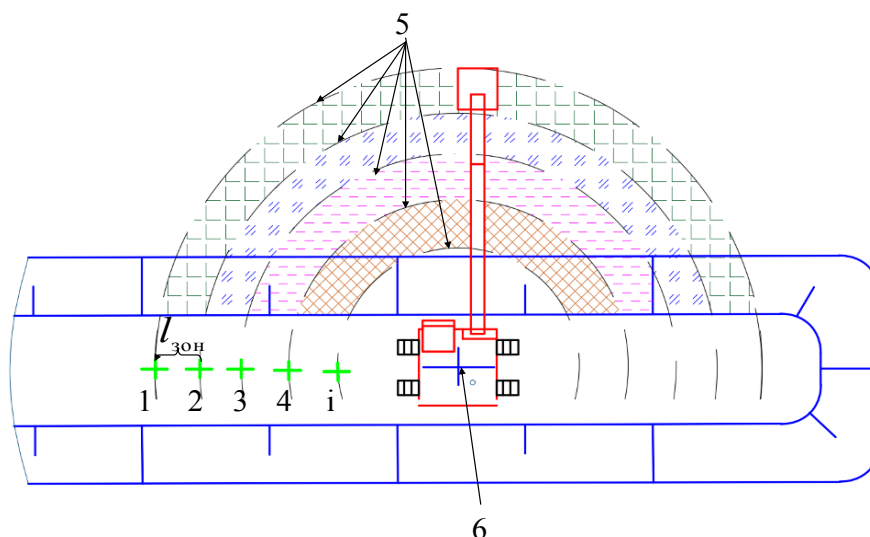


Рис. 11 – Схема установки автосамосвала под погрузку при отработке техногенного сырья в пределах секции с использованием экскаватора «обратная лопата»:

- 1, 2, 3, 4, i – установка автосамосвала в зависимости от зоны добычного забоя, в котором работает экскаватор «обратная лопата»; 5 – зоны добычного забоя экскаватора «обратная лопата»; 6 – ось экскаватора «обратная лопата»; $l_{\text{зон}}$ – расстояние между добычными зонами, м

Рекомендуемая установка автосамосвала под погрузку (см. рис. 11) позволит снизить себестоимость добычи за счет увеличения производительности экскаватора «обратная лопата».

При этой схеме установки расстояние транспортирования увеличится на расстояние $l_{\text{зон}}^{\text{общ.}}$:

$$l_{\text{зон}}^{\text{общ.}} = l_{\text{зон}} \cdot n_{\text{зон}}, \quad (14)$$

где $n_{\text{зон}}$ – количество обрабатываемых зон без изменения местоположения экскаватора «обратная лопата», ед.

Загруженный материал транспортируется на переработку, на склад или потребителю.

Процесс горных работ при использовании шагающего экскаватора отличается меньшим количеством рабочих циклов, но в результате его работы возникают потери из-за того, что добычной забой имеет более пологий угол по сравнению с углом естественного откоса насыпи из скальной вскрыши, на котором установлено выемочно-погрузочное оборудование. Длина добычного забоя равна длине стрелы.

Учитывая технические особенности шагающего экскаватора при разработке техногенного месторождения, установка автосамосвала под погрузку должна осуществляться на расстоянии нерабочей зоны, без изменения местоположения до завершения отработки участка (рис. 12).

При указанной установке автосамосвала ($l_{\text{устан.}} = l_{\text{мин.}}$), как показано на рис. 1, достигается максимальная производительность. При удаленной установке автосамосвала под погрузку ($l_{\text{устан.}} > l_{\text{мин.}}$) сокращается расстояние транспортирования, но увеличивается время рабочего цикла шагающего экскаватора.

При оптимизации процессов открытых горных работ при необходимости следует учесть мероприятия по ликвидации потерь, возникающих в результате ведения горных работ, которые включают в себя дополнительные выемочно-погрузочные и бульдозерные работы и приводят к увеличению себестоимости добычи.

Целесообразность этих мероприятий зависит от ценности добываемого сырья.

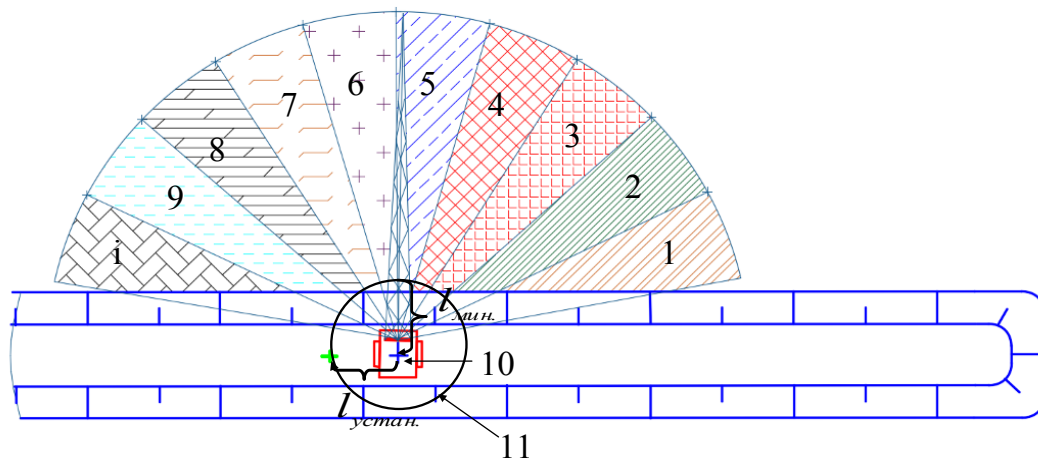


Рис. 12 – Схема установки автосамосвала под погрузку при обработке техногенного месторождения с использованием шагающего экскаватора:
 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, *i* – добычная зона шагающего экскаватора; 10 – шагающий экскаватор;
 11 – нерабочая зона экскаватора, $l_{устан.}$ – расстояние установки автосамосвала под погрузку, м;
 $l_{мин.}$ – минимальное расстояние от оси экскаватора до конечной точки добычного забоя, м

