

УДК 622.684.01

Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин

ОБОСНОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ПЕРЕХОДА НА НОВЫЕ МОДЕЛИ АВТОСАМОСВАЛОВ ПРИ ДОРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Рассмотрена методика расчета оптимальной глубины перехода с автосамосвалов Cat-777 (91 т) на автосамосвалы меньшей грузоподъемности БелАЗ -754831 (42 т) при доработке карьера «Н» АК «АЛРОСА». Методика включает обоснование рациональных параметров транспортных берм для автосамосвалов различной грузоподъемности, расчет дополнительного объема разноса бортов, выбор технологической схемы перехода, расчеты дисконтированных затрат по вариантам перехода.

Ключевые слова: глубокие карьеры, автосамосвалы, АК «АЛРОСА», вскрыша, горная масса.

Семинар № 16

**Lel Y.I., Ilbuldin D.H.
THE JUSTIFICATION OF THE
DEPTH OF PASSING TO NEW
MODELS OF DUMP TRUCKS DURING
DEEP OPEN-PIT MINING**

The technique of optimal depth defining for passing from Cat-777 (91 tonns) to the dump truckers of lower load-carrying ability, BelAZ -754831 (42 tonns) during finalization works at the open-pit "N" owned by the stock company "ALROSA" is reviewed. The technique includes the justification of rational parameters of transport berms for truck loaders of different load-carrying abilities; the calculation of additional volume of open-cut of edges, the choice of technological scheme for passing to different equipment, the discounted cash flow calculations for each variant of passing are given.

Key words: deep pits, dump trucks, joint stock company "ALROSA", waste, rock mass.

Современное состояние и развитие транспортных систем карьеров в перспективе свидетельствует о том, что автомобильный транспорт остается одним из основных видов карьерного транспорта, и 60—70 % горной массы с учетом вторичных

перевозок будет перевозиться автосамосвалами. Вместе с тем, существующая тенденция применения на глубоких карьерах мощных автосамосвалов большой грузоподъемности, позволяющих существенно снизить себестоимость автоперевозок и повысить производительность труда, осложняется необходимостью выемки дополнительных объемов вскрыши для размещения транспортных коммуникаций значительных параметров. Размещение вскрывающих выработок ведет к выполаживанию бортов карьеров по сравнению с их устойчивыми значениями.

Практика работы глубоких рудных и алмазодобывающих карьеров показала, что углы погашения бортов по конструктивным условиям, как правило, меньше их устойчивых значений [1]. Борты карьеров по условиям устойчивости чаще всего имеют выпуклый профиль, а по конструктивным условиям — вогнутый. Причиной последнего является увеличение удельного веса вскрывающих выработок в общей массе площадок и берм по ме-

Рекомендуемая ширина транспортных берм для автосамосвалов различной грузоподъемности в условиях карьера «Н» АК «АЛРОСА»

Отметки горизонтов, м	Ширина транспортной бермы $B_{т.б}$, м	
	Сат-777D	БелАЗ-75483 1
(+250) -(+140) (+140) -(+100) (+100)	29,2 26,8	25,3 23,4 21,6 19,8/16,3
-(+40) (+40) (-55)	25,5 24,3/18,2*	

* В числителе — для двухполосной дороги, в знаменателе — для однополосной.

ре увеличения глубины карьера вследствие уменьшения протяженности нижних уступов. Особенно это характерно для карьеров с небольшой длиной дна, в которых уменьшение протяженности уступов с глубиной идет особенно интенсивно.

В настоящий период этот вопрос весьма актуален для глубоких карьеров АК «АЛРОСА». Так, при разработке карьера «Н» до проектной глубины 305 м предусмотрено снижение коэффициента запаса устойчивости бортов с 1,5 до 1,2 с соответствующим увеличением углов откоса бортов и сокращением объемов вскрыши в конечных контурах. Основным препятствием в реализации этого технологического решения будет значительный разнос бортов от размещения транспортных берм ($B_{т.б} = 30$ м) крупногабаритных автосамосвалов Сат-777D (91 т), эксплуатация которых предусматривается проектом до конца разработки. В связи с этим был рассмотрен вопрос о возможности и экономической целесообразности перехода с определенной глубины карьера на автосамосвалы меньшей грузоподъемности — БелАЗ-754831 (42 т). При внедрении указанной модели автосамосвала ширину транспортных берм можно сократить на 4,7—10,2 м в зависимости от их расположения по глубине карьера. Доказано, что при использовании автосамосвалов БелАЗ-754831 на карьере «Н» рационально применение транспортных берм переменной ширины, которая в зависимости от интенсивности движения машин и объемов перевозок

будет варьироваться от 19,8 м на нижних горизонтах до 25,3 м на верхних (см. табл.).

