

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СХЕМ ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРЕ «ЮГ» МАЛЫШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССЫПНЫХ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ РУД

Б.Е. Собко, А.М. Маевский, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

Проведено исследование и дана технологическая оценка схем отвалообразования, предусматривающих применение экскаваторов-драглайнов ЭШ-10/70, перегружателей ПВП -6600 и ПГ-5000/60.

Эффективность работы горнодобывающего предприятия зависит от выбранных рациональных технологических схем производства вскрышных, добычных и отвальных работ на карьере.

Малышевское россыпное титано-циркониевое месторождение является сырьевой базой Вольногорского горно-металлургического комбината.

Передовой вскрышной уступ на карьере №7 «Юг» отрабатывается комплексом оборудования непрерывного действия НКМЗ в составе экскаватора ЭРШР-1600-40/10, системы конвейеров, перегружателя ПГ – 5000/60 и отвалообразователя ЗП-6600.

В связи с выходом из строя отвалообразователя ЗП-6600 и его длительным ремонтом, возникла необходимость выбора и обоснования эффективной технологии отвалообразования вскрышных пород, разрабатываемых комплексом НКМЗ на карьере №7 «Юг» Малышевского месторождения титано-циркониевых руд. До настоящего времени нет эффективных технических и проектных решений по технологии производства отвальных работ, обеспечивающих плановые объемы добычи полезного ископаемого при минимальных эксплуатационных затратах, использовании применяемого на карьере №7 «Юг» основного горнотранспортного оборудования без отвалообразователя ЗП-6600.

В качестве варианта I (базового) отвальных работ на карьере №7 «Юг», принята технологическая схема, предусматривающая применение имеющегося отвального оборудования: перегружателей ПВП-6600 и ПГ-5000/60, а также двух экскаваторов-драглайнов ЭШ-10/70. Основное преимущество варианта I является обеспечение максимальной заполняемости внешнего и внутреннего ярусов отвала. Однако этот вариант имеет существенный недостаток – наличие переэкскавации вскрышных пород, отсыпаемых перегружателем ПВП-6600. Коэффициент переэкскавации в начальный период составляет 100%, а в среднем 70%. [1].

В связи с этим для сравнительной технико-экономической оценки были приняты четыре возможные альтернативные варианты технологических схем отвальных работ на период ремонта отвалообразователя ЗП-6600.

Рассмотрим характерные технологические особенности альтернативных вариантов схем отвальных работ.

Технологическая схема отвальных работ по варианту II предусматривает применение двух экскаваторов ЭШ-10/70 и двух перегружателей ПВП-6600 и ПГ-5000/60. Отличительной особенностью этой схемы является то, что экскаваторы ЭШ-10/70 работают по переэкскавации вскрышных пород во внешний ярус в начальный период до передвижки отвального конвейера, заполняя до отм. + 150,0 м емкостью отвала, которую не могут заполнить два перегружателя по своему радиусу разгрузки $R_p=120$ м (рис. 1 а, б). После заполнения этой емкости, объемом 403 тыс. м³ к перегружателю ПВП-6600 подключается ПГ-5000 и оба они за три прохода заполняют оставшуюся часть емкости (рис. 1, в). За это время ЭШ-10/70 переэкскавируют большую часть объема вскрыши (отсыпанную ПВП-6600) на внутренней стороне конвейера №12, т.е. в нижний ярус отвала (на рис. 2 показано штриховкой). При этом экскаваторами-драглайнами осуществляется повышение отметки поверхности нижнего яруса отвала с + 130 до + 134 м, что позволит, аналогично варианту I, увеличить заполняемость всего отвала.

