

## ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.3.06:658.527“75”

### ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГОРНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ

**В. Л. Яковлев, Г. Д. Кармаев, В. А. Берсенев,  
А. В. Глебов, А. В. Семенкин, И. Г. Сумина**

*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: glebov@igduran.ru,  
ул. Мамина-Сибиряка 58, 620219, г. Екатеринбург, Россия*

Изложены краткие сведения по развитию циклично-поточной технологии с автомобильно-конвейерным транспортом при открытой разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Приведен анализ влияния объемов перевозки горной массы и глубины расположения дробильно-перегрузочных пунктов в карьере на расход материальных и энергетических ресурсов. Исследовано изменение удельных капитальных и эксплуатационных затрат на транспортирование руды и крепких вскрышных пород при различных расстояниях между дробильно-перегрузочным пунктом в карьере и приемными пунктами горной массы на поверхности. Проведена оценка эффективности применения автомобильно-конвейерного транспорта в комплексах циклично-поточной технологии. На примере глубокозалегающих залежей с большими пространственными размерами обосновано местоположение дробильно-конвейерных комплексов в карьере с большими пространственными размерами.

*Циклично-поточная технология, дробильно-конвейерный комплекс, автомобильно-конвейерный транспорт, дробильно-перегрузочный пункт, удельные затраты*

Циклично-поточная технология (ЦПТ) — перспективное направление разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых, предусматривающее использование для перемещения горной массы комбинации с конвейерным автомобильного и железнодорожного видов транспорта. В мире преимущественное применение на карьерах получил комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт, имеющий возможность наиболее полно адаптироваться к условиям разработки глубоких горизонтов карьера. ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом впервые использована на железорудных карьерах США в конце 30-х годов прошлого столетия. Более широко такая технология за рубежом начала распространяться после 40-х годов. В развитии автомобильно-конвейерного транспорта на зарубежных карьерах выделены два этапа: 1945 – 1960 и 1961 – 1970 гг. [1]. Особенности этих этапов характеризуются объемами перевозок, конструктивным исполнением и параметрами оборудования дробильно-конвейерных комплексов, сборочного автотранспорта и выемочно-погрузочного звена.

Развитие циклично-поточной технологии после 1970 г. связано с совершенствованием технологических схем ЦПТ, созданием и применением модернизированного оборудования с параметрами, обеспечивающими перемещение больших объемов горной массы, сокращением рас-

стояния транспортирования горной массы автосамосвалами путем создания передвижных дробильно-перегрузочных установок (ДПУ) и применения крутонаклонных конвейерных установок, хорошо адаптирующихся в изменяющемся карьерном пространстве [2].

Некоторые особенности развития и совершенствования комплексов ЦПТ на отечественных и зарубежных карьерах приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Тенденции развития циклично-поточной технологии на карьерах

Период, год	Объем перевозок, млн т (вид п. и.)	Расстояние транспортирования, км		Оборудование
		сборочным транспортом	конвейерным транспортом	
1945–1960	4–5 (медная и железная руды)	0.3–1 (иногда до 3)	0.3–3 (максимальное 12)	Экскаваторы с вместимостью ковша 3–4 м <sup>3</sup> ; автосамосвалы грузоподъемностью 20–34 т (редко 40–45 т); щековые дробилки с приемным отверстием 1000×1200, 1200×1500, 1524×2183 мм, ленточные конвейеры с шириной ленты 760 и 914 мм со скоростью движения до 3 м/с
1961–1970	До 20–25 (медная и железная руды)	0.4–2 (иногда до 3)	0.4–3.8 (максимальное 15.4)	Экскаваторы с вместимостью ковша 11, 19, 23 м <sup>3</sup> ; автосамосвалы грузоподъемностью 65–85 т (иногда 110–120 т); конусные дробилки с шириной приемного отверстия 1372–1524 мм; ленточные конвейеры с шириной ленты 814–1524 мм (преимущественно 1200, 1372, 1524 мм) со скоростью движения 2–4 м/с
1971–2000	До 22–36 (медная, железная руды, скальные вскрышные породы)	1.2–2.5	1.5–3	Экскаваторы с вместимостью ковша 8, 19, 23 м <sup>3</sup> ; автосамосвалы грузоподъемностью 75–110, 120–138 т; конусные дробилки с шириной приемного отверстия 1370–1524 мм (до 2769 мм); щековые дробилки с приемным отверстием 1500×2100 мм; передвижные дробильно-перегрузочные установки; ленточные конвейеры с шириной ленты 1600–2000 мм со скоростью движения до 4–5 м/с; крутонаклонные ленточные конвейеры с лентой шириной 2000 мм
После 2000	ЦПТ получила широкое распространение. Введены в эксплуатацию комплексы ЦПТ: для перемещения скальных вскрышных пород; с передвижными ДПУ; с крутонаклонным двухконтурным конвейером, поднимающим руду из карьера под углом 37° на высоту 270 м. Основные направления развития ЦПТ сохраняются			

ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом применяется в различных климатических условиях в США, Канаде, Мексике, Чили, Перу, Либерии, Австралии, России, Украине, Узбекистане. Использование этой технологии в СССР впервые осуществлено в начале 1960-х годов на небольших флюсовых, а позднее на мощных рудных карьерах.

