

УДК 622.271.322

**БЕСТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ  
НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**В. И. Ческидов, В. К. Норри**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: cheskid@mysd.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Приведены результаты анализа применения бестранспортной технологии вскрышных работ на разрезах Кузбасса. Отмечена тенденция снижения удельного веса этой наиболее производительной и наименее ресурсоемкой технологии в общем объеме вскрышных работ. Предложен метод определения рациональных границ бестранспортной технологии с использованием слоевого коэффициента переэкскавации. Рассмотрены возможные направления дальнейшего развития технологии и использования экскаваторов-драглайнов для повышения эффективности открытых горных работ.

*Разрез, бестранспортная технология, драглайн, область применения*

В последнее десятилетие в горнодобывающих регионах страны просматривается устойчивая тенденция развития открытого способа угледобычи, удельный вес которого в общем объеме превысил 72 % [1]. Это в полной мере касается Кузнецкого бассейна, где функционируют 36 угольных разрезов производственной мощностью от 200 до 10 000 тыс. т/год. На разрезах применяются преимущественно транспортные и комбинированные (транспортно-бестранспортные) технологии разработки месторождений. Как показывает опыт многолетней эксплуатации разрезов, наиболее высокие технико-экономические показатели при ведении горных работ имеет бестранспортная технология с непосредственной перевалкой горных пород экскаваторами-драглайнами. Ее применение обеспечивает устойчивый режим и высокую производительность ведения вскрышных работ; низкую в сравнении с транспортными технологиями себестоимость выемки и перемещения горной массы; возможность отработки массивов горных пород в сложных горнотехнических условиях. В практике открытых горных работ бестранспортная технология получила широкое распространение на угольных месторождениях с горизонтальным и пологим залеганием пластов (с углами падения 12–15° по условию устойчивости внутренних породных отвалов). В Кузбассе она повсеместно использовалась при освоении открытым способом практически всех месторождений, включая крутопадающие, для вскрытия выходов угольных пластов под наносы, проходки разрезных и въездных траншей, экскавации вскрышных пород и перевалки их в выработанное пространство или во временные отвалы, устройства нагорных канав и других выработок.

Характерными особенностями месторождений Кузбасса, на которых применяется бестранспортная технология, являются: свитовое залегание пологопадающих пластов, наличие плотных (скальных и полускальных) вмещающих пород, пересеченный рельеф поверхности, несогласность залегания пластов с рельефом поверхности, невыдержанность мощности пластов и меж-

дупластий как по простиранию, так и вкрест простирания, значительная мощность угленасыщенной зоны. Ввиду этих особенностей, значительно усложняющих отработку продуктивной толщи, на разрезах Кузбасса нашла применение комбинированная технология, при которой вскрыша над верхними пластами вывозится на внешние или внутренние отвалы, а порода междупластий нижних пластов перемещается экскаваторами-драглайнами производства ОАО “Уралмаш” с ковшами вместимостью от 6 до 40 м<sup>3</sup> и длиной стрелы 60–90 м в выработанное карьерное пространство (рис. 1).

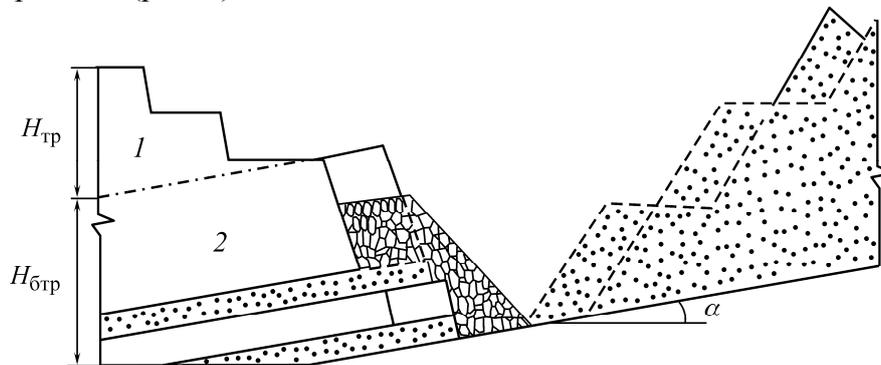


Рис. 1. Схема комбинированной системы разработки полгопадающих месторождений Кузбасса: 1 — транспортной; 2 — бестранспортной; - - - - граница транспортной и бестранспортной зон;  $H_{тр}$ ,  $H_{бтр}$  — высота зон транспортной и бестранспортной технологий;  $\alpha$  — угол падения пластов

