

РАЦИОНАЛЬНАЯ ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ОТВАЛАХ

В статье выполнена формализация задачи трассирования перемещения горной массы в проектных контурах отвалов и движения автосамосвала в холостом направлении для традиционной и измененной технологической схемы горно-транспортных работ при формировании второго яруса отвала. Предложена и апробирована методика решения этой задачи, обеспечившая снижение суммарных дисконтированных затрат на 65-68 %.

У статті виконана формалізація задачі трасування переміщення гірничої маси в проектних контурах відвалів і руху автосамоскида в холостому напрямку для традиційної і зміненої технологічної схеми гірничо-транспортних робіт при формуванні другого ярусу відвалу. Запропоновано та апробовано методику вирішення цієї задачі, що забезпечило зниження сумарних дисконтованих витрат на 65-68 %.

In the article the formalization of the problem of tracing movement of rocks in the design contours of dumps and dump truck traffic in idle direction for traditional and modified flowsheet mining and transport operations in the formation of the second tier of the dump. Proposed and tested a method of solving this problem, ensure the reduction of total discounted costs of 65-68 %.

Вступление. Одним из направлений повышения технико-экономической эффективности открытой разработки месторождений является совершенствование технологических схем горно-транспортных работ. Актуальность этого направления обуславливается существенным удельным весом транспортных затрат в себестоимости добываемых открытым способом полезных ископаемых.

Следует сразу же отметить, что выполненный анализ показал неоднозначность интерпретации понятия технологической схемы горно-транспортных работ. В этой связи, для целей исследования в [1] было предложено рассматривать технологическую схему как способ задания транспортной сети, содержащей “узлы” (пункты погрузки, перегрузки и разгрузки горной массы) и “связи” между ними (трассы перемещения горной массы), с указанием технологических характеристик этих составляющих.

В таком аспекте можно сделать вывод, что большинство работ посвящено методическому обеспечению проектирования и планирования трассирования грузопотоков до перегрузочных пунктов, размещения перегрузочных пунктов и трассирования грузопотоков от перегрузочных пунктов к пунктам доставки. При этом трассирование в проектных контурах отвалов, как одна из задач совершенствования технологической схемы горно-транспортных работ, не рассматривалась. Согласно принятому в настоящее время подходу, решение этой задачи определяется принятым порядком отсыпки отвала [2-4].

Как известно, отвалообразование в целом можно представить совокупностью двух взаимодействующих процессов: доставки горной массы внутри проектных контуров отвала и непосредственно формирования (отсыпки) отвала. Очевидно, что технико-экономическая эффективность отвалообразования в таком составе при прочих равных условиях определяется затратами на него.

Очевидно, что суммарные затраты непосредственно на формирование отвала, как не дисконтированные, так и дисконтированные, при равных годовых объемах доставляемой горной массы не зависят от порядка его отсыпки. Тем более, они не зависят от профиля и формы трассы (в плане). Следовательно, усовершенствовать технологическую схему горно-транспортных работ в пределах проектных контуров отвала путем изменения порядка его формирования не представляется возможным.

Что же касается трассирования перемещения горной массы по отвалу и движения автосамосвала в холостом направлении, то соответствующие транспортные затраты будут несомненно переменными, так как они зависят от длины грузовой и холостой ветвей трассы, а также от высоты подъема горной массы [5]. Следовательно, усовершенствовать технологическую схему горно-транспортных работ в пределах проектных контуров отвала можно путем оптимизации трассирования перемещения горной массы и движения автосамосвала в холостом направлении.

Таким образом, как показал анализ, одной из нерешенных частей проблемы совершенствования технологических схем горно-транспортных работ является задача оптимизации трассирования перемещения горной массы и движения автосамосвала в холостом направлении в проектных контурах отвалов.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). На основе изложенного общая постановка задачи трассирования перемещения горной массы в проектных контурах отвалов и движения автосамосвала в холостом направлении может быть сформулирована следующим образом: необходимо установить оптимальную динамику развития транспортной сети, обеспечивающую минимизацию затрат на отвалообразование, при выполнении плановых объемов отсыпки отвалов.

Решение задачи в общей постановке затруднительно из-за сложностей математического характера: во-первых, речь идет об оптимизации динамики топологии сети, общего решения которой пока не получено, и, во-вторых, нужно учитывать при этом технологические параметры “узлов” и “связей”, что еще больше усложняет решение.

В связи с этим в работе решалась задача в частной (упрощенной) постановке: не оптимального, а рационального трассирования перемещения горной массы и движения автосамосвала в холостом направлении по годам в проектных контурах отвалов. Как и для задачи в общей постановке, получаемое решение должно представлять собой множество рациональных трасс по годам отвалообразования. Естественно, полученное решение будет не наилучшим, но оно должно обеспечивать снижение затрат на перемещение горной массы и движения автосамосвала в холостом направлении в пределах проектного контура отвала по сравнению с применяемым традиционным трассированием.

Для обеспечения условия рациональности (снижения затрат на перемещение горной массы и движения автосамосвала в холостом направлении в пределах проектного контура отвала по сравнению с применяемым традиционным трассированием) было предложено изменение в технологической схеме горно-транспортных работ при формировании второго яруса отвала (рис. 1). На ри-

сунке представлена типовая традиционная [2-4] и измененная схемы формирования двухъярусного отвала. Как видно, предложенным изменением предусматривается оставление транспортного коридора во втором ярусе (позиция 4) с последующей его засыпкой обратным ходом после достижения вторым ярусом проектного положения. Очевидно, что в этом случае расстояние транспортирования можно уменьшить.

