

УДК 622.271.322

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ  
БЕСТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ  
СВИТЫ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

**В. И. Ческидов, А. С. Бобыльский, А. В. Резник**

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

Рассмотрены бестранспортные технологические схемы отработки нижних горизонтов вскрышной толщи угольных месторождений Кузбасса со свитовым залеганием пластов. Приведена методика расчета параметров схем экскавации и переэкскавации вскрышных пород при отработке вскрышной заходки экскаватором-драглайном. Установлена зависимость коэффициента переэкскавации от места и уровня установки драглайна. Даны рекомендации по выбору его трассы при формировании внутреннего отвала вскрышных пород. Выделены основные направления расширения области применения бестранспортной технологии.

*Пологопадающие месторождения, бестранспортная система, параметры, технологические схемы, драглайн, вскрышные породы, область применения*

В угольной отрасли России сохраняется устойчивая тенденция преимущественного развития открытого способа угледобычи, удельный вес которого превышает 70 % [1]. На более чем 120 ныне действующих разрезах страны применяются транспортные и комбинированные (транспортно-бестранспортные) системы разработки месторождений. В Кузнецком бассейне функционирует 36 угольных разрезов производственной мощностью от 200 до 10 000 тыс. т угля в год. Как показывает опыт, из всех используемых на этих разрезах систем разработки наиболее высокие технико-экономические показатели имеет система с непосредственной перевалкой вскрышных пород экскаваторами-драглайнами, при которой трудоемкость таких работ в 3–3.5 раза, а себестоимость вскрыши в 2–2.5 раза ниже, чем при транспортной системе [2]. В практике открытых горных работ система разработки с перевалкой вскрышных пород драглайнами (далее — бестранспортная) получила распространение в основном при эксплуатации угольных месторождений с горизонтальным и пологим залеганием пластов.

Бестранспортная система нашла широкое применение при освоении открытым способом практически всех месторождений Кузбасса для вскрытия выходов угольных пластов под наносы, проходки разрезных и въездных траншей, перевалки пород вскрыши в выработанное пространство или во временные отвалы, устройства нагорных канав и других сооружений. При соответствующих условиях она обеспечивает наилучшие показатели горных работ: устойчивый режим ведения и высокую производительность вскрышных работ; низкую, в сравнении с транспортными системами разработки, себестоимость выемки и перемещения горной массы; возможность отработки массивов горных пород в сложных горнотехнических условиях и др. Основная область применения бестранспортной системы — отработка массивов вскрышных пород на месторождениях с углами падения пластов 12–15°, обусловленная прежде всего устойчивостью внутренних породных отвалов.

Характерными особенностями месторождений Кузбасса, где внедрена бестранспортная технология, являются: свитовое залегание пологопадающих пластов, наличие скальных и полускальных вмещающих пород, пересеченный рельеф поверхности, несогласность залегания пластов с рельефом поверхности, невыдержанность мощности пластов и междупластий как по простиранию, так и вкрест простирания, значительная мощность угленасыщенной зоны. Исходя из этих особенностей, значительно усложняющих отработку продуктивной толщи, на разрезах Кузбасса изначально нашла применение комбинированная система разработки, при которой вскрыша над верхними пластами вывозится на внешние или внутренние отвалы, а порода междупластий нижних пластов перемещается в выработанное карьерное пространство экскаваторами-драглайнами производства ОАО “Уралмаш” с ковшами вместимостью от 6 до 40 м<sup>3</sup> и длиной стрелы 60–90 м [3].

Удельное участие этой системы, получившей свое максимальное развитие в начальные периоды эксплуатации разрезов, в настоящее время не превышает 9–10% их общего объема, что обусловлено повсеместным увеличением мощности обрабатываемой вскрышной толщи при устойчивых ограниченных значениях мощности бестранспортной вскрыши. Вместе с тем, как показывают исследования, возможности бестранспортной системы разработки на разрезах Кузбасса полностью не исчерпаны. Одним из действенных способов повышения удельного веса и эффективности бестранспортной системы является совершенствование схем экскавации вскрышных пород драглайнами на основе оптимизации соответствия их параметров горнотехническим условиям разрабатываемых массивов горных пород.