Исходя из горнотехнических условий разрезов, максимальная мощность вскрышной толщи, обрабатываемой по бестранспортной технологии  $H_{бтр}$ , составляет порядка 50–65 м. С учетом большого разнообразия горно-геологических и горнотехнических условий угольных месторождений Кузбасса на разрезах нашли применение различные технологические схемы ведения вскрышных работ, отличающиеся местоположением драглайнов в рабочей и отвальной зонах, а также порядком экскавации и переэкскавации вскрышных пород (рис. 2).

Отработка вскрыши одиночного пласта проводится с одной стоянки драглайна на предотвале, что обеспечивает максимальное использование его линейных параметров (рис. 2а), или с двух стоянок при необходимости проходки предварительного вруба на контакте взрываемого массива с бортом следующей заходки (рис. 2б). Отработка вскрыши двух сближенных пластов ведется боковым забоем с одной стоянки драглайна (рис. 2в) или торцевым и боковым забоем с двух стоянок (рис. 2г). Разработка двух рассредоточенных пластов (рис. 2д) осуществляется двумя, а трех пластов — тремя уступами по схемам, аналогичным “з” и “д”. Во всех схемах вскрышной уступ с наибольшей высотой является основным и обрабатывается в первую очередь, как обеспечивающий максимальный эффект от взрыва на сброс. При этом в случае использования при отработке заходки одного драглайна все работы по экскавации и переэкскавации вскрышных пород выполняются им последовательно, при использовании двух драглайнов, как правило, одного — на экскавации, второго — на переэкскавации. Схема экскавации для бестранспортной отработки трех и более пластов свиты выбирается исходя из возможной технологии выемки нижнего вскрышного уступа: драглайном (с перевалкой вскрыши во внутренний отвал), мехлопатой (с погрузкой в автотранспорт), в комбинации — драглайном и мехлопатой. Целесообразность применения той или иной технологии определяется последовательно, начиная с уступа, расположенного под основным, при выполнении условия  $C_{би} - C_{ти}$ , где  $C_{би}$  и  $C_{ти}$  — стоимость отработки 1 м<sup>3</sup> вскрыши уступа, расположенного под основным, соответственно по бестранспортной и транспортной технологии.