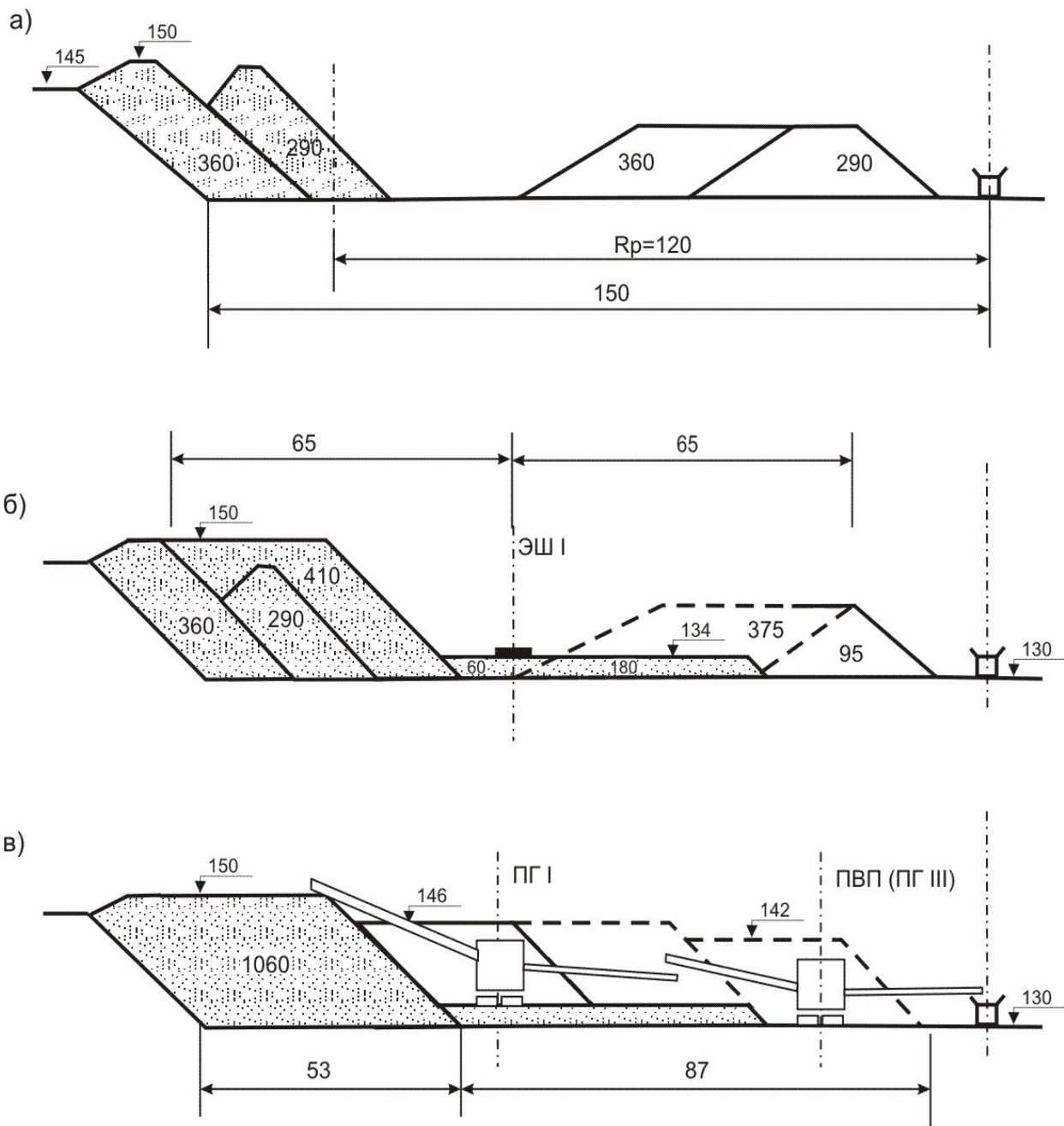


Рис.1. Технологическая схема отсыпки внешнего яруса отвала по варианту II (до передвижки конвейера):
 а) после первого прохода ПВП-6600 (ЭШ на переэкскавации);
 б) после второго прохода ПВП-6600 (ЭШ на переэкскавации);
 в) ПВП-6600 и ПГ- 5000/60 работают в комплексе (ЭШ отсутствуют).

