

УДК 552.57; 553.96; 622 (03; 03.118)(575.2)(04)

**К ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ  
ВЫСОКОГОРНОГО УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРА-КЕЧЕ.  
ЧАСТЬ III. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**А.А. Коваленко**

Показаны рациональные области применения безвзрывных цикличной, циклично-поточной, поточной технологий и устройств в процессе строительства подготовительных выработок и создания фронта вскрышных и добычных работ до достижения проектной мощности карьера "Кара-Кече". Предложены безэкскаваторная поточная технология и устройства – породные струги для разработки месторождения с непрерывным разрушением крепких пород в наклонной плоскости высоких уступов и конвейерным транспортом вскрышных пород и угля.

*Ключевые слова:* глубокие карьеры; цикличная и циклично-поточная технологии; безэкскаваторная разработка месторождений; высокие уступы; непрерывное разрушение скальных пород; конвейеризация транспорта вскрыши, экология, автоматизация.

По данным Управления геологии Кыргызской Республики<sup>1</sup>, общие балансовые запасы угля месторождения на 01.01.1996 г. составили 437814 тыс. т, включая 243588 тыс. т для карьера I очереди. Объем угля с прогнозными запасами достигал 1,2 млрд т.

Для полного удовлетворения внутреннего рынка республики и экспортных поставок в объеме до 3 млн т угля в год срок службы карьера с учетом развития и погашения горных работ превысит 150 лет. Можно предположить, что при современных темпах научно-технического прогресса в горной промышленности будет проведено несколько реконструкций технологий горных работ и комплексов горнотранспортного оборудования, принятых на различных этапах разработки месторождения.

Для выбора оптимальных технологических решений в условиях карьера Кара-Кече необходимо рассмотреть тенденции развития современных способов и средств открытой разработки месторождений полезных ископаемых и на примере действующих глубоких карьеров по добыче угля и других полезных ископаемых показать наиболее прогрессивные технологии и устройства.

<sup>1</sup> Солтуев Т. Угольные месторождения Кыргызской Республики / Министерство геологии и минеральных ресурсов Кыргызской Республики. Бишкек, 1996.

Изучение эволюционных и революционных технологий и устройств для производства открытых горных работ в скальных породах, а также экологических последствий разработки месторождений в глубоких карьерах<sup>2</sup> позволяют сделать некоторые выводы:

Стоимость горных отводов – ненарушенных участков земли, лесов и водных источников, в особенности питьевой воды, а также чистого воздуха постоянно возрастает, и часто приводят к их потере. Поэтому наряду со строительством новых рудников ряд специалистов рекомендуют продолжать разработку месторождений на больших глубинах действующими карьерами, несмотря на некоторое снижение эффективности принятых ранее технологий<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Horst Wagner. Mining Technology for Surface and Underground Mining – Evolving Trends // Report at "Mining in the 21st Century. Quo Vadis? 19th World Mining Congress", 2003. P. 35–51.; Greg Rowan. Advanced Mining Technologies // Доклад на конференции "2007 Step Change to a Safer Future", 2007 г.; Catherine Madden. Mine of the Future // [http://www.sciencewa.net.au/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2031:mine-of-the-future](http://www.sciencewa.net.au/index.php?option=com_content&view=article&id=2031:mine-of-the-future), 2008.

<sup>3</sup> Technologies for Mining. Committee on Technologies for the Mining Industry, Committee on Earth Resources, National Research Council, 2002, <http://www.nap.edu/catalog/10318.html>.

Рекомендуется увеличивать высоту вскрышных уступов и отвалов горных пород, углы наклона рабочих и нерабочих бортов карьера, уменьшать сейсмическое воздействие массовых взрывов штатных взрывчатых веществ (ВВ) в глубоких скважинах большого диаметра<sup>1</sup>.

Делается ставка на использование мощных и очень мощных буровых станков, экскаваторов, колесных погрузчиков и бульдозеров<sup>2</sup>. В целях повышения мобильности бурового оборудования заводы-изготовители заменяют электрические приводы на дизельные, что ухудшает состояние окружающей среды и требует применения индивидуальных средств защиты людей, либо приостанавливать работы в зимние месяцы<sup>3</sup>.

Известно, что при открытой разработке месторождений в скальных породах в основном используется циклическая технология горных работ и соответствующий комплекс оборудования: буровые станки, массовые взрывы, одноковшовые экскаваторы и колесные погрузчики в сочетании с большегрузными автосамосвалами.