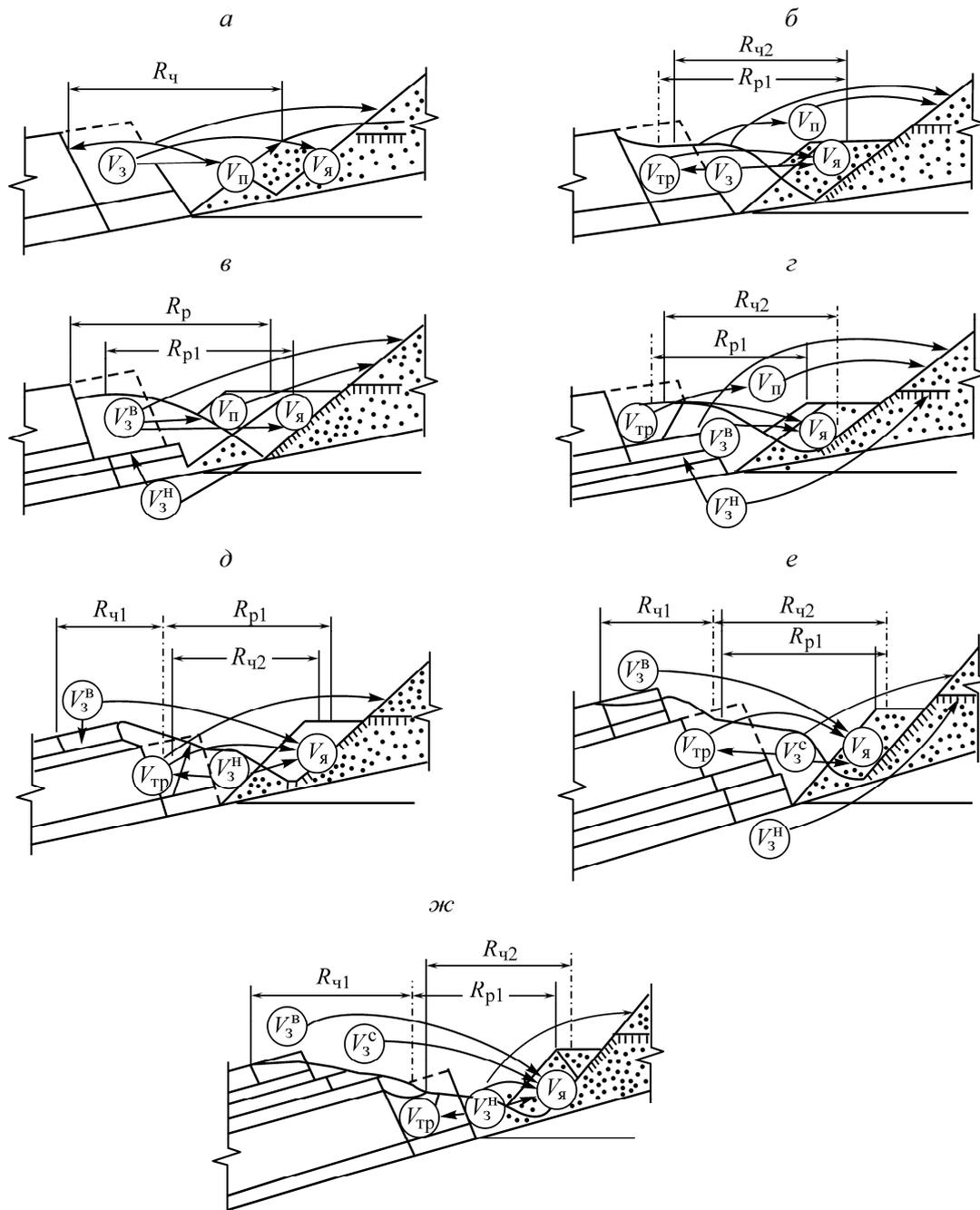


Рис.2. Схемы экскавации и переэкскавации вскрышных пород на пологопадающих месторождениях Кузбасса:  $R_{ч}$ ,  $R_{р}$  — радиус черпания и разгрузки соответственно;  $V_3$ ,  $V_{п}$ ,  $V_{я}$  — объем забоя, предотвала, яруса;  $V_{тр}$  — объем траншеи;  $V_3^B$ ,  $V_3^H$  — объем вскрыши над верхним и нижним уступом;  $V_3^C$  — объем вскрыши на сброс

Один из важных вопросов при реализации комбинированной технологии разработки продуктивной толщи — регулирование режима горных работ в бестранспортной и транспортной зонах и, в частности, скорости подвигания их фронта, предопределяющей степень использования экскаваторов-драглайнов. В процессе проектирования разрезов этот вопрос решается исходя из проектной мощности предприятия подбором комплектов основного выемочного и по-