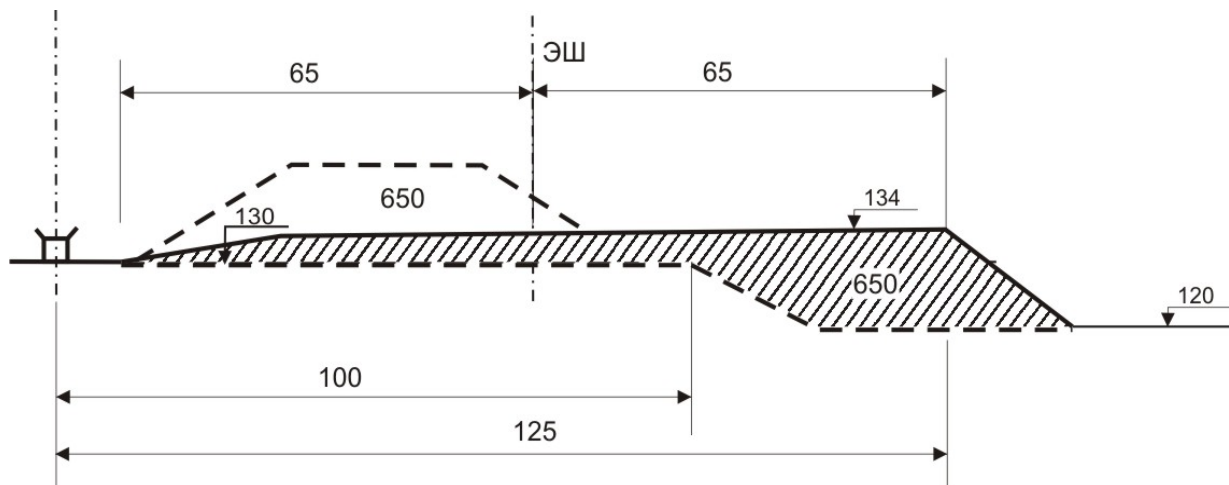


Рис.2. Технологическая схема отсыпки нижнего яруса отвала (внутренняя сторона отвально-го конвейера №12) до передвижки отвального конвейера (вариант II)

После передвижки (первой) отвального конвейера №12 породы вскрыши отсыпаются двумя перегружателями во внешний (верхний) и во внутренний (нижний) ярусы отвала последовательно (рис. 3). Шаг первой передвижки отвального конвейера составляет $\text{Ш}_n=90$ м, а второй – $\text{Ш}_n=75$ м, что позволяет достичь заполнения всего отвала $V_{\sigma}=2680$ тыс. м^3 . Это более чем на 13 % меньше, чем по варианту I. Однако существенным преимуществом рассматриваемого варианта II является значительное уменьшение коэффициента переэкскавации K_n , который составляет 23%, что больше чем в 3 раза меньше по сравнению с вариантом I.

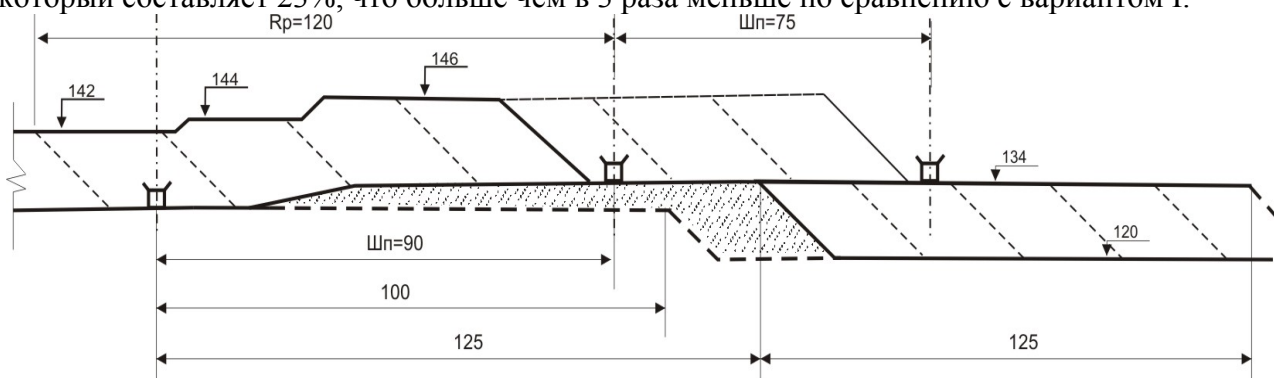


Рис.3. Технологическая схема отсыпки пород во внешний и внутренний ярус отвала после передвижки отвального конвейера (вариант II)