В ИГД СО РАН разработана методика расчета параметров схем экскавации, предусматривающих отработку развала вскрышных пород драглайнами из двух положений: с развала (вскрышная ось прохода) и предотвала (отвально-вскрышная ось прохода). При расположении экскаватора на развале вначале проводится экскавация породы из передовой траншеи  $V_{вз}$  и перевалка ее в первичный навал (рис. 1), а также переэкскавация породы, извлекаемой при выравнивании рабочей площадки  $V_{вп}$ . При установке экскаватора на предотвале выполняется экскавация оставшейся породы в заходке  $V_{пз}$  и переэкскавация пород первичного навала, не размещившихся в контурах постоянного отвала  $V_{пп}$ .

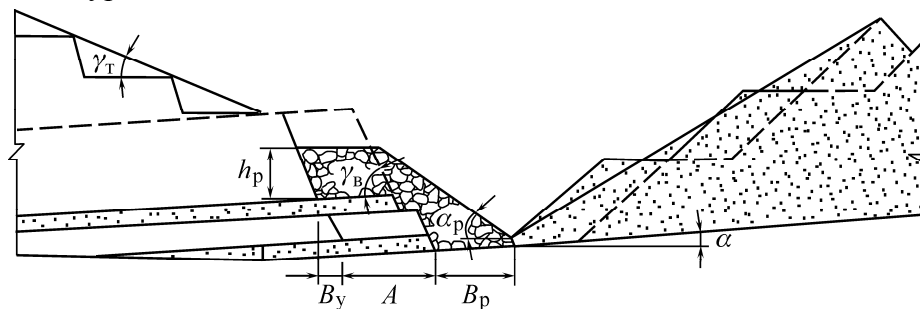


Рис. 1. Положение драглайнов на вскрышной и отвально-вскрышной осях:  $h_p$  — высота развала вскрышных пород в заходке, м;  $A$  — ширина заходки, м;  $B_y$  — берма безопасности между вскрышным и добычным уступами, м;  $B_p$  — горизонтальная ширина развала по почве отработанной заходки, м;  $\alpha_p$  — угол откоса развала, град;  $\alpha$  — угол падения пластов, град;  $\gamma_b$  — угол откоса вскрышного борта, град;  $\gamma_t$  — угол откоса рабочего борта разреза в транспортной зоне, град

Расчет схем экскавации ведется для предварительно заданных типов и количества экскаваторов при фиксированных значениях переменных величин  $V_{вз}$  и уровня установки экскаватора на предотвале  $H_{уп}$ . Величина  $V_{вз}$  изменяется от нуля до максимального значения, соответствующего приемной способности первичного отвала, и определяется из выражения

$$V_{\text{вз}}^{\text{max}} = h_p [(A + B_y) + 0.5T_T] C_1 - (A + B_y + T_T - l_p)^2 \cdot 0.5C_2,$$

где

$$T_T = h_p C_1 [\text{ctg}(\gamma_B + \alpha) + \text{ctg}(\gamma_r - \alpha)],$$

$$C_1 = \frac{\sin(\gamma_B + \alpha)}{\sin \gamma_B},$$

$$C_2 = \frac{\sin(\alpha_p + \alpha) \sin(\gamma_r - \alpha)}{\sin(\alpha_p + \gamma_r)}.$$

Уровень стояния экскаватора  $H_{\text{уп}}$  меняется от минимального значения (рис. 2а) до максимально возможного (рис. 2б) по условиям устойчивости предотвала  $H_{\text{уп}}^{\text{yc}}$ , максимальной глубины черпания экскаватора  $H_{\text{чп}}^{\text{max}}$ , полноты заполнения емкости предотвала под рабочей площадкой экскаватора породой из вскрышной заходки.