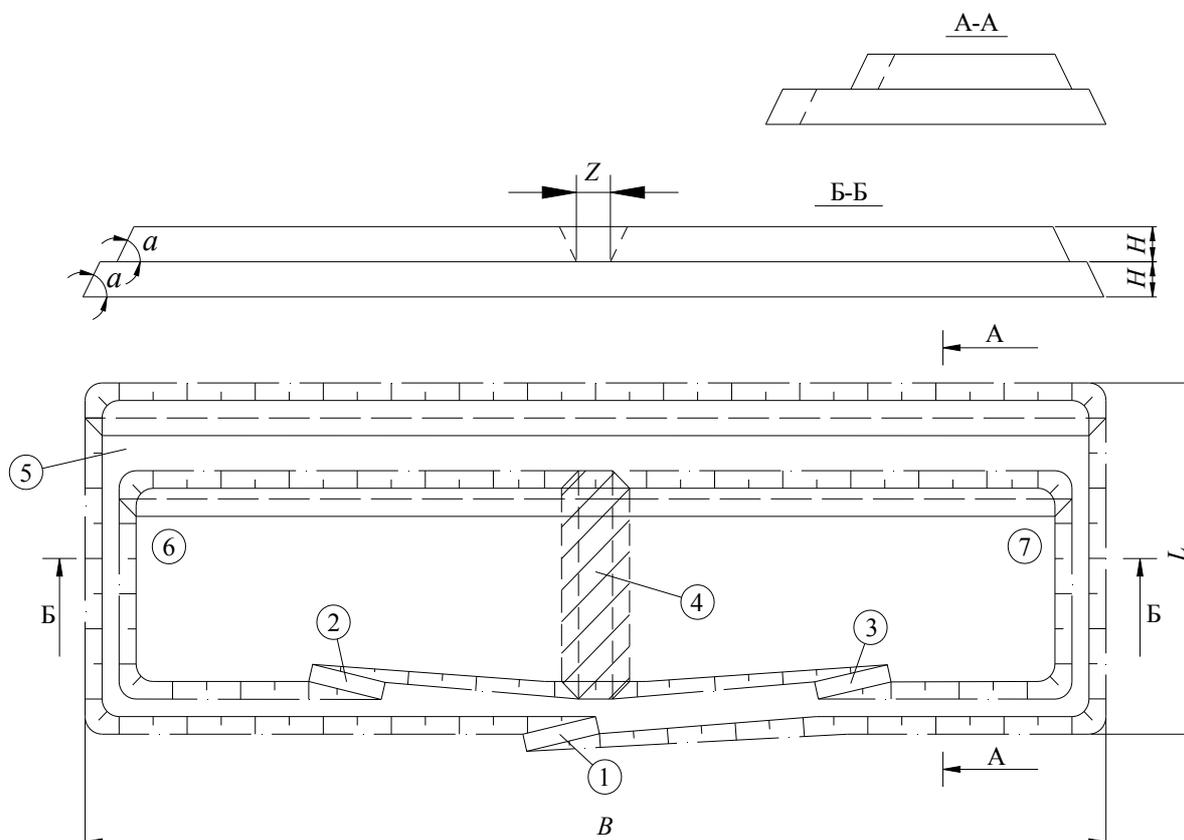


Рис. 1. Технологическая схема отсыпки внешнего отвала вскрышных пород с транспортным коридором во втором ярусе: 1 – выездной съезд первого яруса отвала; 2 – выездной съезд первого блока второго яруса отвала; 3 – выездной съезд второго блока второго яруса отвала; 4 – транспортный коридор во втором ярусе отвала; 5 – первый ярус отвала; 6 – первый блок второго яруса отвала; 7 – второй блок второго яруса отвала; Z – ширина транспортного коридора во втором ярусе; H – высота первого и второго ярусов отвала; α – угол откоса ярусов отвала; B – ширина отвала понизу; L – длина отвала понизу

Таким образом, в работе решалась частная задача рационального трассирования перемещения горной массы и движения автосамосвала в холостом направлении по годам в проектных контурах отвала для типовой традиционной схемы формирования двухъярусного отвала с предложенным изменением.

Изложение основного материала исследований.

Метод (процедура) решения задачи. Метод, который применялся для решения задачи, представляет собой графоаналитическое моделирование динамики контуров ярусов и трасс по годам отвалообразования. На основании этих контуров выполнялось трассирование перемещения горной массы и движения

автосамосвала в холостом направлении на отвале по минимуму расстояния транспортирования.

Формализация задачи. В настоящее время в практике эффективность трассирования горно-транспортных работ оценивают по затратам на перемещение горной массы за определенный период, которые определяются формулой:

$$Z = T_p \cdot C_{mp.} \rightarrow \min, \text{ грн.}, \quad (1)$$

где $C_{mp.}$ – средняя себестоимость транспортирования вскрышных пород автомобильным транспортом, грн./т км;

T_p – транспортная работа, выполняемая автосамосвалом при перемещении вскрышных пород в грузовом направлении, т км;

$$T_p = Q \cdot l, \text{ т км}, \quad (2)$$

здесь Q – масса вскрышных пород, доставляемых на отвал за определенный период, т; l – расстояние транспортирования в грузовом направлении, км.