На отечественных карьерах ЦПТ не получила широкого применения, в том числе по той причине, что в проектах разработки, в частности железорудных месторождений, разрабатываемых карьерами большой глубины, практически единственным видом транспорта на первых этапах был железнодорожный транспорт. По мере роста глубины карьеров для вскрытия и подготовки новых горизонтов, доставки горной массы до пунктов перегрузки на железнодорожный транспорт стал применяться автомобильный транспорт.

В 70-е годы прошлого столетия железнодорожный транспорт в своем развитии отстал от темпов понижения горных работ и высота подъема горной массы автосамосвалами достигла 150–200 м, что значительно выше оптимальных 60–80 м в схемах комбинированного транс-

порта [3]. Поэтому применение ЦПТ следует предусматривать в проектах с начала эксплуатации месторождения, или на более поздних периодах, но заранее планировать переходный процесс в развитии транспортной системы карьера.

Широкое распространение ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом получила в связи с возможностью существенного снижения расхода материальных, энергетических и финансовых ресурсов при разработке глубоких карьеров. В качестве примера рассмотрим вариант применения ЦПТ для условий одного из глубокозалегающих месторождений, разработка которого в два этапа предполагается с самого начала добычи полезного ископаемого [4].

На первом этапе дробильно-перегрузочный пункт (ДПП) располагают во внешней траншее карьера на глубине 15 м вблизи его конечного контура (рис. 1а). Среднее расстояние транспортирования горной массы сборочным автотранспортом из карьера до ДПП составляет 2 км, а конвейерной линией от ДПП до приемного пункта на поверхности — 1.1 км. На втором этапе ДПП перемещают по глубине карьера на 90 м (рис. 1б). Среднее расстояние транспортирования сборочным автотранспортом в карьере остается равным 2 км, а конвейерная линия удлиняется подъемным конвейером на 0.35 км.

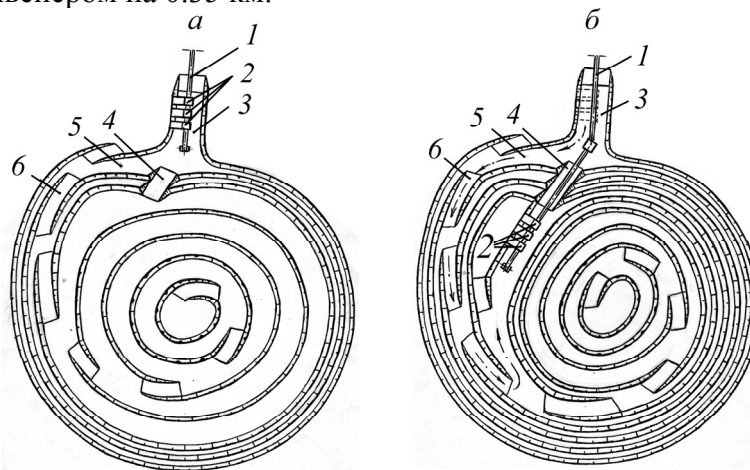


Рис. 1. Разработка месторождения твердых полезных ископаемых по циклично-поточной технологии с первоначальным расположением ДПП во внешней траншее (а) и после переноса ДПП в карьер (б): 1 — конвейерная линия; 2 — ДПП; 3 — внешняя траншея; 4 — конвейерная полутраншея; 5 — транспортная коммуникация, связывающая внешнюю траншею и капитальный съезд; 6 — капитальный съезд

При использовании только автомобильного транспорта среднее расстояние транспортирования горной массы от забоя до приемного пункта на поверхности составит 4.5 и 6.5 км соответственно. Сравнительные показатели автомобильного и автомобильно-конвейерного транспорта для указанных вариантов, приведенные в табл. 2 и 3, свидетельствуют о возможности существенного снижения материальных и энергетических ресурсов за счет использования автомобильно-конвейерного транспорта с понижением горных работ. При этом значительное влияние на ресурсосбережение оказывает годовой объем перевозок горной массы. С повышением годовой производительности ЦПТ преимущество автомобильно-конвейерных комплексов увеличивается при расположении ДПП во внешней карьерной траншее. Автомобильно-конвейерный транспорт при почти равных показателях обоих видов транспорта по металлоемкости позволяет существенно (в 1.5–1.8 раза) снизить потребление энергоресурсов. С увеличением высоты подъема горной массы конвейерным транспортом (ДПП размещен в карьере на глубине 90 м) автомобильно-конвейерный транспорт становится экономичнее автомобильного как по металлоемкости (в 1.2–1.4 раза), так и по необходимому энергопотреблению (более 2 раз).