Наибольший интерес для эксплуатации в условиях Кара-Кече представляют экскаваторы с пневмоударными зубьями на режущей кромке ковшей, например, ЭКГ-5В<sup>4</sup>, что позволяет разрабатывать трещиноватые породы и крепкие углы без предварительных буровзрывных работ.

Циклично-поточная технология предусматривает замену автосамосвалов ленточными конвейерами и дополнительное механическое разрушение крупных кусков породы с помощью стационарных и передвижных грохотильно-дробильных устройств<sup>5</sup>, что важно в связи с понижением дна карьера.

<sup>1</sup> *Быховец А.Н.* и др. Геомеханическое и техническое обоснование оптимальных конструкций уступов и бортов карьеров // Горный журнал. Спец. вып. «Ковдорский ГОК». 2002. С. 13.

<sup>2</sup> *Дж. Чэдвик.* Технический прогресс открытых горных работ за рубежом // Горный журнал. 2010. №1. С. 91–94.

<sup>3</sup> *Сытенков В.Н.* К проблеме нормализации санитарно-гигиенических условий труда в глубоких карьерах: осознанная реальность и пути решения // Горный журнал. 2009. № 11. С. 30–33.

<sup>4</sup> *Маттис и др.* Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.

<sup>5</sup> *Санакулов К.С., Шеметов П.А.* Карьер «Мурунтау» на пути к рекордной глубине: основные этапы развития и модернизации горных работ // Горный журнал. 2009. № 11. С. 98–102.

Непрерывная разработка скальных пород поточной технологией, взамен циклической весьма актуальна. Однако до сих пор не решены проблемы управляемого разрушения скальных пород взрывным или механическими способами. Тем не менее, известно несколько предложений, направленных на частичное решение такой задачи<sup>6</sup>.

Необходимо усовершенствовать способы проведения буровзрывных работ, особенно массовых взрывов, которые приводят к нарушению природной структуры массива и разубоживанию полезных ископаемых. Кроме того, многократные повторения мощных взрывов приводят к нарушению устойчивости бортов в результате сейсмического воздействия. Помимо этого, при таких взрывах в атмосферу карьеров и прилегающей дневной поверхности выделяются вредные для здоровья людей газообразные продукты, в частности, окислы азота, что также способствует поиску новых экологических способов и средств разрушения крепких и скальных пород.

Ставятся и задачи автоматизации производственных процессов и устройств вплоть до создания безлюдных роботизированных карьеров с дистанционным управлением всеми процессами. Одним из таких направлений является автоматизированная подготовка производства буровзрывных работ на карьерах в скальных породах<sup>7</sup>.

Применение технологии непрерывного разрушения вскрышных пород на карьере Кара-Кече весьма актуально, так как позволит осуществить самую эффективную – поточную разработку месторождения. По мнению Scouble M., Daneshmend L.K., при всех разочарованиях прошлого не должны быть прерваны попытки по устранению циклического характера разработки крепких пород. Важнейшей проблемой является контроль над дроблением. Альтернативный способ по фрагментации породы посредством

Portable Conveyors // <http://www.flsmidth.com/en-US/Products/Product+Index/All+Products/Conveying/PortableConveyors/Portable+Conveyors>.

<sup>6</sup> *Scouble M., Daneshmend L.K.* Mine of the year 2020: Technology and human resources // CIM bulletin, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montréal. 1998. Vol. 91. № 1023. P. 51–60: Пат. № 013438 ЕАПВ. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых и призабойный комплекс устройств для его осуществления / Коваленко А.А., Нифадьев В.И. КРСУ.

<sup>7</sup> *Коваленко В.А.* Автоматизированная подготовка производства на карьерах // Вестник КРСУ. 2009. Т. 9. №11. С. 118–123.

взрыва в конечном счете может оказаться эффективным. Важность этой проблемы подчеркивают и специалисты Национального научного центра горного производства Института горного дела им. А.А. Скожинского. По их мнению, на угольных месторождениях с крутым падением пластов вполне может применяться поточная и циклично-поточная технология с использованием нового выемочно-погрузочного оборудования для отработки высоких уступов, гидрофицированных роторных экскаваторов с повышенным усилием резания в сочетании с забойными, соединительными и магистральными ленточными конвейерами и отвалообразователями при снижении веса горнотранспортного оборудования до 2–2,5 раз<sup>1</sup>.