В общем случае дополнительный разнос бортов ($V_{д}$, м³) от размещения вскрывающих выработок (съездов) можно определить по формуле

$$V_{д} = 0,5 H_{к}^2 B_{т.б} k_{р.тр} / i_{р} \quad (1)$$

где $H_{к}$ — глубина карьера (вскрытия), м; $B_{т.б}$ — ширина транспортной бермы (съезда), м; $k_{р.тр}$ — коэффициент развития трассы; $i_{р}$ — руководящий уклон съезда, доля ед.

В карьерах типа «Н» АК «АЛРОСА» необходимо учитывать кривизну борта, поскольку протяженность верхних горизонтов значительно больше протяженности нижних горизонтов и, соответственно, длина разноса верхних горизонтов значительно превышает длину съездов, расположенных под ними на нижних горизонтах. Чем больше кривизна борта, тем больше разница между длиной съезда и длиной разноса участков верхних горизонтов, расположенных над этим съездом. Аналитический метод учета кривизны бортов при определении дополнительного разноса от размещения транспортных коммуникаций детально изложен в трудах канд. техн. наук Г.Г. Саканцева [2]. Вместе с тем, аналитический метод хоть и является универсальным, но характеризуется большой трудоемкостью и низкой точностью. Современная вычислительная техника позволяет получить значения дополнительного разноса методом моделирования. При выполнении исследований была построена

объемная модель карьера в системе «AutoCAD» при использовании автосамосвалов Cat-777D (проектный вариант), рассчитаны объемы вскрыши в конечных контурах карьера и произведено сравнение этих объемов с проектными данными. После достижения удовлетворительной сходимости результатов была отстроена модель карьера с уменьшенной шириной транспортных берм при использовании автосамосвалов БелАЗ-754831. При этом объемы выемки песков и руды принимались равными как в проектном варианте, так и при использовании автосамосвалов БелАЗ-754831. Затем были рассчитаны общие объемы вскрыши в конечных контурах карьера и погоризонтные объемы и определена разница в объемах при использовании автосамосвалов различной грузоподъемности.

Установлено, что общее сокращение объемов вскрыши в конечных контурах при внедрении автосамосвалов БелАЗ-754831 составит 8,2 млн м³, т. е. 13,4 %. Разница в погоризонтных объемах вскрыши изменяется от 0—3 % на нижних горизонтах до 10,3—20,3 % на верхних и средних горизонтах.

При обосновании оптимальной глубины перехода на модель автосамосвала меньшей грузоподъемности рассматриваемые варианты не будут отличаться производительностью по руде и алмазосодержащим пескам, качеством продукции и периодом оптимизации. За период оптимизации следует принять оставшийся срок разработки карьера, с 2006 по 2018 гг., т. е. 13 лет. Различия будут наблюдаться в затратах на автотранспорт, в текущих и общих объемах вскрышных работ и, соответственно, в затратах на выемку вскрыши, в капитальных вложениях и в динамике данных показателей. Поэтому в качестве основ-

ного критерия можно использовать сумму дисконтированных (приведенных) эксплуатационных затрат на автотранспорт и выемку вскрыши и капитальных вложений на автотранспорт за рассматриваемый период (13 лет). Оптимальной глубине перехода на новую модель автосамосвала будет соответствовать минимум данного критерия. Этот показатель должен быть меньше суммы дисконтированных затрат, соответствующей проектному (базовому) варианту, предусматривающему разработку карьера автосамосвалами Cat-777D до конечной глубины.

К основным особенностям разработанной методики следует отнести дифференцированный учет влияния горнотехнических условий (глубины карьера, высоты подъема горной массы, расстояния транспортирования) на технологические показатели автотранспорта и себестоимость вскрышных работ. Эффективность перехода на новую модель автосамосвала в значительной степени определяется технологической схемой перехода. Рассмотрены три возможные технологические схемы (рис. 1).

При **схеме А** нерабочий борт карьера формируется под углом γ_1 соответствующим грузоподъемности автосамосвала q_1 . Положение нерабочего борта на конец разработки соответствует линии АБО. При достижении глубины карьера H_n мы принимаем решение о переходе на новую модель ($q_2 < q_1$). Новое положение нерабочего борта АБСО будет соответствовать углу погашения γ_2 ($\gamma_2 < \gamma_1$). Образуется переходная зона ВС высотой h_n , которая представляет выложенный участок нерабочего борта.