При оптимизации процесса шихтования следует учитывать требования, которые предъявляются к сырью потребителем или технологией обогащения. Транспортируемое сырье может направляться непосредственно к потребителю или на обогащение в том случае, если материал удовлетворяет минимальным требованиям. Сырье с достаточно высоким содержанием полезного компонента или относящееся к сырью, превышающему установленные требования, направляется на усреднение с добытым некондиционным сырьем.

Используя результаты наблюдений и выведенные зависимости, можно составить математическую модель технологического процесса добычи техногенного сырья, включая транспортирование и обогащение с выделением двух концентратов полезного компонента – основного и попутного, а также получение сырья определенного класса, востребованного различными отраслями промышленности. Математическая модель процесса добычи имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Pi = & K_0 + K_1x_1 + K_2x_2 + K_3x_3 + K_4x_4 + K_5x_5 + K_6y_1 + K_7y_2 - \\ & - \frac{K_8}{x_3^{m_3}} (B - x_1 - x_2 - x_4 - x_5 + y_1 + y_2) + K_8x_3^{1-m_3}, \end{aligned} \quad (15)$$

где $K_0 = K_{01}B + K_{02}B_C - K_{03}B - K_{04}$;

$$K_{01} = \frac{0,01 \cdot (\Pi_{к1}r_{01} + \Pi_{к2}r_{02} + \Pi_{к3}r_{03})}{V};$$

$$K_{02} = \frac{0,01 \cdot (\Pi_{к1}m_{01} + \Pi_{к2}m_{02} + \Pi_{к3}m_{03})}{V};$$

$$K_{03} = \frac{C_{мп.} + C_{пер} + C_{класс.}}{V};$$

$$K_{04} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{V};$$

$$K_i = -K_{01} - K_{02}\alpha_i - K_{03}\beta_i + K_{03};$$

$i = 1, 2, \dots, 5$

$$K_6 = K_{01} - K_{02} \cdot \alpha_1' - K_{03} \cdot \beta_1 + K_{03};$$

$$K_7 = K_{01} - K_{02} \cdot \alpha_2' - K_{02} \cdot \beta_2 + K_{03};$$

$$K_8 = \frac{N_{\text{р.п.}} \cdot T_{\text{м.э.}}}{840 \cdot r_3 \cdot V};$$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ – выход класса, востребованного в различных отраслях промышленности, %;

$C_{\text{тр}}, C_{\text{пер.}}, C_{\text{класс.}}$ – себестоимость, соответственно, транспортировки, выделения полезного компонента и классификации, руб/т;

x_1, x_2, \dots, x_i – количественные потери кондиционного техногенного сырья, т;

y_1, y_2, \dots, y_i – количество примешиваемого некондиционного техногенного сырья, т;

a_1, a_2, \dots, a_i – содержание полезного компонента в некондиционном техногенном сырье, %;

$T_{\text{м.э.}}$ – тарифная ставка машиниста экскаватора, занятого на погрузке, руб.;

$N_{\text{р.п.}}$ – число рабочих бригад, занятых на погрузке, чел.;

$A_1 + A_2 + A_3$ – суммарные затраты, не зависящие от степени полноты и качества извлечения техногенного сырья, руб.;

$C_{\text{к1}}$ – цена концентрата 1 рода, руб/т;

$C_{\text{к2}}$ – цена концентрата 2 рода, руб/т;

$C_{\text{к3}}$ – цена техногенного сырья определенного класса, востребованного в различных отраслях промышленности, руб/т;

r_3, m_3 – постоянные корреляционных уравнений, определяющие параметры добычи;

$r_{01}, r_{02}, r_{03}, m_{01}, m_{02}, m_{03}$ – постоянные корреляционных уравнений, определяющие параметры обогащения;

V – балансовые запасы, т;

$K_0, K_1, \dots, K_i = 0, 1, \dots, i$ -ая технологическая операция при добыче техногенного сырья;

B – объем добываемого сырья, т;

B_c – объем кондиционного добываемого сырья, т.

Естественно, что оптимальное решение лежит в нахождении значений x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , когда прибыль достигает максимума. После нахождения оптимальных потерь техногенного сырья по видам определяются коэффициенты извлечения полезного ископаемого из техногенного месторождения и изменения качества при добыче.

Используя вышеперечисленные методы, можно добиться в значительной мере сокращения потерь, но при этом появятся затраты на выполнение дополнительных операций, которые следует учитывать при технико-экономической деятельности предприятия.

Математическая модель технологического процесса будет иметь свои оптимальные параметры с выпуском двух видов продукции – один концентрат с одинаковым содержанием полезного компонента, а также сырье определенного класса, востребованное различными отраслями промышленности.

Литература

1. Пешков А.М. Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений: дис. ... канд. техн. наук 25.00.21. / А.М. Пешков; Институт проблем комплексного освоения недр. - М., 2014.

2. Аргимбаев К.Р. Разработка хвостохранилища – запас минерально-сырьевого комплекса России / К.Р. Аргимбаев // Экономика, управление, финансы: материалы международного науч. конф. (г. Пермь, июнь 2011 г.). — Пермь: Меркурий, 2011. — С. 8 - 11.