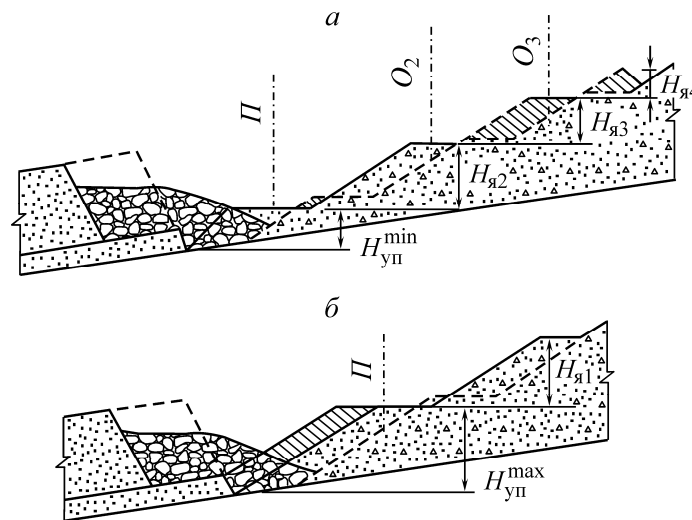



Рис. 2. Схемы к расчету оптимального уровня установки экскаватора на предотвале;  — объем вскрышных пород, подлежащих переэкскавации  $V_0$ : а —  $H_{\text{ст}} = H_{\text{ст}}^{\text{min}}$ ; б —  $H_{\text{ст}} = H_{\text{ст}}^{\text{max}}$ ;  $\Pi$  — ось драглайна на предотвале;  $O_1, O_2$  — второй и третий проходы;  $H_{\text{я1}} - H_{\text{я4}}$  — высота яруса отвала

Значение минимальной и максимальной глубины черпания драглайна определится из выражений:

$$H_{\text{уп}}^{\text{min}} = h_{\text{уг}} + (B_p + A \cos \alpha) \text{tg} \beta + \frac{A_0 \sin \alpha_p \sin \beta}{\sin(\beta + \alpha_p)},$$

$$H_{\text{уп}}^{\text{max}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{по}}} [H_B A K_p + (\text{Ш}_{\text{по}} - A_0)^2] \frac{\sin \alpha \sin \gamma_y}{2 \sin(\gamma_y + \alpha)} + 0.5 A_0 \sin \alpha,$$

где  $h_{\text{уг}} = A \sin \alpha$  — углубление горных работ после отработки очередной заходки, м;  $B_p$  — ширина развала по почве отработанной заходки, м;  $\beta$  — угол откоса борта отвала, град;  $A_0 = (A \sin(\beta - \alpha)) / \sin \beta$  — горизонтальная ширина отвального слоя, м;  $\text{Ш}_{\text{по}}$  — ширина рабочей площадки экскаватора на предотвале, м;  $H_B$  — обрабатываемая мощность вскрыши, м;  $K_p$  — коэффициент разрыхления вскрышных пород;  $\gamma_y$  — угол откоса уступа, град.

При отработке развала вскрышных пород наибольший объем переэкскавируемых пород отмечается при расположении экскаватора на предотвале. Он складывается из объемов пород первичного навала  $V_n$  и предотвала  $V_{по}$ , не попавших в емкость постоянного отвала. Под предотвалом понимается навал вскрышных пород в подошве основного отвала, включающий в себя контуры первого яруса отвала и служащий для размещения на нем экскаватора. Ширина предотвала рассчитывается с таким условием, чтобы экскаватор с отвально-вскрышной оси прохода мог освободить контуры добычной заходки от вскрышных пород. При этом контуры первичного навала могут быть в границах предотвала или выступать за их пределы как по высоте, так и по ширине. Объем  $V_n$  встречается в случаях, когда контуры первичного навала выступают за пределы контуров первого яруса отвала, объем  $V_{по}$  — в случаях, когда контуры первичного навала находятся внутри проектных контуров предотвала.

Важным моментом при переэкскавации вскрышных пород является совмещение объемов  $V_n$  и  $V_{по}$  за счет полного заполнения контуров предотвала объемами вскрыши первичного навала, что соответствует условию  $L_{по} = L_n$  и  $\Pi_{по} = \Pi_n$ , где  $L_{по}$  — длина отвального слоя на предотвале, м;  $L_n$  — длина первичного навала, м;  $\Pi_n$  — ширина отвального слоя, м (рис. 3б). Этого можно достичь изменением угла разворота вскрышного экскаватора на разгрузку и варьированием объемов  $V_{вэ}$ .