ТАБЛИЦА 2. Сравнительные показатели автомобильного и автомобильно-конвейерного транспорта

Объем перевозок, млн т /год	Грузоподъемность автосамосвала, т	Глубина расположения ДПП, м	Расстояние транспортирования, км		Количество автосамосвалов, ед.		Относительная металлоемкость оборудования		Относительная требуемая энергонасыщенность оборудования	
			1	2	1	2	1	2	1	2
5	40	<u>15</u> 90	<u>4.5</u>	<u>2+1.1*</u>	<u>17</u>	<u>7</u>	<u>0.85</u>	<u>1</u>	<u>1.88</u>	<u>1</u>
			6.5	2+1.45	23	7	1.14	1.16	2.54	1.12
10	40	<u>15</u> 90	<u>4.5</u>	<u>2+1.1</u>	<u>35</u>	<u>13</u>	<u>1.64</u>	<u>1.68</u>	<u>3.65</u>	<u>2.05</u>
			6.5	2+1.45	47	14	2.29	1.89	5.09	2.27
15	75	<u>15</u> 90	<u>4.5</u>	<u>2+1.1</u>	<u>31</u>	<u>13</u>	<u>2.37</u>	<u>2.52</u>	<u>4.98</u>	<u>3.24</u>
			6.5	2+1.45	41	13	3.64	2.87	7.66	3.6
20	75	<u>15</u> 90	<u>4.5</u>	<u>2+1.1</u>	<u>41</u>	<u>17</u>	<u>3.09</u>	<u>3.11</u>	<u>6.51</u>	<u>4.28</u>
			6.5	2+1.45	55	18	4.83	3.39	10.2	4.73

Примечание. 1, 2 — показатели автомобильного и автомобильно-конвейерного транспорта соответственно;  
\*первое слагаемое — расстояние транспортирования сборочным автотранспортом, второе — конвейерным;  
в числителе показатели 1-го этапа, в знаменателе — 2-го этапа

Снижение расхода материальных ресурсов отражается и на стоимости транспортирования горной массы. Это можно оценить по данным табл. 3, содержащей относительные затраты при перевозке горной массы автомобильным и автомобильно-конвейерным транспортом. Более наглядно эти данные представлены на рис. 2, где показано отношение капитальных и эксплуатационных затрат на автотранспорт к одноименным затратам на автомобильно-конвейерный транспорт.

ТАБЛИЦА 3. Относительные затраты на транспортирование горной массы

Объем перевозок, млн т /год	Относительные затраты, %			
	капитальные		эксплуатационные	
	автомобильный транспорт	автомобильно-конвейерный транспорт	автомобильный транспорт	автомобильно-конвейерный транспорт
5	<u>79.7</u>	<u>100</u>	<u>56.5</u>	<u>46.9</u>
	108.3	116	76.4	49.4
10	<u>169.7</u>	<u>171.2</u>	<u>116.3</u>	<u>73.1</u>
	221.2	207.9	156.3	89.9
15	<u>368.9</u>	<u>311.3</u>	<u>348.3</u>	<u>188.0</u>
	487.8	360.6	460.6	203.3
20	<u>487.8</u>	<u>362.8</u>	<u>460.6</u>	<u>234.6</u>
	642.5	423.2	606.8	262.9

Примечание. В числителе показатели 1-го этапа, в знаменателе — 2-го этапа

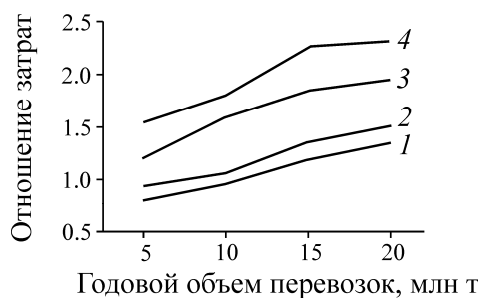


Рис. 2. Отношение капитальных (1, 2) и эксплуатационных (3, 4) затрат на автотранспорт к одноименным затратам на автомобильно-конвейерный транспорт в зависимости от годового объема перевозок: 1, 3 — 1-й этап; 2, 4 — 2-й этап