Схема имеет недостаток, заключающийся в том, что объемы вскрыши, которые можно сократить при переходе на автосамосвалы меньшей грузоподъ-

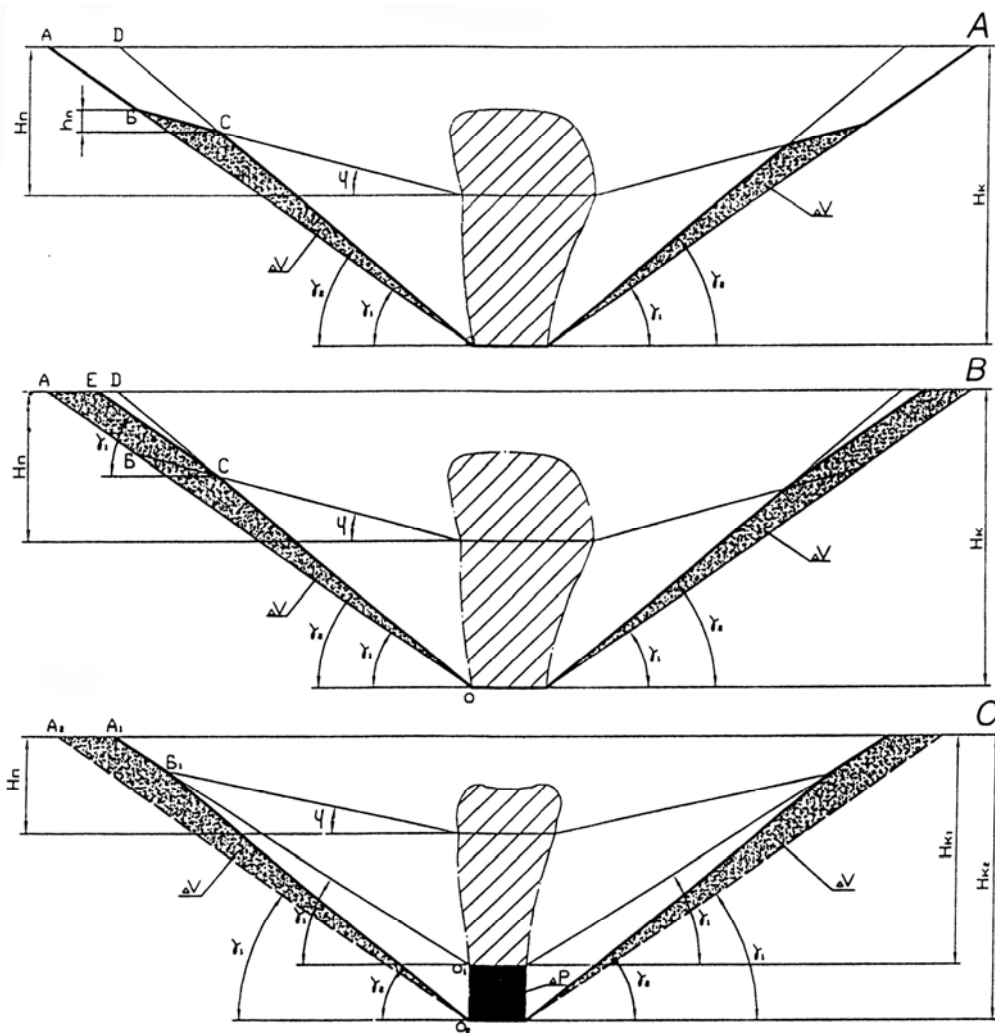


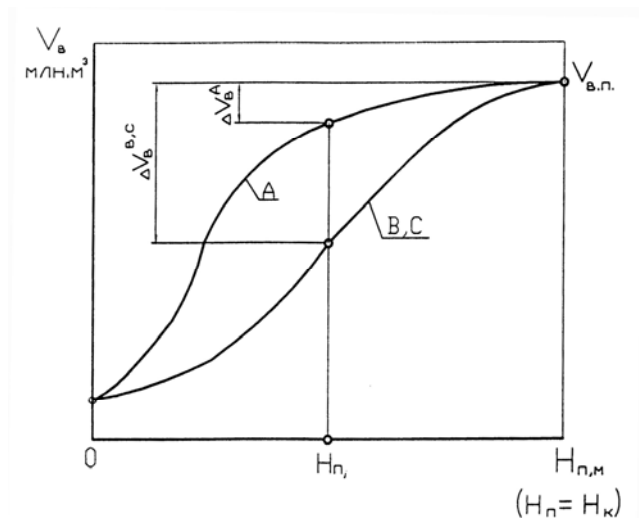
Рис. 1. Технологические схемы перехода на новую модель автосамосвала: H_k — конечная (проектная) глубина карьера; γ_2, γ_1 — угол откоса нерабочего борта соответственно при использовании автосамосвалов грузоподъемностью q_1 и q_2 ($q_1 > q_2$); H_n — глубина перехода на новую модель автосамосвала грузоподъемностью q_2 ; h_n — высота переходной зоны; φ — угол откоса рабочего борта; ΔV — сокращение объема разноса бортов карьера от размещения транспортных коммуникаций; ΔP — дополнительный объем добычи полезного ископаемого при переходе на новую модель автосамосвала грузоподъемностью q_2 .

