

УДК 622.271.1 + 622.271.322.2

В.М. Аленичев, М.В. Аленичев, Г.Г. Саканцев
ОТРАБОТКА ГЛУБОКИХ РОССЫПЕЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСТРАНСПОРТНОЙ
СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ

Обоснован метод расчета основных параметров и показателей бестранспортной системы разработки, позволяющий с небольшими затратами времени проанализировать большое число вариантов и выбирать из них наиболее целесообразный.

Ключевые слова: бестранспортная система разработки, драглайн, параметры залежи, высота верхнего и нижнего уступов, объем переэкскавации.

Основным направлением совершенствования технологии горных работ, базирующимся на учете природных особенностей месторождения, является рациональное использование выработанного пространства. Внутренние отвалы позволяют уменьшить расстояние транспортирования, а иногда реализовать многократную перевалку пустых пород драглайнами, что приводит к значительному снижению затрат на добычу драгметаллов и сокращению площадей для размещения отходов производства. Достаточно подробный анализ горно-геологических условий месторождения позволяет обосновать способ вскрытия, рациональную последовательность отработки запасов, оптимальные параметры технологических блоков и схему перемещения отвалов.

При обосновании использования выработанного пространства под размещение вскрышных пород и хвостов промывки в некоторых случаях необходимо провести достаточно подробный технико-экономический анализ комплекта выемочного и транспортного оборудования. В некоторых случаях отказ от мобильной техники в пользу мощных драглайнов является одним из эффективных решений.

Как показала практика разработки уральских россыпей, для извлечения запасов из закарстованных пород плотника, представляющего собой микроальпийский рельеф, добывающее предприятие вынуждено использовать гидравлические экскаваторы с нижним черпанием для полной или частичной выемки продуктивной массы из западений.

Одной из наиболее эффективных систем разработки горизонтальных и слабонаклонных пластовых месторождений полезных ископаемых является бестранспортная система, при которой вскрышные породы или их часть с помощью мощных экскаваторов (механических лопат или драглайнов) перемещаются непосредственно в выработанное пространство. При этом имеют место простые и усложненные бестранспортные системы разработки.

При усложненной бестранспортной системе разработки часть вскрыши, разрабатываемой вскрышным экскаватором, подлежит переэкскавации, которая производится отдельным драглайном или вскрышным драглайном, выполняющим вскрышные работы и переэкскавацию породы (Райчихинская схема). Переэкскавируемая порода укладывается во вторичный отвал.

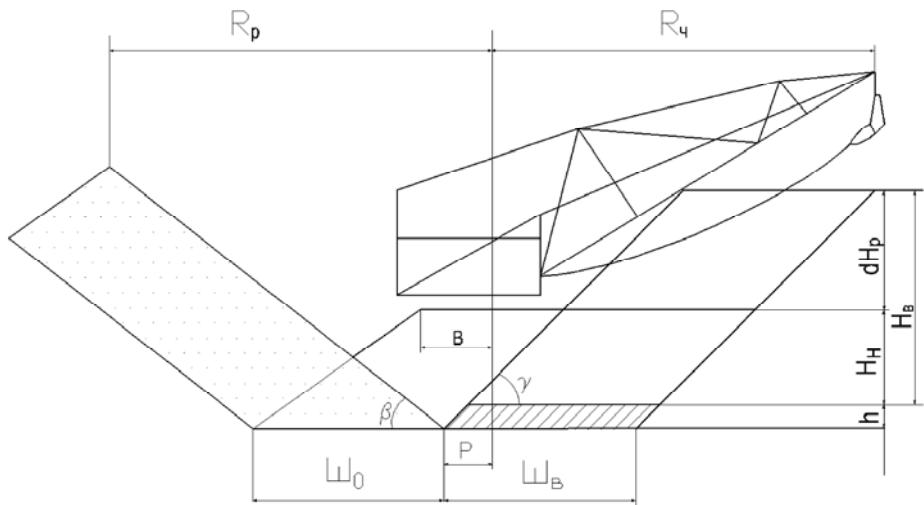


Рис. 1. Схема с использованием на вскрыше и переэкскавации одного драглайна (Райчихинская схема)