Очевидно, что эксплуатационные расходы на автомобильно-конвейерный транспорт для рассматриваемых условий всегда ниже этого показателя при автомобильном транспорте (в 1.2–2.3 раза при годовых объемах перевозок 5–20 млн т). Что касается капитальных затрат, то их равенство в обоих видах транспорта наступает при годовом объеме перевозок 10.5–11 млн т (1-й этап) и 6.5–7 млн т (2-й этап). При меньших объемах перевозок капитальные затраты будут меньше при использовании автомобильного транспорта. С повышением годовой производительности до 15 млн т и более капитальные затраты на автомобильный транспорт относительно автомобильно-конвейерного возрастают в 1.5 раза. Следует отметить, что за счет меньших эксплуатационных затрат на автомобильно-конвейерный транспорт разница в капитальных затратах по вариантам окупается достаточно быстро: через 1.5–2 года — с годовым объемом перевозок 5 млн т при расположении ДПП во внешней траншее карьера; через 0.3–0.5 года — при расположении ДПП в карьере на глубине 90 м.

Известно, что себестоимость транспортирования горной массы автосамосвалами на карьерах с увеличением срока их эксплуатации повышается в связи с ежегодным снижением их производительности (в среднем на 8–10%) и влиянием других факторов [5]. Интенсивность ее роста у автосамосвалов значительно выше, чем у конвейерного транспорта. С учетом этого ожидаемый срок окупаемости разницы в капитальных затратах в рассматриваемых условиях будет существенно ниже.

Выполненные исследования показали, что значительное влияние на технико-экономические показатели применения ЦПТ на открытых горных работах имеет годовой объем перевозок горной массы и глубина расположения ДПП в карьере. В определенных условиях они могут быть ограничивающими факторами применения ЦПТ при разработке месторождений полезных ископаемых. Другими важными факторами, влияющими на эффективность ЦПТ и момент ее ввода на карьерах, являются тип горных пород (руда или скальная вскрыша) и расположение приемных пунктов на поверхности, что вместе с высотой подъема горной массы определяет расстояние ее транспортирования конвейерным и автомобильным транспортом.

На эффективность применения ЦПТ влияет тип горных пород. Транспортирование горных пород возможно традиционными ленточными конвейерами с максимальным размером куска не более 300–500 мм. Это вызывает необходимость их механического дробления в дробильных установках.

Расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами в карьере определяется средневзвешенной высотой ее подъема с рабочих горизонтов и протяженностью автомобильных дорог от капитального съезда до экскаваторных забоев. Анализ конвейерных и автомобильных трасс на поверхности в условиях действующих карьеров, использующих ЦПТ, показал, что соотношение их протяженности составляет 1 : 1.5 и 1 : 2.5, т. е. расстояние транспортирования автотранспортом в 1.5–2.5 раза превышает длину конвейерных линий. Учитывая длину конвейерной линии до приемного пункта горной массы на поверхности, можно с некоторой погрешностью найти эквивалентное расстояние транспортирования автосамосвалами.

Влияние этих факторов на транспортные расходы оценено по результатам технико-экономического сравнения для упомянутых вариантов расположения ДПП и различных годовых объемов перевозок горной массы.

Протяженность конвейерных линий от ДПП, расположенного во внешней траншее карьера, до приемного пункта горной массы на поверхности принималось равным 0.5, 1, 1.5, 2 км (с приращением 0.35 км в варианте внутрикарьерного размещения ДПП). Расстояние доставки горной массы из забоев до ДПП сборочным автомобильным транспортом принято равным 2 км. Эквивалентное расстояние доставки горной массы автомобильным транспортом до приемного пункта на поверхности определено в соответствии с местом размещения ДПП: в первом случае оно составляло 2.8, 3.65, 4.3, 5.2 км, во втором — 4.8, 5.65, 6.3, 7.2 км.

ТАБЛИЦА 4. Соотношение затрат на перевозку горной массы автомобильно-конвейерным и автомобильным транспортом

