

УДК 622.271.46

Слободянюк В.К.

Криворожский национальный университет

Письменный А.В.

ООО «МЕТИНВЕСТ ИНЖИНИРИНГ»

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭКСКАВАТОРНО-ПЛУЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье рассмотрена новая технология отвалообразования при железнодорожном транспорте. Предложенная технология позволяет отказаться от использования на отвалах дорогостоящих канатных экскаваторов. В качестве основного отвального оборудования используются отвальный плуг и обратный гидравлический экскаватор. Разработанная технология создает условия, необходимые для раздельного складирования вскрышных пород различного минерального состава.

Ключевые слова: отвалообразование при железнодорожном транспорте, отвальный плуг, гидравлический экскаватор, рациональное недропользование.

Постановка проблемы. Основной объем вскрышных пород на железорудных карьерах Украины на отвалы доставляется с использованием железнодорожного транспорта. Железнодорожный транспорт применяется как второе звено комбинированного автомобильно-железнодорожного карьерного транспорта. Обладая высокой надежностью и обеспечивая независимость смежных звеньев технологических процессов горных работ, данный вид транспорта характеризуется высокой потребностью в выемочно-погрузочном оборудовании: экскаваторы необходимы на перегрузочных пунктах и на экскаваторных отвалах. Так, для трех забойных вскрышных экскаваторов необходимы два экскаватора на перегрузочной площадке и два экскаватора на отвале. То есть из 7 экскаваторов только 3 решают основную задачу – экскавируют вскрышу из массива или развала горных пород. Таким образом, совершенствование технологических схем карьерного транспорта и отвалообразования является важной проблемой открытой разработки полезных ископаемых.

Анализ последних исследований и публикаций. В последние годы опубликовано мало научно-исследовательских работ, посвященных обобщению накопленного практического опыта, исследованию и совершенствованию технологии экскаваторного отвалообразования. Ряд работ

[1; 3; 4] посвящен обоснованию параметров отвалов с точки зрения энергетической теории (обоснование рациональной высоты отвального яруса), изучаются различные аспекты использования внутренних отвалов на крутопадающих месторождениях [2; 6]. Большое количество работ посвящено экологическим аспектам рекультивации отвалов и их гидрозащите.

Продолжаются работы по совершенствованию технологии отвалообразования за счет использования вибрационных питателей и ковшевых отвальных машин [4; 5]. Эти исследования больше направлены на повышение безопасности отвальных работ, чем на улучшение их технико-экономических показателей. Исследования последних лет не привели к внедрению в горную промышленность новых технологий отвалообразования и новых типов отвальных машин.

Анализ зарубежных источников, обобщающих мировой опыт открытой разработки [6], показывает, что основными способами отвалообразования является бульдозерное отвалообразование при автомобильном транспорте и использование консольных отвалообразователей при конвейерной доставке вскрыши. Примечательно, что среди известных способов отвалообразования [6] не упоминается об использовании на вскрышных работах железнодорожного транспорта и экскаваторного отвалообразования.

Постановка задания. Целью работы является разработка технологии отвалообразования при железнодорожном транспорте, отличающейся меньшей потребностью в выемочно-погрузочном оборудовании.

Изложение основного материала исследования. Одной из причин, обуславливающих меньшие затраты на бульдозерное отвалообразование при автомобильном транспорте, является то, что при периферийной разгрузке автосамосвалов 60–70% объема вскрышных пород скатывается по откосу отвального уступа и только 30–40% объема необходимо сталкивать под откос бульдозером. В случае экскаваторного отвалообразования при железнодорожном транспорте, при разгрузке думпкаров практически весь объем горной породы скатывается по отвальному откосу. Но, перемещаясь по откосу, этот объем вскрыши попадает не на место постоянного складирования, а в приемный бункер (приямок) отвального экскаватора, из которого экскавируется и укладывается в отвальную заходку. Из этой основной особенности существующей технологии вытекают ее достоинства и недостатки. Достоинство – снижение объема путеперекладочных работ из-за большой емкости отвальной заходки, определяемой рабочими параметрами экскаватора; недостаток – необходимость повторной переэкскавации всего объема вскрышных пород.

В 30–60-х гг. прошлого столетия на отвалах при железнодорожном транспорте применялось плужное отвалообразование [7, с. 275], при котором разгрузка производится непосредственно под откос уступа одновременно из всех думпкаров. Большая часть породы скатывается вниз, меньшая часть породы при разгрузке остается на откосе в виде навесей. Сбрасывание породы, остающейся на откосе отвального тупика, выполняется отвальным плугом при движении вдоль фронта разгрузки. Ширина отвальной заходки при плужном отвалообразовании составляла 1,5–2,5 м, реже 3–4 м.

Малая приемная способность и большой объем путепередвижных работ являются главными недостатками этого способа. Эффективность от непосредственной разгрузки думпкаров под откос нивелируется затратами на частое перемещение железнодорожных путей.