Вариант III предусматривает применение технологической схемы отвальных работ аналогичной варианту II, т.е. на первоначальном этапе, с внешней стороны отвального карьера работы по отсыпке вскрыши производятся с использованием ПВП-6600 и двух ЭШ-10/70 (см. рис. 1 а, б, в). Однако при производстве отвальных работ с внутренней стороны конвейера драглайны ЭШ-10/70 не используются, что позволяет несколько уменьшить коэффициент переэкскавации. Шаг передвижки отвального конвейера и число передвижек одинаковы как при варианте II.

В варианте IV, в отличие от рассмотренных выше вариантов, используется один перегружатель ПВП-6600. Достоинство такой технологической схемы в том, что при одном перегружателе стоимость отсыпки вскрышных пород в отвал уменьшается в 2 раза по сравнению с первыми тремя вариантами (I-III). К недостаткам этого варианта следует отнести увеличение необходимого числа передвижек отвального конвейера, поскольку шаг передвижки не превышает 300 м. Кроме того, при варианте IV как и при варианте III с внутренней стороны отвального конвейера не используются драглайны для переэкскавации пород и высота нижнего яруса отвала составляет 10 м. Это уменьшает заполняемость отвала.

Вариант V в целом подобен предыдущему варианту. Отличие состоит только в том, что с внутренней стороны конвейера №12 с помощью ЭШ-10/70 осуществляется повышение отметки поверхности нижнего яруса отвала с +130 до +134, что позволяет повысить заполняемость отвала.

Для всех пяти рассмотренных вариантов технологических схем произведены расчеты основных их параметров: объема отсыпки пород V_0 ; объема переэкскавации V_n ; коэффициента переэкскавации K_n ; шага $Ш_n$ и числа передвижек n_n отвального конвейера. Результаты расчетов приведены в табл. 1. Из приведенных данных в табл. 1 видно, что по коэффициенту переэкскавации пород вскрыши альтернативные варианты III и IV уступают вариантам I и II.

Таблица 1

Технологические параметры возможных схем отвальных работ

Варианты технологических схем	Применяемое оборудование	Объем отсыпaeмых пород, V_0 , тыс. м ³	Объем переэкскавации, V_n , тыс. м ³	Коэффициент переэкскавации, K_n	Шаг передвижки конвейера, $Ш_n$, м	Число передвижек, n_n	Примечание
I (базовый)	2 ЭШ-10/70 + ПВП-6600	3100	2200	0,70	125	1	ПГ-5000 подключается в конце рассматриваемого периода
II	2 ЭШ-10/70 + ПВП+ПГ	2680	549	0,23	75	2	ЭШ применяется до передвижки конвейера (в начальный период)
III	ПВП+ПГ	2310	403	0,20	75	2	ЭШ применяется в начальный период на внешней стороне отвального конвейера
IV	ПВП-6600	2310	403	0,20	30	4	
V	ПВП-6600	2680	549	0,23	30	4	

Для сравнительной оценки приняты все пять вариантов технологических схем отвальных работ, приведенных в табл.1. Основными технологическими параметрами, влияющими на экономическую эффективность этих схем являются:

- объем отсыпaeмых перегружателями ПВП-6600 и ПГ-5000 в отвал вскрышных пород – V_0 ;
- объем переэкскавации части пород, осуществляемый экскаваторами-драглайнами ЭШ-10/70 – V_n ;
- шаг передвижки отвального ленточного конвейера $Ш_n$.

В качестве критерия оценки экономической эффективности принят минимум суммарных эксплуатационных затрат на производство отвальных работ ($\sum Z$) на период аварийного ремонта отвалообразователя ЗП-6600. Этот период по данным ВГМК составляет примерно 9 месяцев, что соответствует одному шагу передвижки отвального конвейера №12 $Ш_n=120-130$ м (по базовому варианту I ВГМК). Поэтому все остальные альтернативные технологические схемы (II-V) приводятся в соответствие с этим исходным условием за счет увеличения числа передвижек отвального конвейера.