грузочно-транспортного оборудования. При эксплуатации разрезов для выравнивания скорости подвигания фронта горных работ по бестранспортной и транспортной технологиям и уменьшения вынужденных простоев оборудования разработан ряд мероприятий для более полного использования драглайнов в бестранспортной зоне: перемещение автосамосвалами части вскрышных пород с транспортных горизонтов в бестранспортную зону с дальнейшей переэкскавацией их во внутренний отвал; формирование насыпных перемычек через выработанное пространство в бестранспортной зоне для обеспечения грузотранспортной связи в центре поля между транспортными уступами и внутренними отвалами. На отдельных разрезах эти мероприятия позволили в 2.0–2.5 раза уменьшить дальность перевозки транспортной вскрыши на отвалы, повысить интенсивность горных работ и обеспечить более полную загрузку драглайнов. Однако в связи с резким увеличением коэффициента переэкскавации последнее решение может рассматриваться как временное до выхода на оптимальную мощность бестранспортной вскрыши для применяемых комплексов горного оборудования.

В 1960–1980 гг. на разрезах достаточно широко практиковались взрывы на сброс, обеспечивающие доставку во внутренние отвалы до 15–20 % объемов вскрышных пород бестранспортной зоны [2]. В условиях рыночной экономики при значительном удорожании взрывчатых веществ (ВВ) и средств взрывания (СВ) перемещение вскрышных пород этим способом не нашло дальнейшего распространения.

Граница областей рационального применения бестранспортной и транспортной технологий находится с помощью наиболее распространенной методологии на основе равенства стоимостных показателей перемещения вскрышных пород от забоя до отвала [3]. Это равенство достигается путем последовательного приращения расчетной мощности бестранспортной вскрыши с учетом затрат на ее переэкскавацию. Такой подход показывает в целом удовлетворительные результаты расчета, но не отражает в полной мере потенциальные возможности бестранспортной технологии.

В ИГД СО РАН разработан метод определения границы бестранспортной и транспортной зон с использованием в качестве критерия слоевого коэффициента переэкскавации, обеспечивающего объективную оценку экономически обоснованной мощности бестранспортной вскрыши [4].

Себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши  $C_6$ , перемещаемой в выработанное пространство экскаваторами-драглайнами, определяется из выражения

$$C_6 = C_6^6 + C_{ц} + n C_{п}, \quad (1)$$

где  $C_6^6$  — затраты на буровзрывные работы с помощью перевалки вскрыши, руб./м<sup>3</sup>;  $C_{ц}$  — стоимость первичной экскавации 1 м<sup>3</sup>, руб./м<sup>3</sup>;  $C_{п}$  — стоимость однократной переэкскавации 1 м<sup>3</sup> вскрыши, руб./м<sup>3</sup>;  $n$  — число переэкскаваций 1 м<sup>3</sup> вскрыши.

Аналогично рассчитывается себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши  $C_T$ , перемещаемой в отвал (внутренний или внешний) с помощью транспортных средств:

$$C_T = C_T^6 + C_{пт} + C_{тр} + C_0, \quad (2)$$

где  $C_T^6$  — затраты на буровзрывные работы при использовании средств транспорта, руб./м<sup>3</sup>;  $C_{пт}$  — затраты на погрузку 1 м<sup>3</sup> вскрыши в средства транспорта, руб./м<sup>3</sup>;  $C_{тр}$  — затраты на транспортирование 1 м<sup>3</sup> вскрыши от забоя до отвала, руб./м<sup>3</sup>;  $C_0$  — затраты на отвалообразование 1 м<sup>3</sup> вскрыши, руб./м<sup>3</sup>.

Из выражений (1) и (2) следует, что границей перехода от бестранспортной технологии к транспортной должен стать такой горизонт, на котором затраты  $C_T$  и  $C_6$  будут равны, а значение предельного коэффициента переэкскавации составит

$$n_{пр} = (C_T - C_6^0 - C_{ц}) / C_{п}. \quad (3)$$

Чтобы найти границу между бестранспортной и транспортной зонами, при которой в совокупности обеспечивался бы минимум затрат на вскрышные работы, необходимо исключить из бестранспортной зоны ту ее часть, обработка которой с учетом переэкскавации превосходит по стоимости транспортную вскрышу. Достигается это делением намеченной к бестранспортной обработке вскрыши  $H_a^0$  на слои ( $H_1^0, H_2^0, \dots, H_k^0$ ) и определением нарастающим итогом коэффициентов переэкскавации для каждого слоя. При таком подходе границу между зонами необходимо устанавливать не по среднему  $n_{ср}$  для всей мощности  $H_a^0$ , намечаемой к обработке с перевалкой вскрыши, а по предлагаемому слоевому коэффициенту  $H_1^0$  переэкскавации.