Таким образом, сохраняет актуальность задача разработки эффективной технологии отвалообразования при железнодорожном транспорте, не требующей переэкскавации всего объема вскрыши, поступающей на отвал. Выполнен-

ный анализ показал, что достичь этого возможно путем сочетания работы отвального плуга и экскаватора типа обратная лопата, установленного на железнодорожную платформу (или имеющего конструктивную возможность перемещаться по железнодорожным путям). Организация работы данного оборудования будет схожа с работой бульдозеров при бульдозерном отвалообразовании. Предлагаемая технология позволяет объединить мобильность и высокую производительность обеих отвальных машин с достаточно большим шагом переукладки отвальных путей, что приведет к снижению затрат на отвалообразование.

Особенностью данного способа отвалообразования является попеременная работа отвального плуга и экскаватора. Условно формируемую отвальную заходку по ширине можно разделить на две части: внешнюю и внутреннюю.

На первом этапе формирования отвальной заходки предлагаемая технология в целом аналогична технологии плужного отвалообразования. Отвальным плугом порода укладывается во внутреннюю отвальную заходку.

Следующим (после завершения плугом отсыпки отвальной заходки) этапом является переэкскавация вскрышных пород из верхней части отвальной заходки в нижнюю, под откос отвального яруса, и формирование внешней части отвальной заходки. В последующем отвальный плуг и экскаватор работают последовательно друг за другом: отвальный плуг укладывает породу в верхнюю часть внутренней заходки, экскаватор перемещает уложенную породу во внешнюю часть отвальной заходки и формирует пространство для нового цикла работы отвального плуга. На одном отвальном тупике обе машины работают последовательно, но при этом совместно обслуживают несколько отвальных тупиков.

Предлагаемая технология реализуется следующим образом.

По длине отвального тупика осуществляется разгрузка под откос думпкаров. После заполнения породой фронтального откоса отвального уступа к работе приступает отвальный плуг. Для сталкивания породы под откос плуг совершает несколько проходов, каждый раз увеличивая угол раскрытия отвального крыла. После очистки от горной породы верхней бровки уступа на отвальный тупик снова подаются составы со вскрышей. Попеременная работа отвального плуга и подача железнодорожных составов происходит до тех пор, пока параметры отвального крыла плуга позволяют сталкивать породу под откос. Формиро-

вание внутренней части отвальной заходки завершится тогда, когда рабочие параметры отвального плуга уже не будут позволять сталкивать породу под откос (рис. 1). В период формирования внутренней части отвальной заходки сменная приемная способность отвального тупика максимальная (порода укладывается на всю высоту отвального уступа). Объем породы (в целике), необходимый для формирования внутренней заходки, равен:

$$V_B = l \times H / K_p, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где l – ширина внутренней части отвальной заходки, м;

H – высота отвального уступа, м;

K_p – коэффициент разрыхления породы в отвале.

Ширину внутренней части отвальной заходки находим как разность максимального вылета крыла отвального плуга (M) и расстояния от оси железнодорожного пути до верхней бровки отвального уступа (c).

Порода внутренней части заходки пригружает откос отвального уступа и является фактором,

повышающим устойчивость отвала перед началом работы отвального экскаватора.

Экскаватор с рабочим оборудованием типа обратная лопата перемещает верхнюю часть внутренней заходки, сформированной отвальным плугом, во внешнюю заходку (рис. 2). Объем перемещаемой породы определяется глубиной черпания экскаватора и шириной внутренней отвальной заходки. Черпания породы из верхней части отвальной заходки и ее разгрузка во внешнюю часть осуществляются без поворота экскаватора. За счет такой организации работы отвального экскаватора можно достичь его максимальной производительности. Перемещаемая порода располагается у основания отвального уступа, верхняя часть ее приобретает форму гребня и служит для отвального откоса упорной призмой. После отработки верхней части внутренней заходки экскаватор переезжает на другой отвальный участок, на рассматриваемом отвальном участке возобновляет прием железнодорожных составов со вскрышей. Отвальный плуг снова укладывает вскрышу в