Формулы (1), (2) не учитывают специфику задачи трассирования: во-первых, транспортная работа совершается при движении автосамосвала и в грузовом, и в холостом направлениях; во-вторых, удельные транспортные затраты в грузовом и в холостом направлениях различны, а не равны средней себестоимости; в-третьих, ни одна из формул (1), (2) не учитывает зависимость транспортных затрат от высоты подъема; в-четвертых, формулы (1), (2) не предусматривают дисконтирование.

Между тем, именно эти факторы позволяют дать более гибкую экономическую оценку пространственных параметров трассы.

Формула определения годовых дисконтированных затрат [6] в нашем случае имеет следующий смысл:

$$Z_{di} = \frac{Z_i}{(1 + E)^i}, \text{ грн.}, \quad (3)$$

где Z_i – затраты на транспортирование вскрышных пород автомобильным транспортом на отвале в i -м году, грн.; E – норма дисконта, $E = 0,15$ доли ед.; i – номер расчетного года.

Соответственно суммарные дисконтированные затраты будут равны:

$$Z_{д.с.} = \sum_{i=1}^t \frac{Z_i}{(1 + E)^i}, \text{ грн.}, \quad (4)$$

где t – количество лет, на которое производится расчет.

Параметр Z_i , с учетом отмеченных выше факторов, следовало бы определять аналогично (1), только с отдельным определением транспортной работы в грузовом и холостом направлениях и умножением на соответствующую себестоимость. Однако существующая на горных предприятиях система учета такие

показатели себестоимости не предусматривает, и соответствующие информационные базы не ведутся. Тем не менее, на передовых горных предприятиях уже применяются дифференцированные нормы расхода дизельного топлива автосамосвалами (на рис. 2 показаны характерные зависимости).

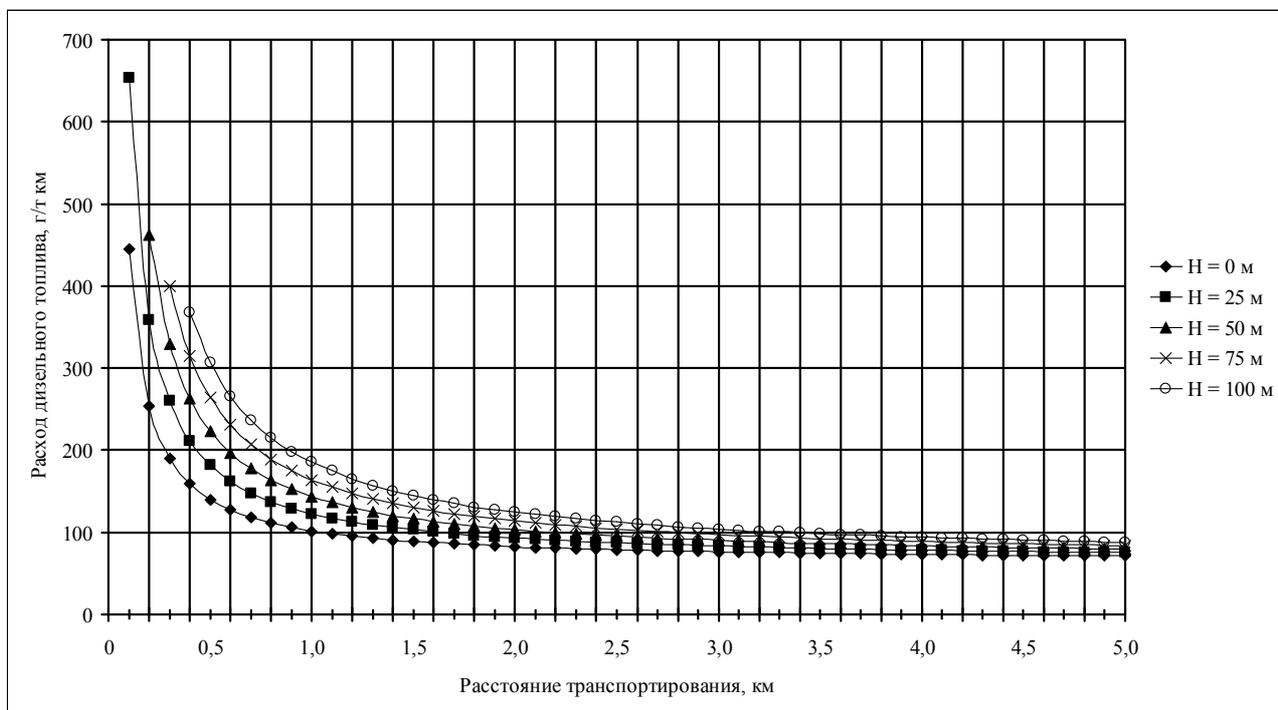


Рис. 2. Дифференцированные нормы расхода дизельного топлива для автосамосвалов: $H = 0$ м, $H = 25$ м, $H = 50$ м, $H = 75$ м, $H = 100$ м – высота подъема груженого автосамосвала

Как известно, в составе себестоимости можно выделить удельные постоянные и удельные переменные затраты. Очевидно, удельные постоянные затраты от пространственного расположения трассы (в частности, от длины трассы в грузовом и холостом направлениях, а также высоты подъема) не зависят.

Удельные переменные затраты включают:

- затраты на горюче-смазочные материалы, грн./т км;
- зарплата водителям, грн./т км;
- износ резины шин автосамосвалов, грн./т км.

Анализ удельных переменных затрат показывает, что из перечисленных затрат наибольший удельный вес приходится на горюче-смазочные материалы, которые в общей стоимости могут достигать 90-95 %. В связи с этим, двумя последними составляющими удельных переменных затрат можно пренебречь, тем более, что от пространственного расположения трассы они не зависят.