В общем виде суммарные эксплуатационные затраты ($\sum Z$) определяются по выражению

$$\sum Z = Z_0 + Z_n + Z_{п.к} + \Delta Z_Q + \Delta Z_B \quad (1)$$

где Z_0 – затраты на отсыпку вскрышных пород перегружателями, грн;

Z_n – затраты на переэкскавацию вскрышных пород драглайнами, грн;

$Z_{п.к}$ – затраты на передвижку отвального ленточного конвейера № 12, грн;

ΔZ_Q – приращение эксплуатационных затрат на разработку вскрышных пород комплексом НКМЗ (ущерб) из-за необходимости изменения его производительности, грн;

ΔZ_B – затраты на восстановление поверхности внешнего яруса отвала, грн.

Эксплуатационные затраты на отсыпку пород вскрыши перегружателями определяются по формуле:

$$Z_0 = C_0 V_0, \quad (2)$$

где C_0 – стоимость отсыпки 1 м^3 пород перегружателями, грн;

V_0 – объем вскрышных пород, отсыпаемых перегружателем за расчетный период, м^3 .

Величина C_0 принималась равной $0,4 \text{ грн/м}^3$ (в соответствии с данными ВГМК) при работе одного перегружателя ПГ-5000 или ПВП-6600.

При работе на отвале двух перегружателей с целью увеличения шага передвижки отвального конвейера $C_0 = 0,8 \text{ грн/м}^3$.

Расчетные значения объема отсыпки пород V_0 для рассматриваемых технологических схем отвальных работ приведены в табл. 1.

Затраты на переэкскавацию вскрышных пород, отсыпаемых перегружателем ПВП-6600, определяются в зависимости от типа и числа драглайнов осуществляющих переэкскавацию пород, а также объема ее ($V_{\text{п}}$)

$$Z_{\text{п}} = C_{\text{п}} \cdot V_{\text{п}} \cdot n_{\text{э}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{п}}$ – стоимость переэкскавации 1 м^3 вскрышных пород, грн;

$n_{\text{э}}$ – число драглайнов, осуществляющих переэкскавацию.

Стоимость переэкскавации $C_{\text{п}}$ при выполнении расчетов принималась равной стоимости 1 м^3 вскрыши, разрабатываемой по бестранспортной схеме в условиях карьера № 7 «Юг» экскаваторами ЭШ-10/70, поскольку они будут применяться на отвальных работах на период аварийной остановки отвалообразователя ЗП-6600. В зависимости от варианта технологической схемы отвальных работ их число ($n_{\text{э}}$) может изменяться от 0 до 2. Однако для большей части схем $n_{\text{э}} = 2$, поскольку при месячном объеме отсыпки вскрышных пород равном 400 тыс. м^3 один ЭШ-10/70 не обеспечит их переэкскавацию из-за меньшей эксплуатационной производительности ($200 \text{ тыс. м}^3/\text{мес.}$).

Результаты статистической обработки ($C_{\text{в}}$) данных ВГМК о стоимости 1 м^3 вскрыши, разрабатываемой ЭШ-10/70 по бестранспортной схеме в условиях карьера №7 «Юг» показывают (рис. 4), что между величиной $C_{\text{в}}$ и производительностью драглайна имеется криволинейная зависимость.

Как видно из рис. 4 при работе драглайна ЭШ-10/70 на переэкскавации объема отсыпки пород равной $200 \text{ тыс. м}^3/\text{мес.}$ стоимость 1 м^3 составит $1,5 \text{ грн}$. Поскольку для всех сравниваемых технологических схем (I-V) два ЭШ-10/70 переэкскавируют породы в начале расчетного периода, то величина $C_{\text{п}} = 3 \text{ грн/м}^3$.