Показатель	Годовой объем перевозок, млн т															
	5				10				15				20			
	$\frac{0.5}{0.85}$	$\frac{1}{1.35}$	$\frac{1.5}{1.85}$	$\frac{2}{2.35}$	$\frac{0.5}{0.85}$	$\frac{1}{1.35}$	$\frac{1.5}{1.85}$	$\frac{2}{2.35}$	$\frac{0.5}{0.85}$	$\frac{1}{1.35}$	$\frac{1.5}{1.85}$	$\frac{2}{2.35}$	$\frac{0.5}{0.85}$	$\frac{1}{1.35}$	$\frac{1.5}{1.85}$	$\frac{2}{2.35}$
Протяженность конвейерной линии, км																
Отношение капитальных затрат при перевозке: руды	$\frac{0.807}{0.666}$	$\frac{0.853}{0.729}$	$\frac{0.922}{0.769}$	$\frac{0.936}{0.793}$	$\frac{0.843}{0.642}$	$\frac{0.773}{0.645}$	$\frac{0.776}{0.646}$	$\frac{0.76}{0.653}$	$\frac{0.775}{0.574}$	$\frac{0.736}{0.551}$	$\frac{0.73}{0.556}$	$\frac{0.639}{0.55}$	$\frac{0.745}{0.544}$	$\frac{0.703}{0.524}$	$\frac{0.672}{0.529}$	$\frac{0.583}{0.507}$
	$\frac{1.19}{0.882}$	$\frac{1.194}{0.944}$	$\frac{1.226}{0.97}$	$\frac{1.224}{0.979}$	$\frac{1.224}{0.884}$	$\frac{1.134}{0.861}$	$\frac{1.1}{0.84}$	$\frac{1.03}{0.833}$	$\frac{1.092}{0.72}$	$\frac{0.99}{0.675}$	$\frac{0.96}{0.672}$	$\frac{0.79}{0.656}$	$\frac{0.97}{0.648}$	$\frac{0.89}{0.612}$	$\frac{0.83}{0.604}$	$\frac{0.7}{0.579}$
Отношение эксплуатационных затрат при перевозке: руды	$\frac{0.66}{0.522}$	$\frac{0.633}{0.552}$	$\frac{0.693}{0.564}$	$\frac{0.68}{0.564}$	$\frac{0.662}{0.514}$	$\frac{0.629}{0.5}$	$\frac{0.609}{0.489}$	$\frac{0.582}{0.486}$	$\frac{0.661}{0.451}$	$\frac{0.594}{0.414}$	$\frac{0.566}{0.406}$	$\frac{0.46}{0.39}$	$\frac{0.676}{0.444}$	$\frac{0.606}{0.396}$	$\frac{0.553}{0.4}$	$\frac{0.423}{0.376}$
	$\frac{0.75}{0.569}$	$\frac{0.7}{0.598}$	$\frac{0.762}{0.605}$	$\frac{0.738}{0.6}$	$\frac{0.766}{0.569}$	$\frac{0.712}{0.547}$	$\frac{0.681}{0.513}$	$\frac{0.64}{0.523}$	$\frac{0.718}{0.475}$	$\frac{0.637}{0.434}$	$\frac{0.603}{0.424}$	$\frac{0.483}{0.406}$	$\frac{0.72}{0.462}$	$\frac{0.64}{0.425}$	$\frac{0.58}{0.413}$	$\frac{0.48}{0.387}$

Примечание. В числителе — показатели при размещении ДПП во внешней траншее, в знаменателе — ДПП в карьере

Расчетные показатели для рассматриваемых условий в виде отношения капитальных и эксплуатационных затрат в варианте с автомобильно-конвейерным транспортом горной массы к одноименным затратам при автомобильном транспорте, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о том, что наиболее экономичен для принятых исходных данных автомобильно-конвейерный транспорт. При этом в зависимости от годового объема перевозок и удаленности ДПП от приемного пункта руды на поверхности капитальные затраты на автомобильный транспорт превышают затраты на автомобильно-конвейерный транспорт в 1.1–1.7 раза при размещении ДПП во внешней траншее карьера и в 1.4–2 раза при размещении ДПП в карьере на глубине 90 м, эксплуатационные расходы соответственно выше в 1.5–2.3 и 1.9–2.6 раза.

Установлено, что при эксплуатации карьеров со скальными горными породами доля транспорта в себестоимости добычи руды достигает 40–50 %, в связи с чем проблема снижения транспортных расходов при перемещении горной массы имеет весьма важное значение. Это особенно проявляется на карьерах с небольшим объемом вскрышных работ.

Показатели разработки скальных вскрышных пород комплексами ЦПТ в рассматриваемых условиях характеризуются некоторыми особенностями. Эксплуатационные расходы на автомобильно-конвейерный транспорт вскрышных пород оказались во всех случаях меньше, чем на автомобильный транспорт. Капитальные затраты на автомобильно-конвейерный транспорт также оказались меньше при размещении ДПП в карьере на глубине 90 м. При расположении ДПП во внешней траншее карьера капитальные затраты на автомобильно-конвейерный транспорт становятся меньше затрат на автомобильный транспорт при годовом объеме перевозок 15 млн т и более и удаленности приемных пунктов горной массы на поверхности от ДПП не менее 1–1.5 км. Характер изменения капитальных затрат показан на рис. 3.