По заключению Комитета по технологиям для горной промышленности США (Committee on Technologies for the Mining Industry), с углублением горных работ повышаются нагрузки на горную породу, что требует новых решений для обеспечения как краткосрочной, так и долгосрочной стабильности структуры рудника. Непрерывная разработка месторождений потребует создания новейших методов для разрушения породы, ее погрузки и разгрузки. Отмечено, что научные исследования и разработка технологий должны вестись по всем направлениям. Однако в первую очередь необходимо сфокусироваться на ключевых областях: разрушение, фрагментация и резание, для достижения непрерывного производственного процесса (без повышения общего уровня потребляемой энергии). Это будет способствовать повышению производительности, безопасности труда и охраны окружающей среды. Механизированные, непрерывного действия системы горного производства более безопасны, чем традиционный метод буровзрывных работ, так как они имеют меньшее количество технологических операций, более простую систему крепления кровли и подвергают риску меньшее количество персонала.

Были исследованы обобщенные технологические схемы горных работ и оборудование для нескольких этапов строительства и эксплуатации карьера Кара-Кече с увеличением добычи угля до 3 млн т в год и предложено осуществить:

- вскрытие угольных пластов месторождения, сооружение подготовительных выработок, автоторог и предварительных отвалов породы;

<sup>1</sup> Рубан А.Д., Алешин Б.Г. Основные приоритетные направления развития техники и технологии открытого способа добычи угля // Горные машины и автоматика. 2002. № 10. С. 4–7.

- создание забоев для размещения основного и вспомогательного оборудования, продолжение строительства автомобильных дорог и отвалов;
- формирование конвейерных отвалов вскрышных пород;
- конвейеризацию внутрикарьерного транспорта, проведение промышленных экспериментов по разработке вскрышных пород и угля роторными экскаваторами в сочетании с автосамосвалами и самоходными передвижными ленточными конвейерами;
- в случае неэффективности использования роторных экскаваторов сохранить ленточные конвейеры в забоях, ввести в работу ковшовые экскаваторы и передвижные щелевые дробильные устройства, то есть создать циклично-поточную технологию разработки вскрышных пород и угля;
- реконструкцию циклично-поточной технологии вскрышных работ: замену ковшовых экскаваторов и дробильных устройств буроклиновзрывными стругами, преобразование циклично-поточной технологии разработки месторождения в поточную.

В соответствии с указанными рекомендациями, горнотранспортный комплекс машин и механизмов для непрерывной разработки вскрышных пород и угля на месторождении должен включать роторные экскаваторы с повышенным усилием резания в сочетании с конвейерным транспортом породы к отвалам непосредственно из забоев.

Схемы вскрышных и добычных работ и выбор оборудования для каждого из этапов строительства карьера разработаны в соответствии с горногеологическими и горнотехническими особенностями месторождения.

Известно, что горнодобывающая промышленность – крупнейший потребитель энергетических ресурсов. В технологиях добычи полезных ископаемых разрушение горных пород считается наиболее энергоемким процессом. Эффективность разрушающих устройств определяется производительностью, удельными энерго- и металлоемкостью, безопасностью труда и степенью отрицательного воздействия на окружающую среду. Большое значение имеет также технологичность, то есть возможность максимальной механизации и оптимизации всех процессов и операций вскрышных и добычных работ<sup>2</sup>. Опыт отечественных и зарубежных ис-

<sup>2</sup> Лабутин В.Н., Маттис А.Р., Зайцев Г.Д., Ческидов В.И. Безвзрывная технология добычи

Таблица 1

Сравнение буровзрывной и безвзрывной технологий открытой разработки горных пород

Показатель	Технология				
	Буровзрывная		Безвзрывная		
	Типы машин				
	ЭКГ-5А	ЭКГ-12	ЭКГ-5В	ЭКГ-12В	КСМ-2000Р
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	5	12	5	12	–
Установленная мощность, кВт	250	1250	450	1750	1100
Номинальная производительность в плотной массе, м <sup>3</sup> /ч	–	–	–	–	1400
Продолжительность цикла (с) для выемки породы $\sigma_1 = 50$ МПа	35	38	50	53	–
Масса добычных машин, т; Масса вспомогательных машин для БВР с учетом коэффициента использования, т: буровой станок СБШ-250-55 бульдозер ДЗ-118	196 0,5 · 85 42	638 85 42	207 – 0,3 · 42	670 – 0,3 · 42	527 – –
Техническая производительность, м <sup>3</sup> /ч	342	756	252	567	414
Удельная металлоемкость, т·ч/м <sup>3</sup>	0,82	1,01	0,87	1,0	1,27
Удельная энерговооруженность, кВт/т	1,28	1,96	2,17	2,61	2,09

следований процессов разрушения горных пород показывает, что в предстоящие годы основными способами останутся взрывной и механический.