При расчете параметров усложненной бестранспортной системы разработки помимо параметров системы разработки необходимо определять объемы переэкскавации. Принцип расчета параметров распространенных и универсальных схем экскавации при удалении вскрышных пород отдельным экскаватором (механической лопатой или драглайном) является достаточно простым. Расчет параметров усложненных схем разработки связан с проведением сложных вычислений. К одной из таких схем относится так называемая «Райчихинская схема», обеспечивающая отработку месторождений при достаточно большой мощности вскрышных пород (до $50 \div 65$ м) с относительно небольшой себестоимостью перемещения их во внутренние отвалы [1]. При этой схеме выемка вскрышных пород и их переэкскавация выполняются одним драглайном, расположенным на временном отвале. В этом случае драглайн, разрабатывая верхнюю часть вскрышного уступа верхним черпанием, размещает породу во временный отвал для последующего формирования рабочей площадки (рис. 1). После отсыпки и планировки рабочей площадки экскаватор черпает породу из нижней части вскрышного уступа и временного отвала, размещая ее в постоянный внутренний отвал.

Преимущества усложненной бестранспортной схемы разработки при расположении драглайна на временном отвале достигаются за счет [1]:

- уменьшения коэффициента переэкскавации по сравнению с обычной усложненной бестранспортной схемой;
- повышения коэффициента использования драглайна во времени за счет одновременного выполнения вскрышных работ и переэкскавации;
- возможности отработки одним драглайном горизонтально залегающих застежек при мощности вскрыши до $60 \div 65$ м.

Недостатком этой схемы является сложность определения ее параметров при различных горно-геологических условиях. Имеющаяся схема расчетов па-

раметров с применением номограмм [2] является очень сложной и дает только приближенный результат. Из-за чрезвычайной трудоемкости использования этого метода весьма затруднен выбор наиболее целесообразного варианта разработки, что на практике связано со значительным снижением ее эффективности. Однако применение бесперспективных схем отработки россыпных месторождений представляется весьма актуальным, что обусловлено многими факторами, основными из которых являются следующие:

- исчерпание сырьевой базы драгоценных металлов за счет отработки неглубоко залегающих россыпных месторождений, характеризующихся небольшими объемами покрывающих пород;
- повышение спроса на золото и его цены на мировом уровне;
- необходимость снижения затрат на вскрышные и добывочные работы при эксплуатации глубокозалегающих россыпей;
- наличие у недропользователей в основных золотодобывающих регионах мощной выемочной техники в виде драглайнсов;
- изыскание инновационных решений по повышению эффективности и масштабов отработки золотоносных россыпей с целью увеличения золотовалютного резерва страны.

В настоящей статье обоснован достаточно простой метод расчета основных параметров и показателей Райчихинской схемы разработки, позволяющий с небольшими затратами времени анализировать большое число вариантов и выбирать из них наиболее целесообразный.

Основными технологическими параметрами и показателями системы при этой схеме разработки являются высота уступа и подступов, отрабатываемых с нижним и верхним черпанием, ширина выемочной заходки и коэффициент переэкскавации. Вышеуказанные параметры и показатели тесно связаны между собой и с рабочими параметрами экскаватора.

В основу расчета схемы заложены следующие условия:

1. Высота вскрышного уступа H_B должна удовлетворять требованию:

$$H_B \leq H_H + d^*H_p, \quad (1)$$

где H_H – максимальная высота нижнего черпания экскаватора; H_p – максимальная высота разгрузки; d – допустимое по экономическим условиям значение отношения высот верхнего и нижнего черпания экскаватора.

Высота черпания драглайна должна составлять не более $0,8H_p$, так как при работе драглайна с $H_q > 0,8H_p$ производительность его резко снижается.

2. Объем выемочной заходки, приходящийся на единицу фронта горных работ и вынимаемой за один проход экскаватора (в разрыхленном виде), равен

$$V_B \leq W_B (H_H + 0,8H_p)k_p, \quad (2)$$

где k_p – коэффициент разрыхления вскрышных пород при их размещении в отвале; W_B – ширина выемочной заходки.

Ширина выемочной заходки W_B выражается формулой

$$W_B = [R_q - P - (d \cdot H_p \cdot ctg\gamma_B + H_H ctg\gamma_B + hctg\gamma_D)](d \cdot H_p + H_H)k_p, \quad (3)$$

где R_q – радиус черпания экскаватора, м; γ_B – угол откоса вскрышного уступа, град.; γ_D – угол откоса добывного уступа, град.