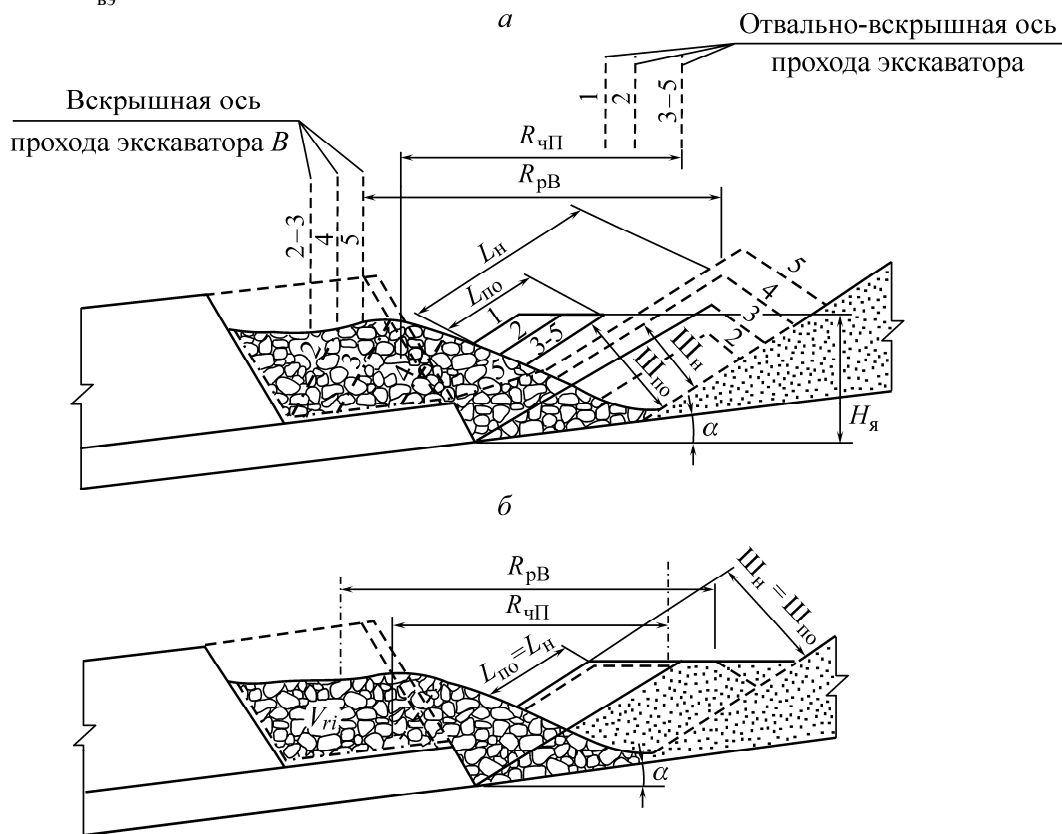


Рис. 3. Схемы к расчету оптимального распределения вскрыши, обрабатываемой торцевым (а) и боковым (б) забоями:  $R_{чп}$ ,  $R_{рв}$  — радиус черпания и разгрузки драглайна на переэкскавации и вскрыше, м

Оптимизация параметров схем экскавации предполагает выбор такого объема траншеи  $V_{вэ}$  для формирования фиксированного уровня установки экскаватора на предотвале, при котором достигается минимум затрат на отработку развала вскрышных пород. Затем проводится оптимизация параметров по  $H_{уп}$ . При образовании верхних ярусов отвала в случае несоответствия

линейных параметров драглайна и отвала возникает незаполненная емкость яруса, находящаяся между его откосом со стороны постоянного отвала и откосом яруса отвала, отсыпаемого при отработке предыдущей заходки. Заполнение этой емкости обычно происходит при отсыпке вышележащего яруса отвала, что вызывает дополнительный объем переэкскавации  $V_{п.}$ . Для уменьшения этого объема рекомендуется приблизить экскаватор в сторону отвала путем подрезки нижней площадки отсыпаемого яруса отвала на величину, при которой будет соблюдаться равенство высоты незаполненной емкости яруса отвала высоте подрезаемого слоя  $h_{ур.}$

Целесообразность отработки нижних вскрышных уступов по бестранспортной или транспортной системе следует определять последовательно, начиная с нижнего уступа, при выполнении условия

$$C_{би}^n \leq C_{ти}^n, \quad (1)$$

где  $C_{би}^n$ ,  $C_{ти}^n$  — стоимость отработки 1 м<sup>3</sup> вскрыши вскрышного уступа соответственно по бестранспортной и транспортной системе, руб./м<sup>3</sup>:

$$C_{б}^n = \frac{З_{б}^{\Sigma} - З_{б}^B}{V_{в}^n}, \quad (2)$$

$З_{б}^{\Sigma}$ ,  $З_{б}^B$  — затраты на отработку экскаваторных заходок по бестранспортной системе, соответственно суммарные по всем уступам и отдельно — верхнего, тыс. руб./год;  $V_{в}^n$  — годовой объем вскрышных пород нижнего уступа, тыс. м<sup>3</sup>/год.