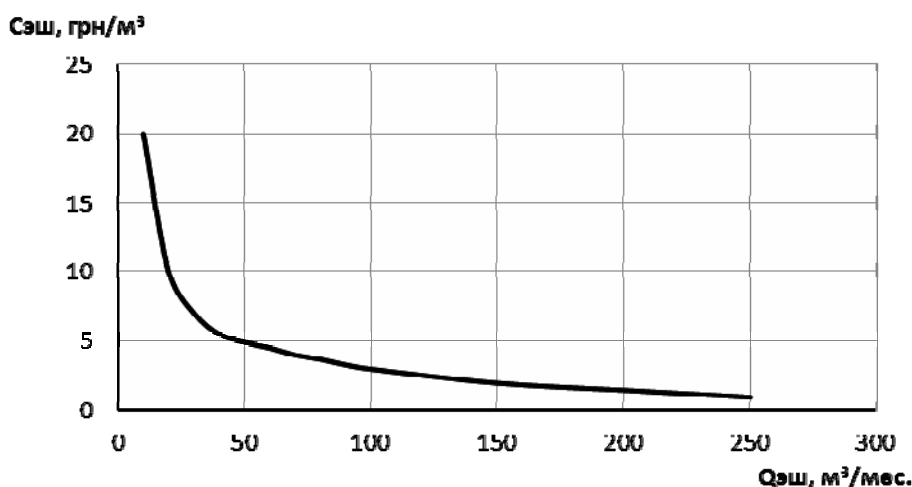


Рис.4. График зависимости стоимости 1 м^3 вскрыши ($C_{\text{эш}}$) от производительности драглайна ЭШ-10/70 ($Q_{\text{эш}}$) по данным 2010 года

Затраты на передвижку конвейера ($Z_{п.к}$) определяется по выражению

$$Z_{п.к} = C_{п} \cdot Ш_{п} + Y_{п.к}, \text{ грн}, \quad (4)$$

где $C_{п}$ – стоимость передвижки отвального конвейера на 1 м, грн;

$Ш_{п}$ – шаг передвижки конвейера, м;

$Y_{п.к}$ – ущерб от передвижки конвейера, который наносится из-за простоя всего комплекса оборудования непрерывного действия НКМЗ за время передвижки, грн.

Величина $C_{п}$ по данным ВГМК составляет 300 грн/м. Шаг передвижки отвального конвейера принимается для каждого из сравниваемых вариантов технологических схем отвальных работ (см. раздел 3, табл. 3.1).

Величина ущерба от простоя комплекса НКМЗ за время передвижки конвейера №12 определяется по выражению:

$$Y_{п.к} = t_{п} \cdot C_{у.п} \cdot Q_{эп}, \text{ грн}, \quad (5)$$

где $t_{п}$ – продолжительность простоя комплекса за время передвижки конвейера, час;

$C_{у.п}$ – доля условно-постоянных затрат в стоимости 1 м³ вскрышных пород, разрабатываемых комплексом, грн/м³; $Q_{эп}$ – часовая эксплуатационная производительность роторного экскаватора ЭРШР-1600, м³.

Величина $t_{п}$ в расчетах принималась исходя из продолжительности передвижки отвального конвейера. По данным ВГМК она составляет 336 часов (2 недели при 2-х сменной работе по 12 часов каждая).

Величина условно-постоянных затрат (зарплата, начисления на зарплату, амортизация и др.) в общей себестоимости 1 м³ вскрыши находится в пределах 40-50%. При себестоимости 1 м³ вскрыши 4 грн/м³ (работа комплексом НКМЗ с производительностью 5 млн. м³/год) величина $C_{п}$ будет составлять 1,6-2 грн/м³.

Часовая производительность комплекса НКМЗ ($Q_{эп}$) принималась исходя из данных его работы в период 2009-2010 гг. (табл. 2). Она изменялась в диапазоне 1658-2044 м³/час, а в среднем $Q_{эп}=1850$ м³/час.

Исходя из приведенных данных величина ущерба от простоя комплекса НКМЗ за время одной передвижки конвейера №12 составит

$$Y_{п.к} = t_{п} \cdot C_{у.п} \cdot Q_{эп} = 336 \cdot 1,8 \cdot 1850 = 1\,118\,800, \text{ грн},$$

В рассматриваемых вариантах технологических схем отвальных работ в первоначальный период (варианты I-V) для переэкскавации отсыпаемых перегружателем ПВП-6600 задействованы два ЭШ-10/70, которые могут обеспечить производительность 400 тыс. м³ в месяц. Это примерно на 50-100 тыс. м³ меньше того, что мог бы обеспечить комплекс НКМЗ с перегружателями без ЭШ. В связи с этим в расчетах учитывается возможное приращение затрат за счет применения производительности комплекса. Как показали ранее выполненные исследования [2] с изменением производительности на 100 тыс. м³/мес. в большую или меньшую сторону стоимость 1 м³ вскрыши изменяется на величину $\Delta C_{в} = \pm 0,5$ грн/м³.