3. Объем размещаемой в отвале породы за один проход экскаватора должен быть равен объему выемочной заходки в разрыхленном состоянии. Следовательно, параметры отвальной заходки должны удовлетворять условию $Ш_o = Ш_b$ (здесь $Ш_o$ – ширина выемочной заходки).

При $d \cdot H_p + H_h + h \geq R_p \operatorname{tg}\beta$ объем отвальной заходки при $Ш_o = Ш_b$ выражается зависимостью

$$V_o = Ш_d (R_p + P) \operatorname{tg}\beta - 0,25 Ш_d^2 \cdot \operatorname{tg}\beta \quad (4)$$

где β – угол откоса отвала, град.

При $d \cdot H_p + H_h + h < R_p \operatorname{tg}\beta$ объем отвальной заходки

$$V_o = Ш_d (dH_p + H_h + h) - 0,25 Ш_d^2 \cdot \operatorname{tg}\beta \quad (5)$$

Однако выражение (5) имеет место при небольшой высоте вскрышного уступа, при которой применение Райчихинской схемы нецелесообразно.

Условие $Ш_b = Ш_o$ может быть обеспечено в результате регулирования параметров и показателей выемочной и отвальной заходок. Это может быть сделано за счет регулирования ширины самих заходок и определяющих их параметров. Наиболее эффективным параметром, регулирующим ширину выемочной заходки и ее объем, а также ширину и объема отвальной заходки, является величина смещения оси экскаватора относительно нижней бровки добычного уступа « P ».

Таким образом, чтобы решить задачу определения основных параметров «Райчихинской схемы» – ширины выемочной и отвальной заходок для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий необходимо приравнять правые части выражений (3) и (5) и разрешить полученное выражение относительно « P ».

В результате выполнения данной операции получаем выражение:

$$P = \frac{-\varepsilon \pm \sqrt{\varepsilon^2 - 4ac}}{2ac}, \quad (6)$$

где $a = 1,25 \operatorname{tg}\beta$;

$$\varepsilon = R_p \operatorname{tg}\beta - k_p (d \cdot H_p + H_h) - 1,5 \operatorname{tg}\beta [R_q - (d \cdot H_p + H_h) \operatorname{ctg}\gamma_1 - h \cdot \operatorname{ctg}\gamma_2];$$

$$c = [R - (dH_p + H_h) \operatorname{ctg}\gamma_1 - hcct\gamma_2] \cdot (dH_p + H_h) k_p - R_p \operatorname{tg}\beta \times \\ \times [R_q - (dH_p + H_h) \operatorname{ctg}\gamma_1 - hcct\gamma_2] + 0,25 \operatorname{tg}\beta [R_q - (dH_p + H_h) \operatorname{ctg}\gamma_1 - hcct\gamma_2]^2$$

Подставляя в полученные выражения различные значения исходных данных вычисляются результирующие параметры и показатели, соответствующие конкретным горно-технологическим условиям. В работе определена ширина выемочной заходки при применении экскаватора ЭШ-15/90 при различных значениях исходных данных. Полученные результаты приведены на рис. 2 и представлены в виде статистической зависимости:

$$Ш_b = (72,88 - 0,88H_b)(1,26 - 0,026h)(1,238 + 0,012H_h - 0,00139H_h^2). \quad (7)$$

Наиболее значимым фактором, определяющим ширину выемочной заходки, является высота слоя (подуступа), обрабатываемого с нижним черпанием. Вторым по значимости является высота вскрышного уступа, которая в том числе отражает и величину « d », входящую в выражение $H_b = d^*H_p + H_h$.

Объем переэкскавации, приходящейся на единицу длины фронта горных работ, определяется по формуле

$$\Delta V = (H_H + h)^2 (\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\gamma_{CP}) \cdot 0,5 - 0,25 [(H_H + h) \operatorname{ctg}\beta - B + P]^2 \operatorname{tg}\beta + \frac{[(H_H + h) \operatorname{ctg}\gamma_{CP} - B - P]^2 \cdot 0,5}{\operatorname{ctg}\beta + \operatorname{ctg}\gamma_{CP}} \quad (8)$$