Отработка нижних вскрышных уступов по комбинированной (транспортно-бестранспортной) системе осуществляется в том случае, когда параметры драглайна на предотвале недостаточны для полного извлечения вскрышных пород нижнего междупластия. Остающаяся часть вскрышных пород этого междупластия отрабатывается мехлопатами с погрузкой в автотранспорт и вывозкой на почву нижнего пласта или непосредственно переваливается мехлопатой в зону радиуса действия драглайна. Использование такой технологической схемы также целесообразно в случаях сложности отработки драглайном развала вскрышных пород нижнего вскрышного уступа на контакте с основным массивом.

При соответствующем технико-экономическом обосновании может быть эффективным использование драглайнов для перевалки во внутренний отвал вскрышной массы, перемещаемой с транспортных уступов автотранспортом, что обеспечивает полную загрузку драглайнов и сокращение дальности транспортирования вскрышных пород. Объем перевозки породы определяется из условия выполнения неравенства (1). Объем вскрыши, перевозимый автотранспортом в зону работы драглайнов  $V_{обт.}$ , может варьировать от минимального значения до оптимального, при котором выполняется условие  $C_{обт.} = C_{т.}$

Реализуемая на разрезах Кузбасса бестранспортная система разработки характеризуется значительными объемами переэкскавации вскрышных пород с коэффициентом переэкскавации  $K_{п.}$  до 2 м/м, что обусловлено сложными горнотехническими условиями разрезов. Поскольку в большинстве случаев при отработке блока на экскавации и переэкскавации вскрышных пород применяется один и тот же экскаватор, то около 15–20 % объема перевалочных работ приходится на сооружение трассы для его перехода с яруса на ярус в отвальной зоне. Следовательно, повышение экономической эффективности бестранспортной технологии зависит от снижения  $K_{п.}$ . Снижение коэффициента переэкскавации может быть достигнуто за счет применения комплекта из двух экскаваторов, когда один работает на вскрыше, а другой — на переэкскавации породы. Так, для разрезов Южного Кузбасса при соблюдении условия равенства скоростей подвигания фронта горных работ в транспортной и бестранспортной зонах экономически обоснован комплект из двух драглайнов — ЭШ-15/90 и ЭШ-10/70. При спаренной работе указанного ком-

плекта высота отвала может достигать 130–140 м. Отсыпка отвала такой высоты традиционным способом потребует четырех проходов, создания наклонных трасс перехода экскаваторов с яруса на ярус и дополнительных объемов переэкскавации. В тех случаях, когда оба экскаватора работают одновременно, нижний должен иметь большую производительность, так как он отрабатывает и перемещает весь объем породы (за исключением части объемов породы, сброшенной взрывом), а верхний — только ту часть, которая не вмещается в нижний ярус. Данная схема обладает эффектом “сложения” линейных параметров драглайнов. Важным преимуществом спаренной работы драглайнов является ускоренное воспроизводство добычного фронта, так как добычная заходка готовится после одного прохода вскрышного экскаватора [4].

При свитовом залегании угольных пластов, характерном для большинства месторождений Кузбасса, решающее значение приобретает вопрос оптимизации мощности вскрышной толщи, отрабатываемой по бестранспортной системе на нижних уступах. По опыту разработки пологопадающих многопластовых угольных месторождений, достигнутые значения последней составляют, как правило, 45–65 м, в отдельных случаях до 80 м [5]. Указанные значения и все приведенные выше положения касаются традиционной для разрезов бассейна углубочной системы разработки угольных месторождений с ведением горных работ по падению угольных пластов от их выходов под наносы. Рядом исследователей предлагается система разработки с разнонаправленным подвиганием фронта горных работ (ФГР), предусматривающая начало освоения залежи по традиционной схеме (карьером первой очереди) с последующим переходом на поперечный порядок развития ФГР по простиранию пластов [6]. Предлагаемая система имеет как ряд преимуществ из-за сокращения расстояния транспортирования вскрышных пород и полноты использования выработанного карьерного пространства для внутреннего отвалообразования, так и недостатки, связанные с образованием карьера первой очереди. Установлено, что в поперечной системе разработки бестранспортная технология также может найти эффективное применение.