Значение коэффициента переэкскавации для каждого слоя бестранспортной вскрыши находится следующим образом. Пусть для первого слоя вскрыши мощностью  $H_1^0$  коэффициент переэкскавации равен  $n_{ср}^I$ , а для двух смежных слоев мощностью  $H_2^0 = H_1^0 + \Delta H$  —  $n_{ср}^{II}$ . Тогда общий объем переэкскавируемой вскрыши  $V_{п}^I$  при отработке первого слоя высотой  $H_1^0$  составит  $V_{п}^I = H_1^{0*} A^* n_{ср}^I$  м<sup>3</sup>/пог.м, а при отработке следующего слоя —  $V_{п}^{II} = H_2^{0*} A^* n_{ср}^{II}$ , где  $A$  — ширина заходки.

Приращение общего объема переэкскавируемой вскрыши с увеличением мощности слоя на величину  $\Delta H$  определяется как разность:

$$\Delta V_{п} = V_a^I - V_a^{II} = A^* (H_2^{0*} n_{ср}^{II} - H_1^{0*} n_{ср}^I).$$

Если теперь объем переэкскавируемой вскрыши  $\Delta V_{п}$  разделить на объем приращения мощности обрабатываемого слоя в целом  $\Delta V_{ц} = A^* (H_2^0 - H_1^0)$ , то получим значение коэффициента переэкскавации, относящегося к слою приращения вскрыши  $V_{ц}$ , названного нами слоевым  $n_c$ :

$$n_c = \frac{H_2^{0*} n_{ср}^{II} - H_1^{0*} n_{ср}^I}{H_2^0 - H_1^0}.$$

Исходя из принятого условия обеспечения минимума затрат при комбинированной системе разработки вскрышных пород, для определения границы перехода от бестранспортной технологии к транспортной необходимо найти значение предельного и слоевого коэффициентов переэкскавации. Обоснованной границей будет та часть слоя вскрышных пород, где эти коэффициенты равны.

Решение этой задачи с достаточной степенью точности может быть выполнено методом дисконтированных денежных потоков с критериями оптимальности (чистым дисконтированным доходом, внутренней нормой рентабельности и сроком окупаемости). Предварительная оценка экономической мощности бестранспортной вскрыши с удовлетворительным результатом возможна также с помощью удельных показателей стоимости 1 м<sup>3</sup> вскрыши. Результаты расчета этим способом коэффициентов переэкскавации для комбинированной системы разработки пологопадающих месторождений с применением экскаваторов типа ЭШ 15/90, ЭШ 40/85 и ЭШ 80/100 свидетельствуют о том, что использование слоевого коэффициента переэкскавации наряду со средним обеспечивает более объективные результаты (таблица). Например, при их близких значениях (жирный шрифт) искомая мощность вскрыши различается на 30–40 %.