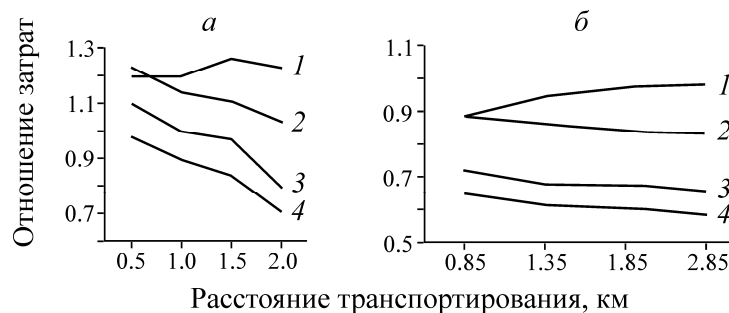


Рис. 3. Отношение капитальных затрат на автомобильно-конвейерный транспорт к капитальным затратам на автомобильный транспорт в зависимости от расстояния между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности при годовых объемах перевозок 5, 10, 15, 20 млн т (соответственно линии 1, 2, 3, 4): *a* — ДПП установлен во внешней траншее карьера; *б* — ДПП в карьере на глубине 90 м

Влияние на транспортные расходы расстояния между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности определено по результатам анализа удельных капитальных и эксплуатационных затрат и носит прямолинейный характер (рис. 4). Затраты рассчитаны при годовом объеме перевозок 5 и 20 млн т и размещении ДПП во внешней траншее карьера (вверху на рисунке) и на глубине 90 м (внизу на рисунке).

Следует отметить, что в варианте размещения ДПП в карьере интенсивность повышения затрат на автомобильный транспорт с увеличением расстояния между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности больше, чем на автомобильно-конвейерный транспорт. Это обусловлено расстоянием транспортирования автосамосвалами горной массы на подъем, которое значительно больше при автомобильном, чем при автомобильно-конвейерном транспорте.

В связи с большей интенсивностью роста затрат на автомобильный транспорт разница в капитальных и эксплуатационных затратах между автомобильным и автомобильно-конвейерным транспортом повышается с увеличением расстояния между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности. Это свидетельствует о повышении эффективности использования ЦПТ с ростом глубины ее ввода в карьер.

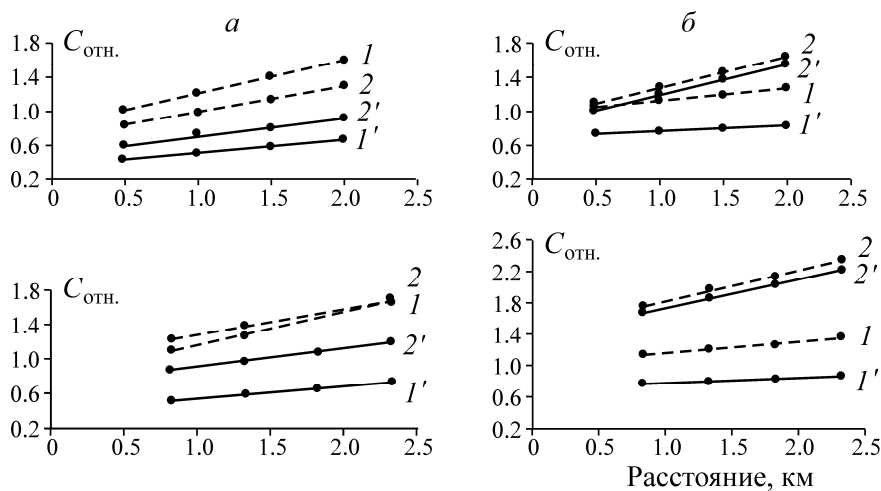


Рис. 4. Относительные удельные ( $C_{отн.}$ ) капитальные затраты (-----) и эксплуатационные расходы (—) на автомобильно-конвейерный (1 и 1') и автомобильный (2 и 2') транспорт в зависимости от расстояния между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности при годовой производительности, млн т: а — 5 и б — 20

Анализ изменения удельных капитальных затрат и эксплуатационных расходов позволяет установить области эффективного использования автомобильно-конвейерного и автомобильного транспорта, что в первую очередь представляет интерес при перевозке вскрышных пород. Сравнение эффективности применения какого-либо транспорта следует проводить по сумме этих затрат. Область преимущественного применения видов транспорта разделяет линия равных затрат в осях координат: годовая производительность  $Q$ , расстояние транспортирования  $L$ . В рассматриваемых условиях при перемещении вскрышных пород в случае расположения ДПП во внешней траншее карьера линия равных затрат имеет следующие координаты: при  $Q = 5.8$  млн т —  $L = 2$  км, при  $Q = 10.8$  млн т —  $L = 0.5$  км, при  $Q = 8.9$  млн т —  $L = 1$  км (рис. 5).