Как показывают исследования, в горнотехнических условиях разрезов Кузбасса потенциальные возможности наиболее производительной и экономичной бестранспортной системы разработки полностью не исчерпаны и могут быть реализованы путем [7]:

- 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;
- технического перевооружения разрезов экскаваторами-драглайнами с увеличенными линейными параметрами (например, из типоразмерного ряда ОАО “Уралмаш” с вместимостью ковша 20–100 м<sup>3</sup> и длиной стрелы 90–130 м);
- изыскания способов повышения устойчивости и приемной способности внутренних отвалов вскрышных пород;
- использования драглайнов для перемещения горных пород на вышележащие (концентрационные) горизонты, погрузки горной массы в средства транспорта.

Совершенствование бестранспортной системы разработки предполагает широкое применение в перспективе автоматизированных систем управления и роботизированных комплексов горного оборудования [8–11]. Внедрение этих систем с роботизированными драглайнами на бестранспортных горизонтах позволит увеличить угол откоса и высоту вскрышных уступов, а также общую мощность отрабатываемой бестранспортной вскрыши. На этой основе может быть обеспечено существенное сокращение объемов горно-вскрышных работ (за счет увеличения угла наклона рабочего борта разреза), повышение производительности горно-вскрышного комплекса, промышленной и экологической безопасности горных работ.

## ВЫВОДЫ

Бестранспортная система разработки с использованием экскаваторов-драглайнов нашла широкое применение в Кузнецком каменноугольном бассейне на пологопадающих месторождениях со свитовым залеганием пластов.

Технологические схемы экскавации и переэкскавации вскрышных пород на разрезах Кузбасса отличаются значительным многообразием, обусловленным сложными горно-геологическими условиями залегания угольных пластов. Эффективность схем в значительной мере зависит от соответствия линейных параметров экскаваторов-драглайнов параметрам обрабатываемых блоков, объемов переэкскавации пород вскрыши, а также приемной способности внутренних породных отвалов. Снижение коэффициентов переэкскавации вскрышных пород обеспечивается путем оптимизации места, уровня установки и характера трассы перемещения драглайна.

Расширение области применения наиболее эффективной бестранспортной системы разработки массивов вскрышных пород возможно за счет совершенствования технологических схем экскавации и переэкскавации вскрышных пород, в том числе с высокими уступами; оснащения разрезов экскаваторами-драглайнами с увеличенными линейными параметрами; повышения устойчивости и вместимости внутренних отвалов; использования драглайнов для перемещения горной массы на вышележащие горизонты и погрузки в средства транспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Таразанов И. Г.** Итоги работы угольной промышленности России за 2016 год // Уголь. — 2016. — № 12. — С. 64–80.
2. [www.kru.ru/about/indices/](http://www.kru.ru/about/indices/). Сайт УК “Кузбассразрезуголь”.
3. **Кортелев О. Б., Ческидов В. И., Молотилов С. Г., Норри В. К.** Открытая разработка угольных пластов с перемещением горной массы экскаваторами-драглайнами. — Новосибирск: Изд-во ИП “Илюшин”, 2010. — 215 с.
4. **Александрова В. И.** Оптимальное распределение вскрышного оборудования по рабочим площадкам // ГИАБ. — 2008. — № 1. — С. 303–307.
5. **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. — С. 39–45.
6. **Меньшонок П. П.** Новые технологические решения при использовании диагонально-поперечных систем разработки угольных месторождений // Вестн. КузГТУ. — 2004. — № 6. — С. 68–75.
7. **Ческидов В. И., Норри В. К.** Бестранспортная технология на разрезах Кузбасса: состояние и перспективы // ФТПРПИ. — 2016. — № 4. — С. 109–116.
8. **Рыльникова М. В., Владимиров Д. Я., Пыталев И. А., Попова Т. М.** Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр // ФТПРПИ. — 2017. — № 1. — С. 92–102.
9. **Салахиев Р. Г., Дедюхин А. В., Бахтурин Ю. А., Журавлев А. Г.** Иммитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах // Горн. журн. — 2012. — № 1. — С. 82–85.
10. **Аброськин А. С.** Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2015. — № 12. — Т. 326. — С. 122–130.
11. **Певзнер Л. Д., Югай И. С., Сулейменов Т. З.** К вопросу автоматизированного управления шагающим экскаватором-драглайном // ГИАБ. — 2010. — № 7. — С. 285–291.

Поступила в редакцию 25/1 2017