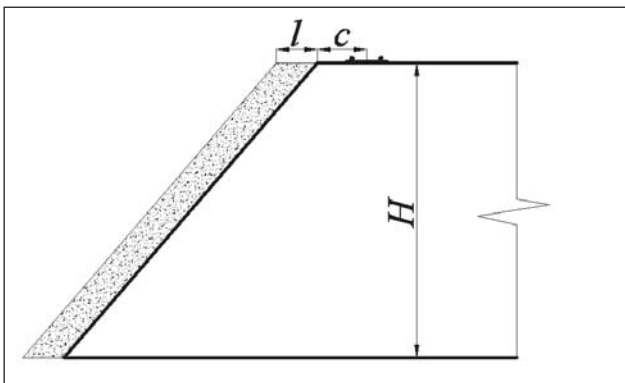


Рис. 1. Сформированная отвальным плугом внутренняя отвальная заходка

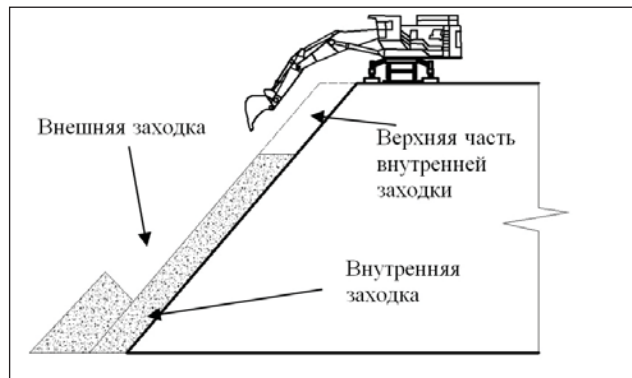


Рис. 2. Работа железнодорожного экскаватора по формированию внешней части отвальной заходки

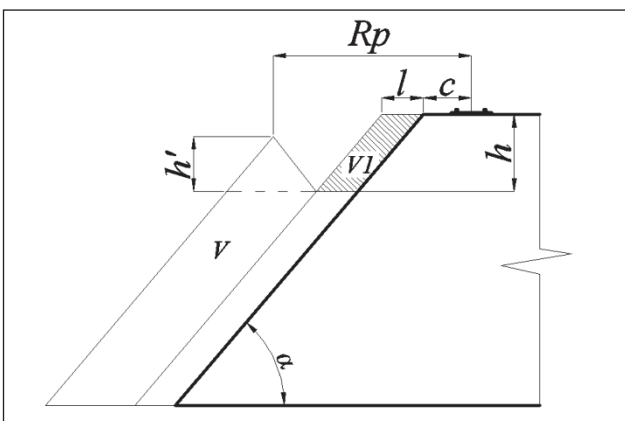


Рис. 3. Условие завершения второго этапа формирования отвальной заходки

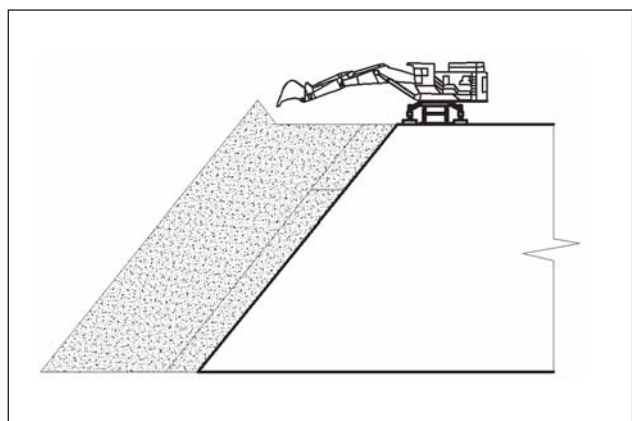


Рис. 4. Отвальная заходка в отсыпанном виде

верхнюю часть внутренней заходки. Далее процесс повторяется, осуществляется попеременная работа на отвальном участке экскаватора и отвального плуга. По мере заполнения внешней части заходки устойчивость отвала повышается. Данный период формирования отвальной заходки является наиболее продолжительным и характеризуется устойчивой приемной способностью отвального тупика.

Объем породы, перемещаемой экскаватором между смежными периодами работы отвального плуга, равен:

$$V_1 = l \times h / K_p, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где h – высота части внутренней заходки, отрабатываемой экскаватором, м.

Второй этап формирования отвальной заходки завершается, когда нижняя бровка внутреннего откоса внешней части отвальной заходки совпадает по глубине с границей отработки экскаватором внутренней части заходки. С этого момента формирование отвальной заходки переходит на заключительный этап. Третий этап характеризуется постоянным уменьшением приемной способности отвальной заходки, сокращаются интервалы времени между работой экскаватора и отвального плуга.

Определим условия, при которых нижняя бровка откоса гребня внешней заходки соприкоснется с нижней бровкой верхней части внутренней заходки. Объем породы, уложенной во внешнюю заходку, условно можно разделить на две части. Первая часть является параллелограммом высотой $H-h$, с основанием, равным эффективному радиусу разгрузки экскаватора. Под эффективным радиусом разгрузки экскаватора ($R_{эф}$) будем понимать максимальный радиус разгрузки (R_p) за вычетом ширины внутренней части отвальной заходки (l) и безопасного расстояния (c) от оси вращения экскаватора до верхней бровки отвального уступа в начальном положении. То есть эффективный радиус – это часть радиуса разгрузки, расположенная над внешней частью заходки (рис. 3).