Поскольку разработка относительно крепких пород, например, песчаников, алевролитов, конгломератов, аргиллитоврезанием составляет проблему<sup>1</sup>, нами была произведена сравнительная оценка показателей эксплуатации традиционных экскаваторов ЭКГ-5 и экскаваторов с ковшом активного действия, а также с устройством КСМ-2000Р для непрерывной послойно-фрезерной разработки пород прочностью до 50 МПа (табл. 1).

Отмечено, что наибольшее распространение при открытой разработке месторождений получили технологии: взрывная – в породах прочностью более 100 МПа; резание – до 60 МПа; ударное разрушение – от 20 до 100 МПа.

Достоинства взрывного способа разрушения пород известны, однако он оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду

полезных ископаемых: состояние и перспективы. Ч. II: Оценка эффективности применения различных способов разрушения в технологиях открытых горных работ // ФТПРПИ. 2004. №2. С. 66–75.

<sup>1</sup> Коваленко А.А. К обоснованию технологии открытой разработки высокогорного угольного месторождения Кара-Кече. Часть II. Горнотехнические условия разработки месторождения // Вестник КРСУ. 2010. Т. 10. №5. С.148–156.

и опасен. Механические способы постоянно совершенствуются, расширяются границы их эффективного применения для разрушения крепких и особо крепких пород. Например, А. Ковшов, Ю. Красников и В. Ружицкий предлагают использовать ударные машины и инструменты метательного действия – резинокордные пневмопружины большой энергоемкости, позволяющие конструировать механизмы с энергией удара  $(2-3) \cdot 10^6$  Дж, что по утверждению авторов может стать основой для создания новых поточных технологий и устройств на карьерах со скальными породами<sup>2</sup>.

На месторождении Кара-Кече может быть использована экскаваторная выемка вскрыши и угля с автомобильным или конвейерным транспортом. Возможна также цикличная технология, исключая экскаваторы, при которой предполагается применять мощные бульдозеры в сочетании с погрузчиками на пневматическом ходу и автосамосвалами.

Такую технологию применяют, например, на золоторудном карьере Super Pit на месторождении Калгурли в Австралии<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Ковшов А., Красников Ю., Ружицкий В. Эффективность удара // Энергия: экономика, техника, технология. 2003. №12. С. 37–39.

<sup>3</sup> Васильева Тина. Вся жизнь в карьере // Популярная механика. 2007. №6. С. 28–33.



Экскаватор ЭКГ-5В в процессе погрузки породы показан на сайте<sup>1</sup>.

Комплекс устройств для циклично-поточной технологии вскрышных работ представлен в проспекте<sup>2</sup>.

Изучение опыта эксплуатации техники непрерывного действия на горнодобывающих предприятиях мира показало, что для разработки крепких пород на карьере Кара-Кече могут быть применены роторные экскаваторы с повышенным усилием резания, например, компактные S250, S400 компании ThyssenKrupp производительностью 550–900 м<sup>3</sup>/час при ширине конвейерной ленты до 1,2 м и высоте обрабатываемого уступа 9 – 11 м<sup>3</sup>.

Для проекта будущего карьера Кара-Кече представляют интерес современные технологии и комплекс устройств, применяемые на одном из самых глубоких карьеров мира по добыче золота – “Мурунтау” в Узбекистане.

Несколько крупных залежей руды шириной от 15 до 750 м залегают по простиранию на 1200–1300 м на глубине до 1000 м. Вмещающие породы представлены метаморфизованными песчаниками и углисто-кварцевыми алевролитами.

Со времени сдачи карьера в эксплуатацию в 1967 г. вскрышные и добычные работы осуществлялись по классической циклической технологии – одноковшовыми экскаваторами ЭКГ-4,6 и автосамосвалами БелАЗ-540 с предварительным разрушением пород и руд взрывами зарядов на основе аммиачной селитры в скважинах, пробуренных станками 2СБШ-200.

<sup>1</sup> Безвзрывная технология разработки крепких горных пород на карьерах // Сайт Института горного дела СО РАН <http://www.misd.nsc.ru/cooperation/commercial/10130/>.