Для всех вариантов сравниваемых технологических схем кроме I (базового) характерно, что без использования драглайнов ЭШ-10/70 для переэкскавации вскрыши будет меньшая заполняемость внешнего яруса отвала. Это вызвано тем, что высота верхней разгрузки пород перегружателями ПВП и ПГ ограничивается 12 м и отметки поверхности внешнего яруса отвала +150 (как в варианте I) нельзя достичь. В связи с этим при расчетах учитывались возможные затраты, связанные с необходимостью в будущем заполнять верхний ярус отвала до указанной выше отметки. Эти затраты ($\Delta Z_{в}$) принимались исходя из того, что доставка на отвал недостающих объемов вскрышных пород будет осуществляться автосамосвалами, которые работают на карьере «Юг» в комплексе с экскаваторами ЭКГ.

Фактическая стоимость 1 м³ вскрыши разрабатываемой ЭКГ и транспортируемой автосамосвалами на отвал в условиях карьеров № 7 «Юг» и «Север» по данным ВГМК составляют 5-7 грн/м³.

Таблица 2

Фактическая производительность экскаваторного парка горнотранспортного производства
ВГМК в 2009-2010 гг.

Наименование	2009 год			7 мес. 2010 год		
	факт. объ-ем гор-ной массы, тыс. м ³	чистое время ра-бо-ты, ч	факт. про-изводи-тельность, м ³ /ч	факт. объ-ем горной массы, тыс. м ³	чистое время ра-боты, ч	факт. про-изводи-тельность, м ³ /ч
ЭКГ-8И №28	744,6	2645,5	281,5	247,2	949,0	260,5
ЭКГ-8И №28	188,4	664,5	283,5	453,7	1615,0	280,9
ЭКГ-10 №30	838,9	2768,0	303,1	475,2	1622,0	293,0
ЭКГ-10 №31	897,8	2949,5	304,4	415,9	1471,0	282,7
ЭКГ-10 №32	830,1	2400,0	345,9	483,8	1496,5	323,3
ЭШ 6/45 №1	895,0	3602,5	248,4	483,4	2095,0	230,7
ЭШ 6/45 №2	835,8	2919,2	286,3	517,2	1946,5	265,7
ЭШ 6/45 №3	1201,7	4309,0	278,9	436,9	1856,0	235,4
ЭШ 10/50 №2	1379,0	4310,5	319,9	858,6	2701,0	317,9
ЭШ 10/50 №4	1471,7	4578,0	321,5	939,3	2794,0	336,2
ЭШ 10/50 №6	868,5	3548,0	244,8	634,7	2160,5	293,8
ЭШ 10/70 №3	689,8	2715,0	254,1	378,8	1898,5	199,5
ЭШ 10/70 №5	869,3	3537,0	245,8	427,0	1953,0	218,6
ЭШ 10/50 №7	916,2	3469,5	264,1	387,5	1434,0	270,2
Вскрышные комплексы						
НКМЗ	3297,0	1988,0	1658,5	2665,2	1304,0	2043,9
ТК-2	4169,5	2520,0	1654,6	2747,7	1901,5	1445,0

С учетом изложенных методических положений произведены расчеты по выбору рациональной технологии отвальных работ, результаты которых приведены в табл. 3. Как видно из приведенных результатов наиболее экономически эффективной является технологическая схема (вариант II), предусматривающая уменьшение объемов переэкскавации и возможное некоторое увеличение производительности комплекса НКМЗ, поскольку ЭШ-10/70 не будут ее ограничивать. Суммарные эксплуатационные затраты по этому варианту уменьшаются на 2,6 млн. грн, т.е. на 22% по сравнению с базовым вариантом I. В случае, если не учитывать затраты (ΔZ_Q) (или ущерб) от уменьшения производительности комплекса НКМЗ, а также затраты (ΔZ_B) (ущерб) от уменьшения заполняемости отвала для вариантов II-V, то наиболее эффективной будет технологическая схема по варианту III, предусматривающая применение драглайнов с внешней стороны отвального конвейера до 1-й его передвижки. Суммарные затраты по этому варианту уменьшаются по сравнению с базовым вариантом I в 1,92 раза. Следует, однако, отметить, что варианты II и IV (работает один ПВП-6600) также близки по своей эффективности к варианту III. Разница в затратах составляет в среднем 1,0 млн. грн, т.е. 19 %.