На основании изложенного выше, в качестве критерия при выборе рационального варианта трассирования при перемещении горной массы и движении автосамосвала в холостом направлении по отвалу были приняты суммарные дисконтированные затраты на дизельное топливо по годам отвалообразования:

$$Z_{д.с.}^{ДТ} = \sum_{i=1}^t \frac{Z_i^{ДТ}}{(1+E)^i}, \text{ грн.}, \quad (5)$$

где $Z_i^{ДТ}$ – затраты на дизельное топливо в i -м году при транспортировании вскрышных пород и движении автосамосвала в холостом направлении по отвалу, грн.;

$$Z_i^{ДТ} = Z_{1i}^Г + Z_{1i}^{ХП} + Z_{2i}^Г + Z_{2i}^{ХП}, \text{ грн.}, \quad (6)$$

где $Z_{1i}^Г$, $Z_{2i}^Г$ – затраты на дизельное топливо в i -м году при транспортировании вскрышных пород соответственно по первому и второму ярусу отвала в грузовом направлении, грн.; $Z_{1i}^{ХП}$, $Z_{2i}^{ХП}$ – затраты на дизельное топливо в i -м году при движении порожнего автосамосвала соответственно по первому и второму ярусу отвала в холостом направлении, грн.;

$$Z_{1i}^Г = (l_{i1}^П q_{Г1}^П + l_{i1}^P q_{Г1i}^P) Q_{Г1i} \cdot Ц^{ДТ}, \text{ грн.}, \quad (7)$$

где $l_{i1}^П$ – расстояние транспортирования вскрышных пород по выездному съезду 1-го яруса в i -м году (позиция 1 на рис. 1), км; $q_{Г1}^П$ – удельный расход дизельного топлива груженым автосамосвалом при преодолении подъема 1-го яруса в i -м году, г/т км; l_{i1}^P – расстояние транспортирования вскрышных пород по горизонтальному участку 1-го яруса в i -м году, км; $q_{Г1i}^P$ – удельный расход дизельного топлива груженым автосамосвалом при перемещении по горизонтальному участку 1-го яруса в i -м году, г/т км; $Q_{Г1i}$ – годовая масса вскрышных пород, укладываемая в 1-м ярусе в i -м году, т; $Ц^{ДТ}$ – цена дизельного топлива, грн./г.

$$Z_{2i}^Г = (l_{i1}^П q_{Г1}^П + l_{i1-2}^P q_{Г1-2i}^P + l_{i2}^П q_{Г2}^П + l_{i2}^P q_{Г2i}^P) Q_{Г2i} \cdot Ц^{ДТ}, \text{ грн.}, \quad (8)$$

где $l_{i1}^П$ – расстояние транспортирования вскрышных пород по выездному съезду 1-го яруса в i -м году (позиция 1 на рис. 1), км; $q_{Г1}^П$ – удельный расход дизельного топлива груженым автосамосвалом при преодолении подъема 1-го яруса в i -м году, г/т км; l_{i1-2}^P – расстояние транспортирования вскрышных пород по горизонтальному участку от конца выездного съезда 1-го яруса до начала выездного съезда 2-го яруса в i -м году, км; $q_{Г1-2i}^P$ – удельный расход дизельного топлива груженым автосамосвалом при перемещении по горизонтальному участку от конца выездного съезда 1-го яруса до начала выездного съезда 2-го яруса в i -м году, г/т км; $l_{i2}^П$ – расстояние транспортирования вскрышных пород по выездному съезду 2-го яруса в i -м году (позиция 2, 3 на рис. 1), км; $q_{Г2}^П$ – удельный расход дизельного топлива груженым автосамосвалом при преодолении

подъема 2-го яруса в i -м году, г/т км; l_{i2}^P – расстояние транспортирования вскрышных пород по горизонтальному участку 2-го яруса в i -м году, км; $q_{Г2i}^P$ – удельный расход дизельного топлива груженым автосамосвалом при перемещении по горизонтальному участку 2-го яруса в i -м году, г/т км; $Q_{Г2i}$ – годовая масса вскрышных пород, укладываемая во 2-м ярусе в i -м году, т; $Ц^{ДТ}$ – цена дизельного топлива, грн./г.

$$З_{1i}^{ХЛ} = (l_{1i}^P q_{ХЛ1i}^P + l_{1i}^{СП} q_{ХЛ1}^{СП}) m_c \cdot Ц^{ДТ}, \text{ грн.}, \quad (9)$$

где l_{1i}^P – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом по горизонтальному участку 1-го яруса в холостом направлении в i -м году, км; $q_{ХЛ1i}^P$ – удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при перемещении по горизонтальному участку 1-го яруса в холостом направлении в i -м году, г/т км; $l_{1i}^{СП}$ – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом при спуске по выездному съезду 1-го яруса в i -м году (позиция 1 на рис. 1), км; $q_{ХЛ1}^{СП}$ – удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при перемещении по спуску 1-го яруса в i -м году, г/т км; m_c – масса автосамосвала (без груза), т; $Ц^{ДТ}$ – цена дизельного топлива, грн./г.

$$З_{2i}^{ХЛ} = (l_{i2}^P q_{ХЛ2i}^P + l_{i2}^{СП} q_{ХЛ2}^{СП} + l_{i2-1}^P q_{ХЛ2-1i}^P + l_{1i}^{СП} q_{ХЛ1}^{СП}) m_c \cdot Ц^{ДТ}, \text{ грн.}, \quad (10)$$