<sup>2</sup> Установки Nordberg LT160 // Сайт компании Metro Minerals [http://www.metsominerals.ru/inetMinerals/russia/mm\\_rus\\_home.nsf/FR?ReadForm&ATL=/inetMinerals/russia/mm\\_rus\\_gen.nsf/WebWID/WTB-070519-22572-FA436](http://www.metsominerals.ru/inetMinerals/russia/mm_rus_home.nsf/FR?ReadForm&ATL=/inetMinerals/russia/mm_rus_gen.nsf/WebWID/WTB-070519-22572-FA436).

<sup>3</sup> Буткевич Г.П. Подготовка скальных пород к выемке (по материалам семинара «Разрушение скальных горных пород на карьерах») // Горная промышленность. 1997. №4 // [Эл. ресурс]: <http://mining-media.ru/arhiv/1997/4/9/>; Компактные роторные экскаваторы фирмы KRUPP // Сайт журнала «Горная промышленность» [Эл. ресурс]: <http://mining-media.ru/arhiv/1999/1/42/>; Open Pit Mining Systems and Equipment // Проспект компании ThyssenKrupp. С. 18.

С 1984 г. в работу поэтапно вводится циклично-поточная технология (ЦПТ) и более мощные экскаваторы и автосамосвалы. Комплекс ЦПТ включает три стационарных дробильно-перегрузочных пункта (ДПП), расположенных на концентрационных горизонтах через 30 м по высоте, соединяющих циклическое и поточное звенья в единую систему. В состав каждого ДПП входят приемный бункер емкостью 300 м<sup>3</sup>, ленточный питатель и конусная дробилка КВКД-1200/200. Конвейерная линия КЛ-1 с отвалообразователем ОШС-4000/125 предназначена для доставки скальной породы к внешним отвалам, КЛ-2 – для транспортирования забалансовой и бедной руды к складу. Общий вид карьера “Мурунтау” с конвейерными отвалами руды и породы показан на рис. 1.

В процессе реконструкции карьера предусмотрен транспорт руды из карьера крутонаклонным конвейерным комплексом КНК-270 с подъемом на высоту 270 м, что позволит разрабатывать месторождение открытым способом до глубины 950–1000 м.

На предприятии используются мощные гидравлические экскаваторы Caterpillar CAT-5230, Hitachi EX-3500, Orienshtein & Koppel RH-170 с ковшами емкостью от 15 до 17 м<sup>3</sup>, Terex Mining RH-200 с ковшом вместимостью 26 м<sup>3</sup> и автосамосвалы БелАЗ-7513, CAT-785В, CAT-789С, R-170 грузоподъемностью 136–190 т.

Однако до сих пор остается трудноразрешимой проблема рентабельной и безопасной разработки донной части карьера при сохранении сложившегося комплекса ЦПТ.

Сложность разработки нижних горизонтов месторождения возрастает из-за сокращения протяженности фронта работ, уменьшения размеров рабочих площадок и высокой концентрации мощного горнотранспортного оборудования. Кроме того, нужно решать проблему устранения отрицательных экологических последствий от выброса взрывных газов и сейсмического воздействия на устойчивость бортов карьера.

Для решения этой задачи нами предложена технология поточной разработки в скальных породах и призабойный комплекс устройств: струг, перемещаемый по откосу уступа, телескопический перегружатель с приемной плитой, загрузочное устройство с бункером-питателем и забойный ленточный конвейер (рис. 2).

Способ разработки включает непрерывное разрушение и отделение от массива вмещающих пород и полезных ископаемых в поверхностном