Вторая часть объема представляет собой равнобедренный треугольник, основание которого равно разнице эффективного радиуса и горизонтального заложения высоты внутренней заходки, отрабатываемой экскаватором. Высоту этого треугольника определим по формуле:

$$h' = \frac{R_{эф} - h \times ctg\alpha}{ctg\alpha}, \text{ м}^3 \quad (3)$$

Объем породы, размещенной во внешней заходке до момента соприкосновения, составит:

$$V = \frac{h' \times ctg\alpha (h' + 2(H - h))}{K_p}, \text{ м}^3. \quad (4)$$

Высота образуемого гребня может быть больше или меньше высоты верхней части внутренней заходки. В зависимости от этого, возможно несколько вариантов развития внешней отвальной заходки (рис. 4).

Одним из главных технологических параметров отвалообразования является сменная приемная способность отвала. Использование двух видов отвального оборудования приведет к неравномерности сменной приемной способности отвального тупика. Так, при работе отвального плуга по созданию внутренней части заходки, приемная способность тупика будет максимальной, а с началом работы экскаватора – уменьшится. За время работы экскаватора отвальный плуг должен подготовить на другом отвальном тупике необходимый объем породы для последующих экскаваторных работ. Общее количество тупиков, приходящееся на группу отвального оборудования, будет состоять из тупика, на котором в настоящий момент времени работает экскаватор, и нескольких тупиков, на которых попеременно осуществляется разгрузка составов и сталкивание породы отвальным плугом.

На основе разработанной методики был выполнен расчет приемной способности отвального тупика и необходимого количества отвального оборудования. Ширина отвальной заходки принята равной 21 м, высота отвального уступа – 30 м. Группа отвальных машин, включающая один гидравлический экскаватор (емкость ковша 4–5 м³) и 2 отвальных плуга (вылет крыла плуга 7 м), обеспечивает работу 6 отвальных тупиков. Расчетная сменная производительность комплекса отвального оборудования равна 9,7 тыс. м³.

Выводы. Разработанная технология позволяет снизить затраты и повысить эффективность отвальных работ при железнодорожном транспорте. Отсутствие подумпкарной разгрузки железнодорожного состава в прямом позволяет сократить время разгрузки состава на отвале и приведет к росту производительности железнодорожного транспорта. Из-за отсутствия жесткой привязки места разгрузки думпкаров к положению на отвале экскаватора создаются предпосылки для селективного отвалообразования и формирования техногенных месторождений. Дальнейшие исследования по обоснованию рациональных параметров плужно-экскаваторных отвалов будут выполнены с использованием методов имитационного моделирования.

Список литературы:

1. Свещинская Н.А., Саканцев М.Г. Методы оптимизации параметров автомобильных отвалов. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 2. С. 386–389.
2. Саканцев Г.Г. Зависимость эффективности внутреннего отвалообразования от максимально допустимой высоты отвальных ярусов при разработке глубокозалегающих месторождений ограниченной длины. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 40–45.
3. Левенсон С.Я., Гендлина Л.И., Морозов А.В., Усольцев В.М. О формировании автомобильных отвалов при открытой разработке полезных ископаемых. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 11. С. 32–37.
4. Медведев М.Л., Зуев А.Е. Анализ и оценка способов размещения породы во внешних отвалах при открытой разработке рудных крутопадающих месторождений. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 5. С. 77–83.
5. Левенсон С.Я., Гендлина Л.И., Морозов А.В. Условия эффективного использования вибрационной техники на автомобильных отвалах. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 5. С. 230–234.
6. Surface Mining (2nd edition) / Editor Bruce A. Kennedy. Littleton: Society for Mining Metallurgy and Exploration, 1990. 1177 p.
7. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. М.: Недра. 1975. 574 с.

**РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕКСКАВАТОРНО-ПЛУЖНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ВІДВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

У статті розглянута нова технологія відвалоутворення при залізничному транспорті. Запропонована технологія дозволяє відмовитися від використання на відвалах дорогих канатних екскаваторів. У якості основного відвального устаткування використовуються відвальний плуг і зворотній гідравлічний екскаватор. Розроблена технологія створює умови, потрібні для роздільного складування розкритих порід різноманітного мінерального складу.

Ключові слова: відвалоутворення при залізничному транспорті, відвальний плуг, гідравлічний екскаватор, раціональне надрокористування.

**DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING EXCAVATOR-PLOW
TECHNOLOGY OF PUMPING AT A RAILWAY TRANSPORT**

The new technology of pumping at a railway transport is considered in the article. Offered technology allows refusing from using expensive rope shovel excavators. Pumping low and hydraulic back shovel excavator are used as main pumping tools. Developed technology creates necessary conditionals for separated pumping of wastes with different mineral compositions.

Key words: pumping at a railway transport, pumping low, hydraulic excavator, rational land tenure.