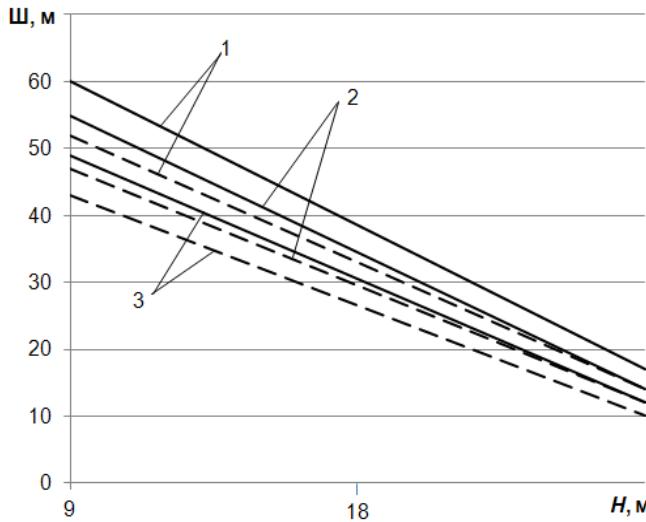


Рис. 2. Зависимость ширины заходки от высоты нижней части вскрышного уступа: 1 – $d \times H = 20$ м, 2 – $d \times H = 24$ м, 3 – $d \times H = 28$ м,
— — — $h = 5$ м, — · — $h = 10$ м

где γ_{CP} – средний угол откоса обычного и вскрышного уступа; B – безопасное расстояние от оси экскаватора до кромки первичного отвала.

Отношение объемов переэкскавации ΔV к объему выемочной заходки V_B является коэффициентом переэкскавации k_P , характеризующем относительную эффективность системы. Однако для их оптимизации и, в первую очередь, высоты вскрышного уступа, являющегося результирующим параметром системы, нужен другой показатель, обеспечивающий возможность определения наиболее эко-

номически целесообразных значений. Таким показателем является величина $W = (V_p + \Delta V)/V_p$, отражающая производственные затраты единицы экскаваторных работ (удельные производственные затраты). Этот показатель может совместно со стоимостными показателями стать основой для определения оптимальной высоты вскрышного уступа. Однако это требует рассмотрения большого числа варианта, что при достаточной трудоемкости их расчета, требует значительного времени и затрат труда. С целью снижения трудоемкости определения удельных производственных затрат разработана их статистическая зависимость от основных определяющих факторов.

Такая зависимость имеет вид

$$W = (3,388 - 0,1325H_B + 0,00197H_B^2)(0,927 + 0,0049H_H) \times \\ \times (0,812 + 0,0087h + 0,000864h^2). \quad (9)$$

Средняя ошибка определения удельных производственных затрат равна 4,9 %.

Данная зависимость представляет надежную основу для определения целесообразной высоты слоя вскрышных пород, отрабатываемых по бестранспортной системе разработки.

Допустимый относительный объем экскавационных работ может быть определен на основе сравнения затрат с перемещением соответствующих объемов отрабатываемой вскрыши с применением транспортной системой разработки. Для определения допустимого относительного объема экскаваторных работ и, следовательно, допустимой высоты вскрыши, отрабатываемой с применением бестранспортной системы разработки, может служить неравенство

$$W = \frac{C_{\Pi} + EK_{\Pi} + C_{TP} + EK_{TP} + C_O + EK_O}{C_B + EK_B}, \quad (10)$$

где C_{Π} , K_{Π} – себестоимость и удельные капитальные вложения на погрузку горной массы в транспортные средства, руб.; E – коэффициент эффективности капитальныхложений; C_{TP} , K_{TP} – себестоимость и удельные капитальные вложения на транспортирование 1 м³ горной массы из забоя в отвал, руб.; C_O , K_O – себестоимость и удельные капиталовложения на отвалообразование, руб./м³; C_B , K_B – себестоимость и удельные капиталовложения на экскавацию горной массы при бестранспортной системе разработки, руб./м³.

Приравняв правые части (9) и (10) и разрешив относительно допустимой высоты вскрышного слоя, отрабатываемого по бестранспортной системе разработки, получим выражение:

$$H_B = \frac{-\epsilon + \sqrt{\epsilon^2 - 4ac}}{2a}, \quad (11)$$

где $a = 0,00107$; $\tau_B = -0,1325 H_B$;

$$c = 3,38 - \frac{L(C_{TP} + EK_{TP}) + (C_{\Pi} + EK_{\Pi}) + (C_O + EK_O)}{(C_B + EK_B)(0,937 - 0,0049 H_B)(0,812 - 0,0087h + 0,000864h^2)}.$$

Наибольшее влияние на экономически целесообразную высоту вскрышного уступа, отрабатываемого по бестранспортной системе разработки, оказывает расстояние транспортирования вскрышных пород до внутреннего отвала (рис. 2). Влияние мощности полезного ископаемого и высоты слоя нижнего черпания на высоту вскрышного уступа очень незначительно.