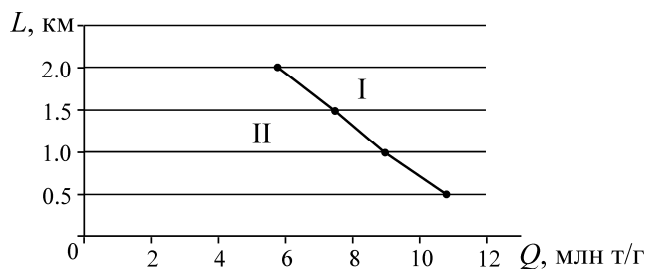


Рис. 5. Область предпочтительного применения автомобильно-конвейерного (I) и автомобильного (II) транспорта при перемещении вскрышных пород

Эффективное применение автомобильно-конвейерного транспорта в комплексах ЦПТ возможно в сочетании с рациональными технологическими решениями и высокопроизводительным горно-транспортным оборудованием. Это, в первую очередь, формирование карьерного пространства, позволяющего размещать оборудование комплексов ЦПТ в карьере с ми-



нимальными объемами горно-капитальных работ, что предполагает использование рациональных способов разработки месторождений с помощью ЦПТ с момента ее ввода и до консервации карьера. Далее приведен один из инновационных способов разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых с большими пространственными размерами и продолжительным сроком его эксплуатации.

Предлагаемый способ заключается в следующем (рис. 6). Из забоев полезное ископаемое по рабочей зоне 1 и нерабочему борту 2 карьера по капитальному съезду 3 автосамосвалами 6 доставляется на приемную эстакаду 5 (на площадке 4), оборудованную бункерами с пластинчатыми питателями 7 и конусной дробилкой 8. Затем горная масса подъемным конвейером 9 и магистральной конвейерной линией 10 перемещается на обогатительную фабрику. По мере понижения горных работ и формирования конечного борта карьера дробильно-конвейерный комплекс переносится с установкой конвейеров 11, 12, 13. Доставка полезного ископаемого из рабочей зоны карьера до дробильно-перегрузочного пункта осуществляется автосамосвалами.