емности q_2 , резко падают с увеличением глубины перехода (рис. 2).

К достоинствам схемы можно отнести простоту ее реализации на практике, возможность принятия решения о переходе в любой период разработки карьера, а также возможность организации

внутреннего отвалообразования в переходной зоне при вывозке вскрышных пород с глубоких горизонтов.

В переходной зоне можно организовать перегрузку горной массы в автосамосвалы большей грузоподъемности q_1 и, тем самым, повысить



эффективность транспортного процесса.

При **схеме В** отсутствует переходная зона. Нерабочий борт формируется по линии ЕСО, причем верхняя часть нерабочего борта ЕС отстраивается под углом γ_1 , соответствующим грузоподъемности автосамосвала q_1 , а нижняя часть СО под углом γ_2 , соответствующим грузоподъемности автосамосвала q_2 ($q_2 < q_1$; $\gamma_2 > \gamma_1$). К достоинствам схемы можно отнести то, что с глубиной карьера (глубиной перехода на новую модель автосамосвала) сокращаемые объемы вскрыши падают медленно, что позволяет получать ощутимый эффект даже при значительной глубине перехода (см. рис. 2).

К недостаткам технологической схемы следует отнести ограниченность ее применения стадией проектирования или первоначальной стадией разработки, когда нерабочие

борта карьера не вышли на предельный контур.

Схема С позволяет увеличить конечную глубину карьера и получить дополнительную прибыль от реализации полезного ископаемого ΔP . При расчетах ее можно свести к схеме В,

рассматривая эффективность перехода на новую модель автосамосвала при разработке карьера глубиной. Условием применения схемы является наличие

разведанных запасов полезного ископаемого на глубине, превышающей проектную глубину карьера $H_{к1}$.

На карьере «Н» АК «АЛРОСА» по согласованию с руководством предприятия к детальной оценке была принята технологическая схема А, как наиболее реализуемая к текущему времени. К концу 2006 г. горные работы на верхних горизонтах достигают предельного контура, в связи с чем реализовать технологическую схему В в полном объеме не представляется возможным.

К рассмотрению схемы С можно вернуться после уточнения запасов полезного ископаемого и решения вопроса о целесообразности перехода на подземную разработку.

Критерий выбора оптимальной глубины перехода можно записать следующим образом [3]

$$Z = \sum_{t=0}^T (\Delta_t + K_t) \frac{1}{(1+E)^t} \rightarrow \min, \quad (2)$$

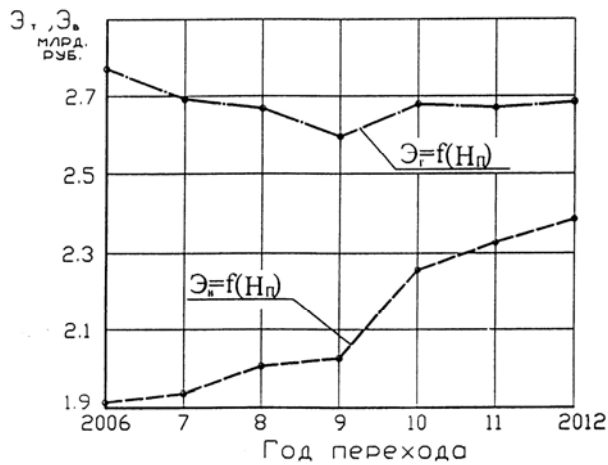


Рис. 3. Зависимость дисконтированных эксплуатационных затрат на выемку вскрыши ($\mathcal{E}_в$) и автомобильный транспорт ($\mathcal{E}_т$) от года (глубины) перехода на автосамосвалы БелАЗ-754831