где l_{i2}^P – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом по горизонтальному участку 2-го яруса в холостом направлении в i -м году, км; $q_{ХЛ2i}^P$ – удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при перемещении по горизонтальному участку 2-го яруса в холостом направлении в i -м году, г/т км; $l_{i2}^{СП}$ – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом при спуске по выездному съезду 2-го яруса в i -м году (позиция 2, 3 на рис. 1), км; $q_{ХЛ2}^{СП}$ – удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при перемещении по спуску 2-го яруса в i -м году, г/т км; l_{i2-1}^P – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом по горизонтальному участку от конца выездного съезда 2-го яруса до начала выездного съезда 1-го яруса в i -м году, км; $q_{ХЛ2-1i}^P$ – удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при преодолении ровного участка от конца выездного съезда 2-го яруса до начала выездного съезда 1-го яруса в i -м году, г/т км; $l_{1i}^{СП}$ – расстояние, преодолеваемое порожним автосамосвалом при спуске по выездному съезду 1-го яруса в i -м году (позиция 1 на рис. 1), км; $q_{ХЛ1}^{СП}$ – удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при перемещении по спуску 1-го яруса в i -м году, г/т км; m_c – масса автосамосвала (без груза), т; $Ц^{ДТ}$ – цена дизельного топлива, грн./г.

Как видно из приведенных формул (3)-(10), критерий (5) учитывает транспортную работу в грузовом и в холостом направлениях, различие удельных затрат на дизельное топливо в грузовом и в холостом направлениях, зависимость удельных затрат на дизельное топливо от расстояния и высоты подъема, а также приведение затрат во времени. Кроме того, очевидно, что минимизация затрат на дизельное топливо минимизирует затраты на транспортирование горной массы и движение автосамосвала в холостом направлении по отвалу.

Методика решения задачи. Соответственно изложенному выше подходу к формализации задачи на основе использования дифференцированных норм расхода дизельного топлива для автосамосвалов, суммарных дисконтированных затрат на дизельное топливо как критерия выбора рационального варианта развития трасс и предложенного технологического решения по созданию транспортного коридора, методика решения включает следующие процедуры:

1) методом графоаналитического моделирования технолог строит годовые контуры положения 1-го и 2-го ярусов отвала, а также транспортного коридора на весь период формирования отвала;

2) для полученных таким образом контуров технолог для каждого года строит трассы доставки горной массы на отвале согласно принятой схеме движения автосамосвалов;

3) для принятых к рассмотрению вариантов трассирования и схем движение по формулам (3)-(10) определяются и сравниваются суммарные дисконтированные затраты на дизельное топливо; вариант с наименьшими этими затратами выбирается в качестве рационального.

Пример определения рационального решения. В рассматриваемом примере рациональное решение определялось по приведенной выше методике путем сравнения двух вариантов развития трасс: без транспортного коридора и с ним (рис. 3).

Расчеты выполнялись для двухъярусного отвала, формируемого периферийным отвалообразованием, прямоугольной формы с размерами в длину $L = 1$ км, в ширину – $B = 3$ км. Годовые объемы вскрышных пород были приняты постоянными и равными 13 млн. м³ или 39 млн. т (скальная вскрыша). Высота ярусов тоже была принята одинаковой и равной $H = 20$ м, угол откоса отвала $\alpha = 30^\circ$, длина выездных траншей на первом и втором ярусах – 250 м.

Для перемещения вскрышных пород были приняты автосамосвалы БелАЗ-75145 с грузоподъемностью 120 т и снаряженной массой (без груза) – 90 т.

Нормы расхода дизельного топлива для груженого автосамосвала определялись по графикам (рис. 2) в зависимости от расстояния транспортирования по отвалу и высоты подъема трассы. Для холостого хода автосамосвала по горизонтальному участку норма расхода принималась постоянной и равной 1,973 кг/км. При движении порожнего автосамосвала на спуск норма расхода дизельного топлива тоже принималась постоянной и равной 1,460 кг/км [5]. Цена на дизельное топливо принята постоянной – 0,011628 грн./г.