Таким образом, **основные результаты исследований** заключаются в следующем:

1. Разработаны возможные четыре альтернативные варианты технологических схем отвальных работ на период ремонта отвалообразователя ЗП-6600 и выполнена их технологическая оценка.
2. Проведена сравнительная технико-экономическая оценка возможных технологических схем отвальных работ на карьере «Юг».
3. Установлено, что наиболее экономически эффективной является технологическая схема (2 ЭШ-10/70 и перегружатели ПВП -6600 и ПГ -5000/60, при этом ЭШ применяется до передвижки конвейера, в начальный период, - вариант II), предусматривающая уменьшение объемов переэкскавации и возможное некоторое увеличение производительности комплекса НКМЗ, поскольку ЭШ-10/70 не будут ее ограничивать.
4. Суммарные эксплуатационные затраты по этому варианту уменьшаются на 2,6 млн. грн, т.е. на 22% по сравнению с базовым вариантом I.

Таблица 3

Расчетные технико-экономические показатели сравниваемых вариантов
технологических схем отвальных работ

Варианты технологических схем	Объем отсыпаемых пород, V_0 , тыс. м ³	Объем переэскавации, $V_{п.}$, тыс. м ³	Коэффициент переэскавации, $K_{п.}$	Шаг передвижки конвейера, $Ш_{п.}$, м	Число передвижек, $n_{п.}$	Производительность комплекса, $Q_{эр.}$, тыс. м ³ /мес.	Загр. на отсыпку пород, Z_0 , тыс. грн	Загр. на переэскавацию, $Z_{п.}$, тыс. грн	Загр. на передвижку, $Z_{п.к.}$, тыс. грн	Затраты связанные с		Суммарные затраты, тыс. грн	
										производительностью комплекса, (ΔZ_Q) , тыс. грн	отметки поверхности отвала, (ΔZ_B) , тыс. грн	ΣZ^*	ΣZ^{**}
I (базовый)	3100	2200	0,70	120	1	400	2480	6600	1119	1550	0	10200	11750
II	2677	549	0,23	60	2	450	2142	1631	2238	603	2538	6010	9152
III	2308	403	0,20	60	2	500	1850	1208	2238	0	4752	5296	10050
IV	2308	403	0,20	30	4	500	923	1208	4476	0	4752	6607	11360
V	2677	544	0,23	30	4	500	1070	1631	4476	0	2538	7180	9718

Примечание: * – суммарные затраты без учета ΔZ_Q и ΔZ_B ; ** – суммарные затраты с учетом ΔZ_Q и ΔZ_B .

5. В случае, если не учитывать затраты (ΔZ_Q) (или ущерб) от уменьшения производительности комплекса НКМЗ, а также затраты (ΔZ_B) (ущерб) от уменьшения заполняемости отвала, то наиболее эффективной будет технологическая схема по варианту III, предусматривающая применение двух перегружателей и драглайнов с внешней стороны отвального конвейера до 1-й его передвижки.

Список литературы

1. Собко Б.Е. Исследование технологии отвалообразования при отработке карьера «Юг» Малышевского месторождения россыпных титано-циркониевых руд / Б.Е. Собко, А.М. Маевский // Сборник научных трудов НГУ. - 2012. - № 37. - С. 140 – 148.
2. Разработать эффективные технологические схемы разработки Малышевского месторождения при условии изменения длины фронта горных работ: [отчет о НИР (заключительный)/ НГУ; рук. Б.Е. Собко]. – Днепропетровск, 2010. - 63 с. - № ГР 0110U004607.