Зависимость коэффициента переэкскавации от мощности обрабатываемой вскрыши драглайнами

Общая мощность бестранспортной вскрыши, м	Средний коэффициент переэкскавации при мощности пласта, м			Мощность обрабатываемого слоя вскрыши, м	Общая мощность бестранспортной вскрыши, м	Слоевой коэффициент переэкскавации при мощности пласта, м		
	3	8	14			3	8	14
40	0.49	—	—	—	—	—	—	—
50	0.65	0.2	—	10	<b>40–50</b>	<b>1.28</b>	—	—
60	0.87	0.63	0.33	10	50–60	1.96	2.78	—
<b>70</b>	<b>1.25</b>	0.96	0.74	10	60–70	2.78	2.94	3.20
80	1.471	1.29	1.07	10	70–80	3.74	3.6	3.38
90	—	1.60	1.37	10	80–90	—	4.08	3.82

Многолетний опыт эксплуатации разрезов Кузбасса свидетельствует о достаточно высокой эффективности бестранспортной технологии обработки массивов вскрышных пород. На основе имеющегося парка экскаваторов-драглайнов в Кузбассе разработаны и внедрены усложненные схемы экскавации и переэкскавации вскрышных пород, обеспечивающие экономичную обработку свиты из 2–3 угольных пластов. В связи с ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий для применения драглайнов удельное участие бестранспортной системы в суммарном объеме горно-вскрышных работ разрезов Кузбасса в последнее время не превышает 5–9% (в сравнении с 20–25% в начальный период эксплуатации разрезов) [5]. Вместе с тем использование экскаваторов-драглайнов в некоторых условиях может существенно расширить область эффективного применения наиболее экономичной бестранспортной технологии ведения вскрышных работ [6].

К числу наиболее приоритетных путей расширения области применения бестранспортной технологии на разрезах следует отнести:

1. Увеличение мощности продуктивной толщи, обрабатываемой по бестранспортной технологии, за счет:

— технического перевооружения разрезов экскаваторами-драглайнами с повышенными параметрами (например, драглайны из линейки ОАО “Уралмаш” с вместимостью ковша 20–100 м<sup>3</sup> и длиной стрелы 90–130 м);

— совершенствования схем экскавации и переэкскавации вскрышных пород с использованием моделей драглайнов, адаптированных под горно-геологические и горнотехнические условия разрабатываемых залежей;

— увеличения высоты и углов откосов вскрышных уступов в бестранспортной зоне;

— использования в схемах экскавации вскрышных пород драглайнами взрывов на сброс на основе совершенствования схем взрывания и изыскания экономичных ВВ с повышенными метательными свойствами;

— изыскания способов повышения устойчивости и приемной способности внутренних отвалов вскрышных пород.

2. Использование драглайнов для:

— перемещения горных пород на концентрационные горизонты;

— вскрытия угольных пластов в зоне транспортной технологии драглайнами с организацией в контурах поля разреза временных породных отвалов;

— погрузки горной массы в средства транспорта;

— выемки (с нижним черпанием) полезного ископаемого в сложных гидрогеологических условиях и при погашении горных работ.

Применение на эксплуатируемых и вновь осваиваемых месторождениях новых типов драглайнов должно проводиться на основе технико-экономического обоснования целесообразности дальнейшего развития в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях бестранспортной технологии. При исследовании технологических схем, в том числе путем математического моделирования, особого внимания заслуживают вопросы, касающиеся порядка отработки месторождения или его участков, экономически обоснованной мощности бестранспортной вскрыши, целенаправленного формирования и рационального использования выработанного карьерного пространства, оптимизации параметров и режима горных работ [7, 8]. Одним из значимых способов улучшения режима, как показывают исследования и данные практики, является повышение высоты и углов откосов уступов с соответствующим увеличением углов наклона бортов разрезов. Так, увеличение последнего на  $1^\circ$  дает возможность снизить на 3–4 % текущие объемы горно-вскрышных пород [9], что при их многомиллионных значениях ведет к серьезному сокращению эксплуатационных затрат. Значительное повышение производительности экскавационных машин и сокращение эксплуатационных расходов на ведение вскрышных работ (особенно со сверхвысокими крутыми бортами) может быть достигнуто на основе автоматизации производственных процессов и роботизации оборудования.

Существенные преимущества при освоении протяженных пластовых месторождений могут обеспечить системы разработки с разнонаправленным подвиганием фронта горных работ, обеспечивающие максимальное размещение вскрышных пород во внутренних отвалах [10].