Однако высота уступа ограничивается не только экономически обоснованными, но и технологически допустимыми параметрами. Например, экономически целесообразная высота вскрышного уступа в случае транспортирования породы в отвал на расстояние 1,5 км при мощности полезного ископаемого 5 м и высоте нижнего отрабатываемого слоя (подступа) 15 м, составляет 59 м. Однако, по технологическим параметрам высота слоя, отрабатываемого с верхним черпанием не должна превышать 0,8Нр, в связи с чем высота вскрышного уступа не должна превышать 53,6 м. С учетом изложенных фактов зависимость высоты вскрышного уступа от определяющих факторов будет иметь вид, представленный на рисунке 3. Таким образом, при больших расстояниях перевозки фактором, ограничивающим высоту вскрышного уступа, отрабатываемого по бестранспортной системе разработки, являются не экономическая эффективность, а технологические параметры. Это обусловлено тем, что экономическая эффективность бестранспортной системы разработки растет с увеличением расстояния транспортирования, но мало зависит от других факторов. В то же время по технологическим условиям она зависит от технических параметров экскаваторов, особенно от глубины и высоты черпания.

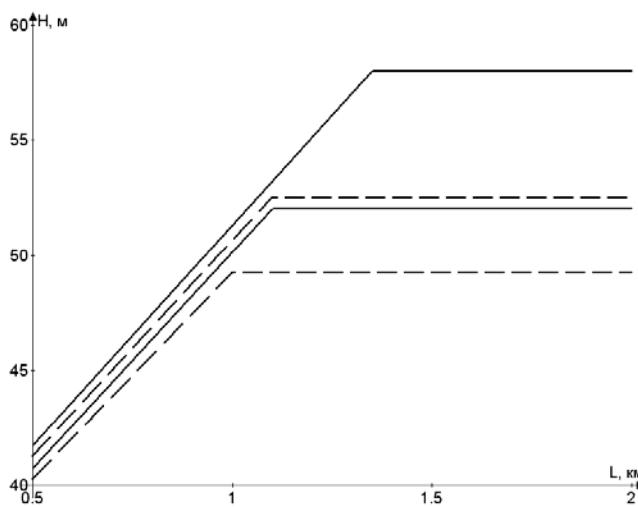


Рис. 3. Зависимость высоты вскрышного уступа от расстояния перевозки вскрышных пород до внешнего отвала: 1 – $H_H = 10$ м, 2 – $H_H = 15$ м, ----- – $h = 5$ м, — — — — — – $h = 10$ м

вскрышного уступа, определяемая по экономическим показателям, зависит главным образом от расстояния транспортирования пород до внешнего отвала, ограничиваясь рабочими параметрами экскаватора.

3 Максимально возможная высота вскрышного уступа, отрабатываемого с применением экскаватора ЭШ-15/90, определенная по экономическим и технологическим условиям достигает 40, 52 и 59 м при мощности пласта полезного ископаемого 5 м и расстоянии транспортирования вскрыши до отвала соответственно 0,5, 1, 1,5 км. При мощности пласта полезного ископаемого 10 м и вышеуказанных расстояниях транспортирования высота вскрышного уступа достигает соответственно 42, 54, 61 м. Высота вскрышного уступа в конкретных условиях уточняется с учетом фактических показателей, достигнутых на предприятиях, или по данным предприятий аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ/ В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 639 с.
- 2 Бестранспортная система разработки (обоснование и расчеты типовых схем, элемен^ттов и технико-экономических показателей). Том I/ Под общ. ред. Мельникова Н.В. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1962. – 195 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Аленичев Виктор Михайлович – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, alenichev@igduran.ru
 Саканцев Георгий Григорьевич – главный научный сотрудник, доктор технических наук, direct@igduran.ru.
 Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
 Аленичев М.В. – аспирант, alenichev@mail.ru.
 Уральский государственный горный университет.