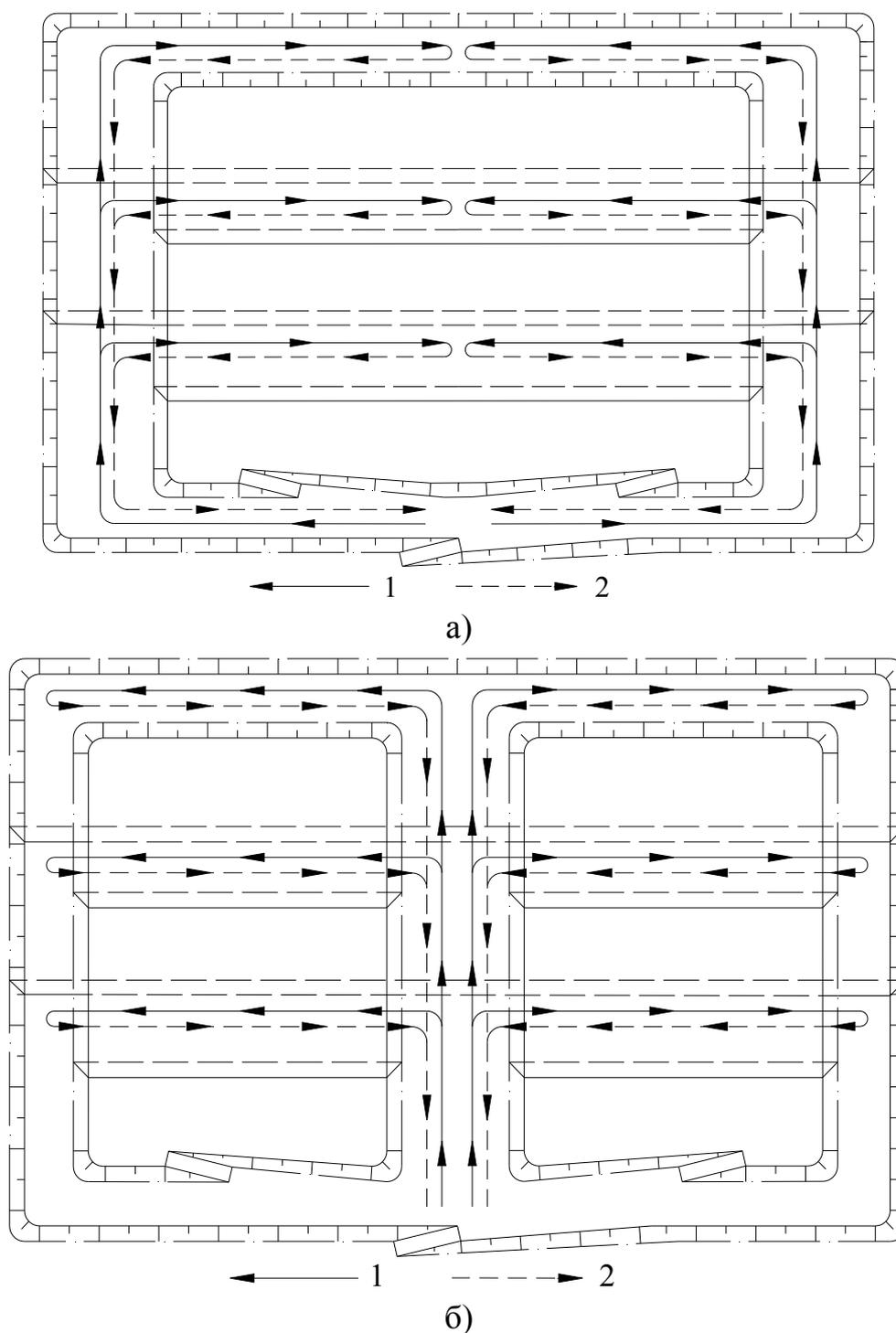


Рис. 3. Сравнимые варианты развития трасс: а) без транспортного коридора; б) с транспортным коридором; 1 – движение автосамосвала в грузовом направлении; 2 – движение автосамосвала в холостом направлении

На основе подготовленных таким образом исходных данных был выполнен расчет затрат на дизельное топливо по каждому расчетному году и соответствующих суммарных дисконтированных затрат для двух вариантов развития трасс без транспортного коридора и с ним. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

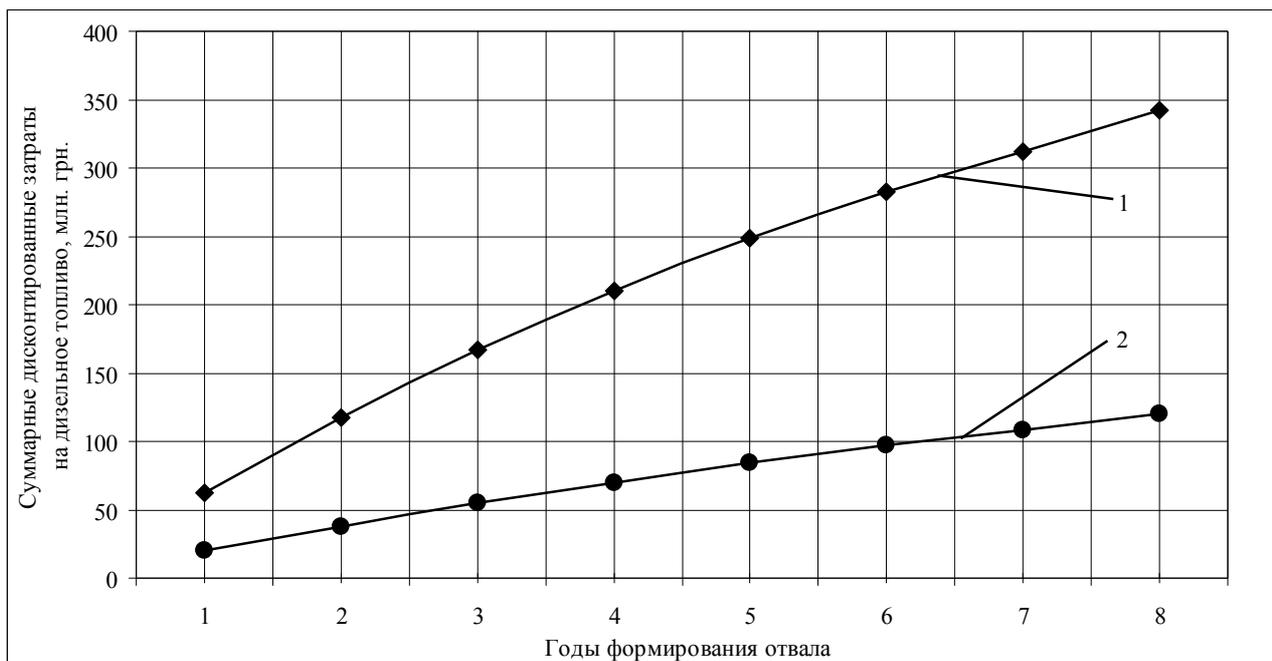


Рис. 4. Изменение суммарных дисконтированных затрат на дизельное топливо при перемещении вскрышных пород и движении автосамосвала в холостом направлении по отвалу для двух вариантов развития трасс: 1 – без транспортного коридора; 2 – с транспортным коридором

Как видно из графика, рациональным является вариант развития трасс с транспортным коридором. Уже с первого года отсыпки отвала при этом варианте трассирования имеет место значительное снижение суммарных дисконтированных затрат на дизельное топливо (от 65 % до 68 %).