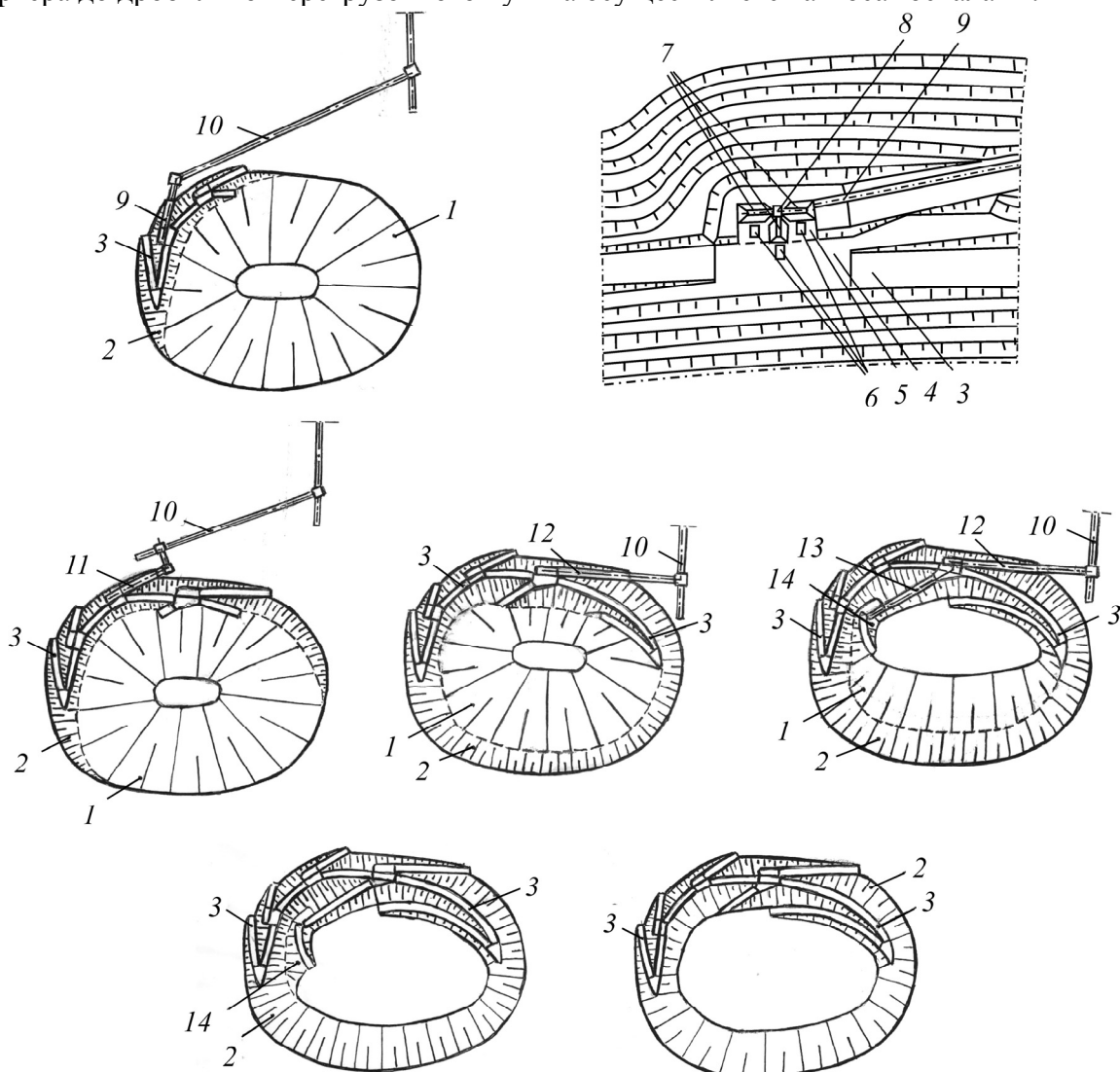


Рис. 6. Разработка на основе ЦПТ месторождения твердых полезных ископаемых с большими размерами в плане: 1 — рабочая зона карьера; 2 — конечный борт карьера; 3 — капитальный съезд; 4 — горизонтальная площадка; 5 — металлическая эстакада; 6 — автосамосвалы; 7 — бункеры с пластинчатыми питателями; 8 — конусная дробилка; 9 — подъемный конвейер; 10 — конвейерная линия на ДОФ; 11, 12, 13 — подъемные конвейеры; 14 — временный породный целик

## **ВЫВОДЫ**

Установлена возможность снижения расхода материальных, энергетических и финансовых ресурсов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых с использованием автомобильно-конвейерного транспорта в комплексах ЦПТ в сравнении с автомобильным транспортом. При этом в зависимости от условий эксплуатации число автосамосвалов на перевозке горной массы уменьшается в 2–3 раза, энергопотребление процесса транспортирования — в 1.5–2 раза, удельные эксплуатационные расходы – в 1.2–2.6 раза.

Определены зависимости изменения удельных капитальных и эксплуатационных затрат от расстояния между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности, а также от объема перевозок. Изменение затрат от расстояния транспортирования с достаточной точностью аппроксимируется прямолинейной зависимостью, а от объемов перевозок носит нелинейный характер.

Показано, что автомобильно-конвейерный транспорт эффективнее автомобильного при транспортировании руды во всех рассмотренных условиях горных работ. При транспортировании скальных вскрышных пород автомобильно-конвейерный транспорт целесообразен при производительности более 6–11 млн т руды в год и удаленности ДПП, размещенного во внешней траншее, от приемного пункта горной массы на поверхности 2–0.5 км. При производительности менее 6–11 млн т при указанном расстоянии транспортирования вскрышных пород предпочтителен автомобильный транспорт. При размещении ДПП в карьере на глубине 90 м автомобильно-конвейерный транспорт возможно применять для транспортирования вскрышных пород во всех рассмотренных условиях.

Обоснована целесообразность использования ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом для разработки глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых с самого начала их освоения.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1. Васильев М. В.** Комбинированный транспорт на карьерах. — М.: Недра, 1975.
- 2. Кармаев Г. Д., Глебов А. В., Берсенеv В. А.** Опыт проектирования, эксплуатации и перспективы развития циклично-поточной технологии на рудных карьерах // Горная техника. Добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник. — СПб: ООО "Славутич", 2013. — № 1 (11).
- 3. Яковлев В. Л.** Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. — Новосибирск, Наука, 1989.
- 4. Пат. 2498068 РФ.** Карьер / В. А. Берсенеv, Г. Д. Кармаев, Ю. А. Бахтурин, И. Г. Сумина // Оpubл. в БИ. — 2013. — № 31.
- 5. Кулешов А. А.** Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. — М.: Недра, 1980.
- 6. Фаддеев Б. В.** Конвейерный транспорт на рудных карьерах. — М.: Недра, 1972.

*Поступила в редакцию 24/IX 2015*