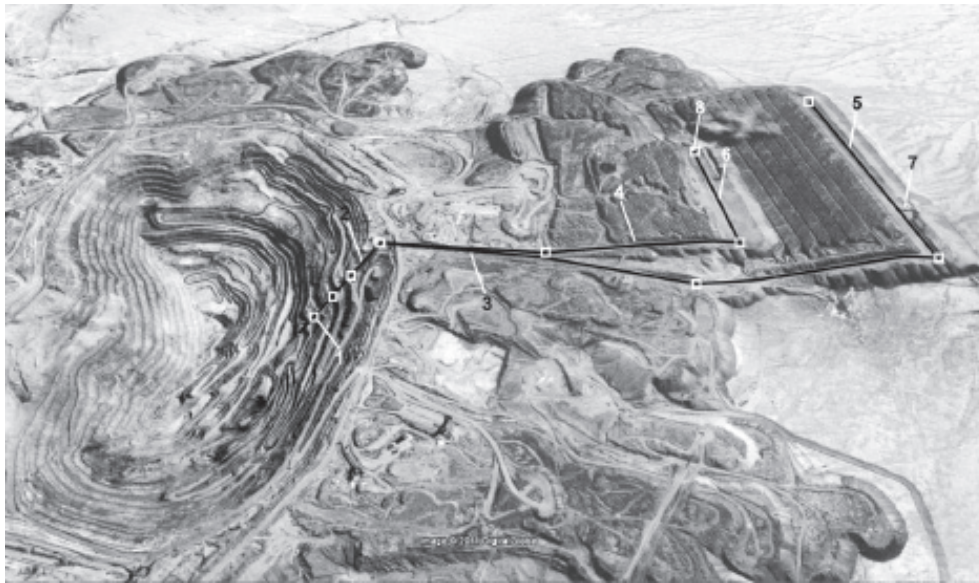


Рис. 1. Общий вид карьера «Мурунтау»: 1 – перегрузочные пункты; 2 – крутонаклонные конвейеры; 3 – конвейер КЛ-1; 4 – конвейер КЛ-2; 5 – отвальный конвейер породный; 6 – отвальный конвейер рудный; 7 – отвалообразователь породный ОШС-4000/125; 8 – отвалообразователь рудный ОШС-4000/125



Рис. 2. Технологическая схема поточной разработки крепких вскрышных пород буровзрывным стругом и ленточными конвейерами (на примере угольного месторождения Кара-Кече)

слое откоса уступа наклонными слоями сверху вниз, перемещение разрушенных пород к основанию уступа под действием силы тяжести, перегрузку без экскаваторов на забойный ленточный конвейер. Разрушение, отделение от массива, перегрузку и транспортирование осуществляют непрерывно и синхронно с формированием потока разрушенной породы.

Разрушение осуществляют одновременным бурением и расклиниванием полосы породы в заходке из устья шпуров клиньями, непрерывным бурением в плоскости, параллельной откосу уступа в направлении от верхней бровки до нижней рабочей площадки.

Породоразрушающее устройство выполнено в виде многомашинного агрегата, включает установленные в ряд буровые штанги, сопряженные с клиньями и связанные каналами с генераторами газовых импульсов высокого давления, которые подают в полости шпуров с определенными интервалами для разрушения скальных пород.

Загрузочное устройство выполнено в виде несущей рамы с захватами, установленными на рельсах, и связано с приемным и разгрузочным конвейерами телескопического перегружателя, шпалы изготовлены в форме салазок, на каждой из которых установлен механизм перемещения забойного ленточного конвейера параллельно фронту работ.

Механизм перемещения забойного конвейера выполнен в виде лебедки с приводом и тросом, конец которого прикреплен к анкеру; приводы механизмов перемещения конвейера электрически связаны между собой, анкеры установлены по линии, параллельной фронту работ.

Известно, что угольные пласты на месторождении Кара-Кече залегают под углом до 80°, поэтому организация внутренних отвалов вскрышных пород в границах карьера невозможна. Поэтому рекомендуется использовать транспортную систему разработки с применением

ленточных конвейеров для доставки вскрышных пород от забоев к внешним отвалам.

Использование предлагаемой поточной технологии для полной отработки всех геологических запасов угольного месторождения Кара-Кече позволит:

- сократить в 1,5 – 1,8 раза затраты энергии на разрушение вскрышных пород сколом и отрывом в поверхностном слое высоких уступов буроклиновзрывными стругами и транспортирование пород без негабаритов ленточными конвейерами;
- сократить в 1,3–1,5 раза капитальные и эксплуатационные затраты на производство вскрышных и добычных работ;
- исключение штатных взрывчатых веществ заменой автосамосвалов с дизельными двигателями ленточными конвейерами с электрическими приводами позволит достичь максимального соответствия требованиям охраны окружающей среды, полностью исключить из атмосферы карьера окислы азота и другие вредные вещества;
- значительно повысить устойчивость уступов и бортов карьеров благодаря устранению сейсмических эффектов массовых взрывов ВВ в глубоких скважинах большого диаметра;
- сократить в 2 раза обслуживающий персонал карьера;
- создать предпосылки для полной автоматизации вскрышных и добычных работ, благодаря непрерывности всех производственных процессов.

Непрерывное разрушение скальных пород без негабаритов в наклонной плоскости высоких уступов и размещение потока породы на забойный конвейер без экскаваторов по предлагаемой технологии смогут решить аналогичные проблемы при разработке других месторождений полезных ископаемых глубокими и очень глубокими карьерами, а также на малых карьерах в неблагоприятных условиях, например, высокогорья.