Очевидно, параметры отвала будут влиять на формирование вариантов трассирования и наоборот. Эта взаимосвязь, несомненно, должна учитываться при совершенствовании технологических схем горно-транспортных работ на отвалах.

Для установления указанной зависимости было выполнено решение задачи определения рационального варианта трассирования для пяти вариантов соотношений длины к ширине отвала при постоянном значении годовых объемов вскрышных пород – $L/B = 3/1$ км; $L/B = 1,5/2$ км; $L/B = 1/3$ км; $L/B = 0,75/4$ км; $L/B = 0,6/5$ км (рис. 1). Полученные значения суммарных дисконтированных затрат представлены на рис. 5.

Расчеты суммарных дисконтированных затрат производились лишь для первого яруса отвала по той причине, что при применении технологической схемы с транспортным коридором происходит сокращение расстояний транспортирования вскрышных пород и перемещения автосамосвала в холостом направлении для отсыпки именно этого яруса.

Анализируя результаты расчетов, приведенные на рисунке 5, следует отметить, что с увеличением ширины отвала понизу дисконтированные затраты вначале уменьшаются, а затем начинают постепенно расти. Наибольшее значе-

ние суммарные дисконтированные затраты на дизельное топливо принимают при варианте соотношения длины к ширине отвала по низу $L/B = 3/1$ км, а наименьшие значения – при $L/B = 1/3$ км.

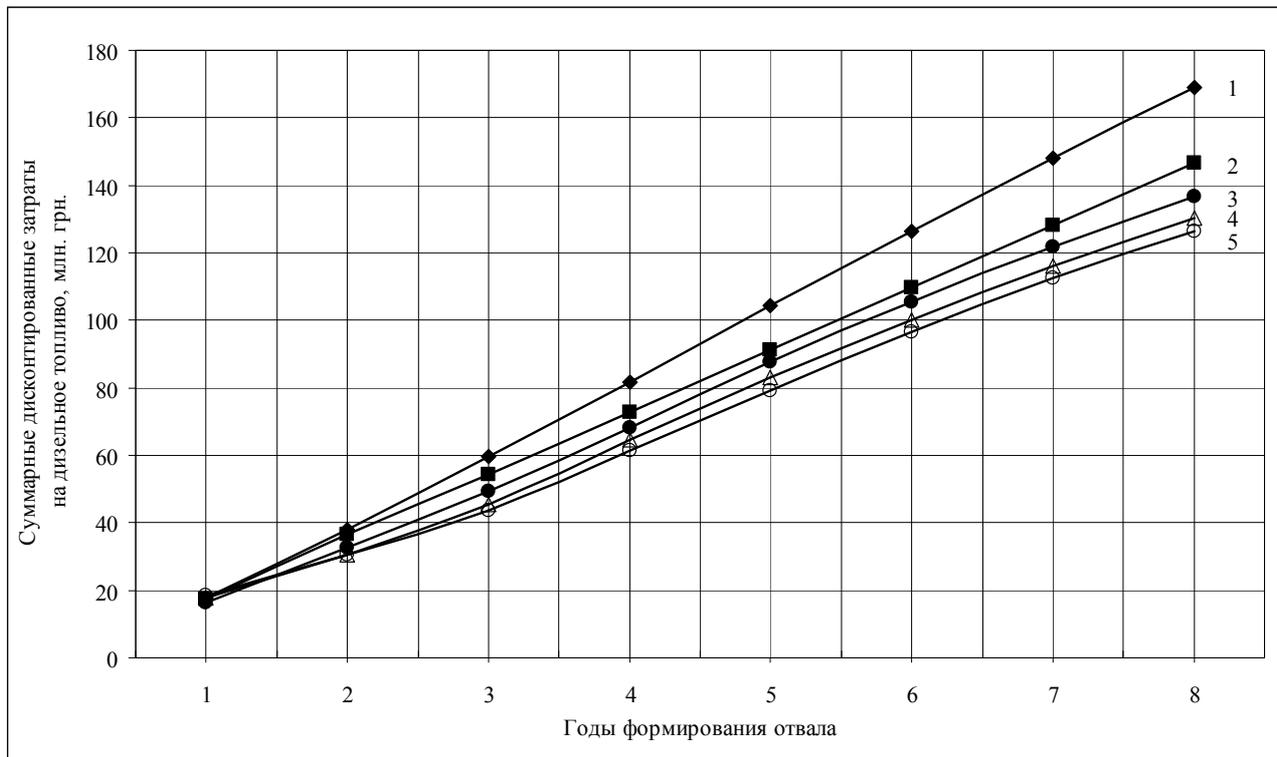


Рис. 5. Изменение суммарных дисконтированных затрат на дизельное топливо при перемещении вскрышных пород и движении автосамосвала в холостом направлении по отвалу для различных соотношений его параметров: 1 – $L/B = 3/1$ км; 2 – $L/B = 0,6/5$ км; 3 – $L/B = 0,75/4$ км; 4 – $L/B = 1,5/2$ км; 5 – $L/B = 1/3$ км