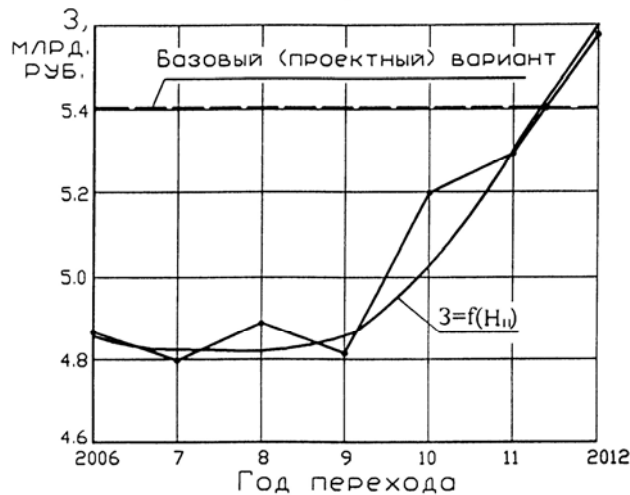


Рис. 4. Зависимость суммарных дисконтированных эксплуатационных затрат на разработку (Z) от года (глубины) перехода на автосамосвалы БелАЗ-754831

глубине перехода по схеме А; — сокращение объема вскрыши при глубине перехода по схемам В, С; H_k — конечная глубина карьера

где Z — сумма приведенных затрат за период оптимизации млн. руб.; T — горизонт расчета (длительность оцениваемого периода), лет. В нашем случае $T = 13$ лет, т. е. рассматривается период с 2006 г. до конца разработки карьера (2018 г.)

$$T = t_3 - t_n \quad (3)$$

где t_3 — год, в котором осуществляются затраты; t_n — год, к которому приводятся затраты (в нашем случае 2006 г.); \mathcal{E}_t — эксплуатационные затраты по варианту на t -ом шаге рас-

чета, млн. руб.; K_t — капитальные затраты на t -ом шаге расчета, млн. руб.; E — норма дисконта, доля ед. Согласно рекомендациям экономистов принимаем $E = 0,11$.

Эксплуатационные затраты на выемку вскрыши при увеличении от глубины перехода на новую модель автосамосвала растут, причем темп роста определяется технологической схемой перехода (рис. 3).

Более сложную динамику имеют эксплуатационные затраты на транспортирование горной массы автосамосвалами. С увеличением глубины перехода они могут снижаться, т. к. увеличивается доля грузооборота, приходящаяся на автосамосвалы большой грузоподъемности (Cat-777D), имеющие более низкую себестоимость транспортирования горной массы. С другой стороны, они имеют тенденцию к увеличению, т. к. с ростом глубины карьера увеличиваются объемы выемки и

транспортирования вскрыши. Поэтому чаще всего зависимость эксплуатационных затрат на транспортирование горной массы от глубины перехода имеет экстремальный характер (см. рис. 3).

В результате расчетов установлено, что зависимость суммарных дисконтированных затрат от глубины перехода на автосамосвалы БелАЗ-754831 имеет характер близкий к экстремальному (рис. 4). Оптимальная область перехода (наиболее низкие затраты) соответствует глубинам перехода 150—165 м (2007—2009 гг.). В этой области суммарные дисконтированные затраты на 9,5—11,2 % меньше затрат базового (проектного) варианта с автосамосвалами Cat-777D, что в денежном выражении составляет 515—607 млн. руб. Эффективность перехода резко снижается с увеличением глубины карьера. Так, при глубине перехода 180 м (2010 г.)

разница в затратах с базовым вариантом сокращается до 3,8 %, а при глубине 210 м (2011 г.) — до 2,05 %, что находится в пределах точности расчетов.

Оптимальной областью перехода можно считать глубину 150—165 м (2007—2009 гг.). Наиболее приемлемым является переход на автосамосвалы БелАЗ-754831 в 2009 г. ($H_n = 165$ м), так как к этому времени существующий парк автосамосвалов Cat-777D выработает нормативный срок эксплуатации и встанет вопрос о техническом перевооружении автопарка.

Основные положения разработанной методики можно использовать при обосновании глубины перехода на повышенные уклоны автотранспортных коммуникаций, на применение специализированных автосамосвалов и для решения других технико-экономических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зотеев В. Г.* Основные проблемы формирования предельных контуров карьеров в скальных породах //Сб. науч. тр. ИГД МЧМ СССР. Свердловск, 1987. Вып. 83. С. 8—15.

2. *Саканцев Г. Г.* Исследование возможности и условий применения крутых ук

лонов вскрывающих выработок на глубоких карьерах //Известия УГГУ. Вып. 21. Серия: Горное дело. 2005. С. 37—44.

3. *Смирнов В. П., Лель Ю. И.* Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с. **ГИАН**

Коротко об авторах

Лель Ю.И. - профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета (УГГУ), RMOS.dep@ursmu.ru

Ильбульдин Д.Х. — зав. лабораторией нормативов и экономики горного оборудования института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», lbuldin@vna.alrosa-mir.ru