Более глубокого исследования заслуживает технология взрывного перемещения вскрышных пород в выработанное карьерное пространство. Изыскание новых способов и схем взрывания, более дешевых ВВ и инициирующих средств позволит увеличить удельное участие производительной бестранспортной составляющей комбинированной системы разработки [11, 12]. Использование драглайнов по направлениям, приведенным в п. 2, в определенных условиях также может дать положительный эффект (при соответствующем технико-экономическом обосновании).

Научно обоснованное расширение бестранспортной технологии вскрышных работ применительно к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям разрезов при надежном геомеханическом обеспечении и экологической безопасности горных работ позволит существенно повысить эффективность и конкурентоспособность угледобычи в Кузбассе.

## **ВЫВОДЫ**

Приведены результаты анализа применения бестранспортной технологии вскрышных работ на разрезах Кузбасса. Установлено, что наибольшее развитие эта самая производительная и наименее ресурсоемкая технология получила на месторождениях со свитами пологопадающих угольных пластов для отработки нижних междупластий суммарной мощностью до 50–65 м. В последние годы ее удельный вес в общем объеме вскрышных работ снизился до 5–9 % (против 20–25 % в начальный период эксплуатации разрезов), что обусловлено, прежде всего, отработкой части участков по рассматриваемой технологии. Предложен метод определения рациональной мощности бестранспортной вскрыши с использованием слоевого коэффициента переэкскавации, позволяющий более обоснованно определять область эффективного применения бестранспортной технологии. Рассмотрены наиболее приоритетные пути дальнейшего развития технологии для повышения конкурентоспособности открытых горных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Таразанов И. Г.** Итоги работы угольной промышленности РФ в 2015 г. // Уголь. — 2016. — № 3.
2. **Репин Н. Я., Фазалов Г. Т.** О результатах внедрения в Кузбассе технологии взрывных работ со сбросом породы в выработанное пространство при бестранспортной системе разработки // Уголь. — 1971. — № 5.
3. **Трубецкой К. Н., Краснянский Г. Л., Хронин В. В.** Проектирование карьеров. — М.: Изд-во АГН. — 2001. — Т. 1, 2.
4. **Ческидов В. И., Норри В. К.** Повышение эффективности комбинированных систем разработки горизонтальных и пологопадающих пластовых месторождений // ГИАБ. — 2005. — № 1.
5. [www.kru.ru/about/indices/](http://www.kru.ru/about/indices/). Сайт ХК “Кузбассразрезуголь”.
6. **Васильев Е. И., Ческидов В. И.** Обоснование области применения технологии с перевалкой вскрыши на пологопадающих месторождениях // ФТПРПИ. — 2006. — № 6.
7. **Гвоздкова Т. Н.** Разработка по бестранспортной технологии свиты из трех пологих пластов с общей мощностью междупластий 80 м на ОАО “Разрез Сибиргинский” // Вестн. КузГТУ. — 2004. — № 3.
8. **Назаров И. В.** Численное моделирование перевалки вскрышных пород драглайнами // Вестн. БФУ. — 2013. — № 4. — С. 53–60.
9. **Меньшонок П. П., Ческидов В. И.** Выбор схемы отработки пологопадающих месторождений, обеспечивающих максимальное размещение вскрышных пород в выработанном пространстве // Сб. докл. II Междунар. конф. по открытым работам. — М., 1996.
10. **Селюков А. В.** О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработке угольных месторождений Кемеровской области // ФТПРПИ. — 2015. — № 5. — С. 23–34.
11. **Кириллов М. А.** Повышение эффективности взрывного перемещения вскрышных пород в выработанное пространство при бестранспортной системе разработки угольных месторождений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Иркутск, 1999.
12. **Ивановский Д. С.** Перемещение разнопрочных горных пород в выработанное пространство карьера взрывами скважинных зарядов // Рациональное освоение недр. — 2011. — № 2. — С. 54–57.

*Поступила в редакцию 11/IV 2016*