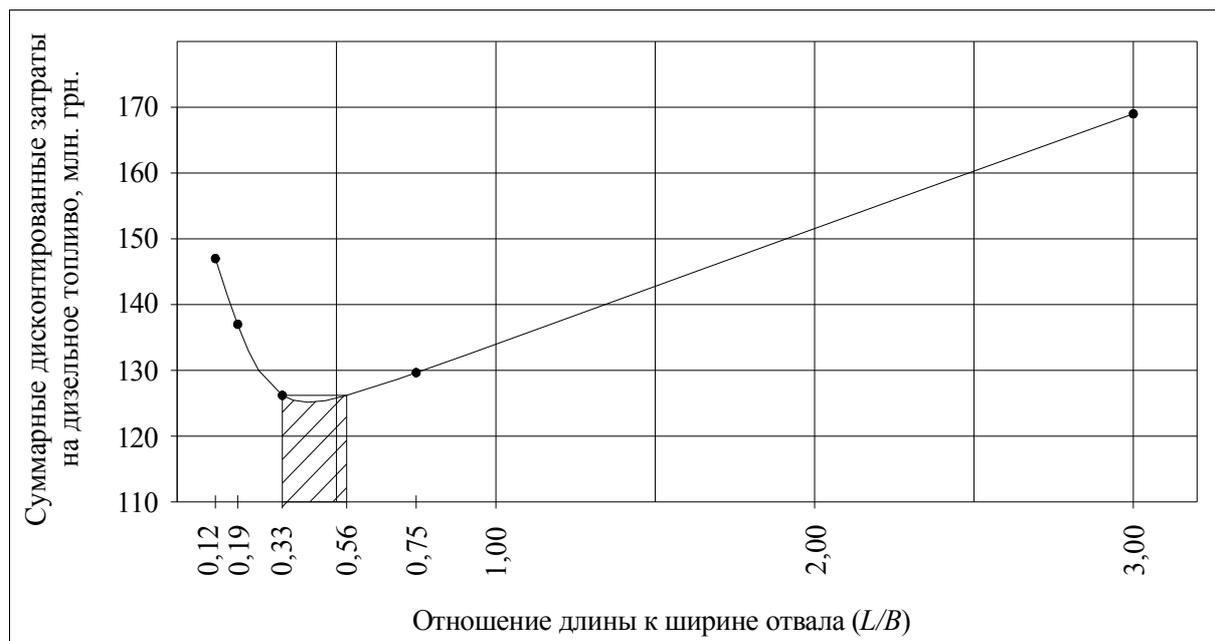


Рис. 6. Область рационального применения варианта развития трасс с транспортным коридором

Для определения рациональной области применения технологической схемы с транспортным коридором, была выполнена трансформация полученных графиков (рис. 5) в график, позволяющий определить соотношение длины и ширины отвала, при которых обеспечивается минимальное значение суммарных дисконтированных затрат (рис. 6).

Как видно из рисунка 6, рациональная область применения предлагаемой технологической схемы с транспортным коридором задается соотношением длины и ширины отвала от 0,33 до 0,56.

Таким образом, при заданных исходных данных для снижения транспортных затрат на перемещение горной массы по отвалу необходимо применять трассирование с использованием транспортного коридора, при этом соотношение длины и ширины отвала должно находиться интервале от 0,33 до 0,56.

Выводы. Разработанная методика решения задачи рационального трассирования перемещения автосамосвалов по годам в проектных контурах отвала для типовой традиционной схемы формирования двухъярусного отвала с предложенным изменением позволяет снизить суммарные дисконтированные затраты на дизельное топливо на величину от 65 % до 68 %. Несомненно, такое снижение этих затрат приведет к столь существенному снижению и суммарных дисконтированных транспортных затрат для грузового и холостого направлений движения автосамосвалов.

Таким образом, реализованный методикой подход, состоящий в трассировании перемещений автосамосвалов на отвалах на основе дифференцированных норм расхода дизельного топлива и новых технологических решений по управлению промежуточными контурами отвалов, является действенным способом совершенствования технологических схем горно-транспортных работ.

Список литературы

1. Кобеляцкий И.Ю. Современное состояние и актуальные задачи совершенствования технологических схем горно-транспортных работ железорудных карьеров / И.Ю. Кобеляцкий, В.В. Панченко // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників - 2010”. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2010. - С. 64-67.

2. Русский И.И. Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. - М.: Недра, 1979. - 221 с.

3. Дриженко А.Ю. Кар’єрні технологічні гірничотранспортні системи: монографія - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ “НГУ”, 2011. - 542 с.

4. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров: Учеб. для вузов: В 2 т. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. - Т. II. - 535 с.

5. Лель Ю.И. Планирование потребности в топливе для перемещения горной массы автосамосвалами в условиях сложных трасс карьеров / Ю.И. Лель, Ю.В. Стенин, С.В. Мусихин, Д.С. Панфилов // Известия вузов. Горный журнал. - 2009. - №4 - С. 4-10.

6. Хохряков В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок: Учебное пособие / В.С. Хохряков. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. - 180 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Прокопенком В.І.
Надійшла до редакції 10.10.2012*