

УДК 622.271.322

**РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ
ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
С ПЕРЕВАЛКОЙ ВСКРЫШИ ДРАГЛАЙНАМИ**

В. И. Ческидов¹, В. К. Норри¹, Г. Г. Саканцев²

¹*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: cheskid@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

²*Институт горного дела УрО РАН,
E-mail: lubk_igd@mail.ru,
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620219, Екатеринбург, Россия*

Рассматриваются вопросы повышения эффективности открытых горных работ при разработке угольных месторождений за счет расширения области применения систем разработки с перевалкой вскрышных пород драглайнами. Отмечается, что этой наиболее производительной и наименее ресурсоемкой системе в последнее время уделяется недостаточно внимания, что связано, прежде всего, с исчерпанием благоприятных условий ее применения. Приводятся примеры практического использования системы и возможные способы повышения ее эффективности.

Разрез, бестранспортная система разработки, драглайн, область применения

Одним из основных направлений повышения эффективности горнодобывающих отраслей промышленности России является создание новых и совершенствование существующих энергосберегающих технологий добычи минерального сырья. В настоящее время лидирующее положение по объему добываемого угля в стране занимает открытый способ добычи, удельный вес которого превысил 70 % [1]. На 118 ныне действующих разрезах применяются преимущественно транспортные и в меньшей степени комбинированные (транспортно-бестранспортные) системы разработки месторождений. Как показывает опыт, из всех систем разработки наиболее высокие технико-экономические показатели имеет система с непосредственной перевалкой вскрыши экскаваторами-драглайнами, при которой трудоемкость вскрышных работ в 3.5 раза, а себестоимость вскрыши в 2.5 раза ниже, чем при транспортной системе [2]. В практике открытых горных работ система разработки с перевалкой вскрышных пород драглайнами (далее — бестранспортная) получила широкое распространение при эксплуатации угольных месторождений с горизонтальным и пологим залеганием пластов.

Бестранспортная система повсеместно нашла применение при освоении открытым способом практически всех месторождений Кузбасса, включая крутопадающие, 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 [3]. При соответствующих условиях ее применение 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 до 12° , обусловленная, прежде всего, устойчивостью внутренних породных отвалов. Получившая свое развитие в начальные периоды эксплуатации разрезов, в настоящее время участие этой системы в процессах ведения горных работ стабилизировалось и не превышает 9–10 % их общего объема. К примеру, объем вскрышных пород, переработанный по бестранспортной системе разработки разрезами одной из крупнейших холдинговых компаний ХК “Кузбассразрезуголь” на пологопадающих месторождениях Кузбасса в 2012–2013 гг., составил 5–6 % от общего объема вскрыши. Для сравнения: объем вскрышных пород, удаленный с использованием автотранспорта, превышает 90 % [4].

В числе наиболее значимых способов повышения удельного веса и эффективности бестранспортной системы разработки следует выделить:

— совершенствование схем экскавации вскрышных пород экскаваторами-драглайнами на основе оптимизации соответствия их параметров горнотехническим условиям разрабатываемых массивов горных пород;

— разворот фронта горных работ при углах падения нижнего пласта более 12° ;

— организация временных отвалов вскрышных пород в контурах поля разреза;

— применение взрывов на сброс в зоне бестранспортной системы разработки;

— проведение мероприятий по повышению устойчивости внутренних отвалов вскрышных пород;

— перемещение вскрышных пород из предотвала, образованного в зоне бестранспортной системы разработки (по временной перемычке) из объемов автотранспортной вскрыши;

— использование экскаваторов-драглайнов для перевалки вскрыши на концентрационные горизонты и увеличения высоты вскрышных уступов.

Одним из действенных способов увеличения угла откосов карьера (разреза) и сокращения объемов горновскрышных работ следует считать увеличение (до 30–35 м) высоты уступов карьера [5]. Отработку подобных уступов целесообразно проводить, в частности, экскаваторами-драглайнами с перевалкой вскрыши на вышележащий горизонт и последующей перегрузкой горной массы в средства транспорта. Под высокоуступной технологией следует понимать разновидность транспортной системы разработки с отработкой повышенных уступов выемочно-погрузочным оборудованием нижним черпанием и разгрузкой экскавируемой горной массы в промежуточный отвал или транспортные средства, размещаемые на верхней площадке обрабатываемого уступа. Возможен вариант, когда несколько нижних вскрышных уступов обрабатываются драглайнами с подъемом горной массы на расположенный выше и более доступный для транспорта концентрационный горизонт разреза. При этом вскрышные породы нижнего уступа укладываются в промежуточный навал, расположенный на верхней площадке вышележащего уступа, откуда горная масса перемещается драглайнами в навал (бункер) на концентрационный горизонт и вместе с породами очередной заходки уступа загружается в транспортные средства экскаваторами-мехлопатами. Мощность и параметры выемочных драглайнов не ограничиваются грузоподъемностью транспортных средств. Как показывают исследования, отработка продуктивной толщи карьера по высокоуступной технологии позволит [6]:

- сократить количество уступов и транспортных берм;
- увеличить угол откоса рабочего борта разреза с соответствующим сокращением текущих объемов вскрышных работ;
- снизить дальность транспортирования и высоту подъема вскрышных пород, протяженность транспортных коммуникаций;
- уменьшить эксплуатационные и горнокапитальные затраты на вскрышные работы.

Использование в рассматриваемой технологии драглайнов предполагает разгрузку экскавируемых вскрышных пород на верхнем горизонте по одному из возможных вариантов:

- во временный навал, с последующей перегрузкой пород экскаватором-мехлопатой или фронтальным погрузчиком в средства транспорта;
- в транспортные средства, с применением драглайнов, оборудованных устройствами для прицельной разгрузки (типа “кранлайн”) [7];
- в передвижные бункеры, обеспечивающие перегрузку пород в транспортные средства.

Уменьшение количества вскрышных уступов и сосредоточение значительных объемов горной массы на концентрационном горизонте позволит более чем на 30 % сократить объемы горно-капитальных работ и вскрышающих выработок (за счет уменьшения количества и протяженности транспортных коммуникаций), на 6–8° повысить угол откоса рабочего борта разреза и на 20–30 % снизить текущие объемы вскрышных работ [8].

Выбор вариантов производится в результате их технико-экономического сравнения с учетом горнотехнических условий разреза, характеристики вскрышных пород, типа выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, экономической составляющей технологических процессов.

Зависимости удельных затрат, приходящиеся на 1 м³ вскрыши и 1 т добычи угля от мощности отрабатываемой вскрышной толщи карьера, представлены на рис. 1 (здесь и далее в ценах 2008 г.).

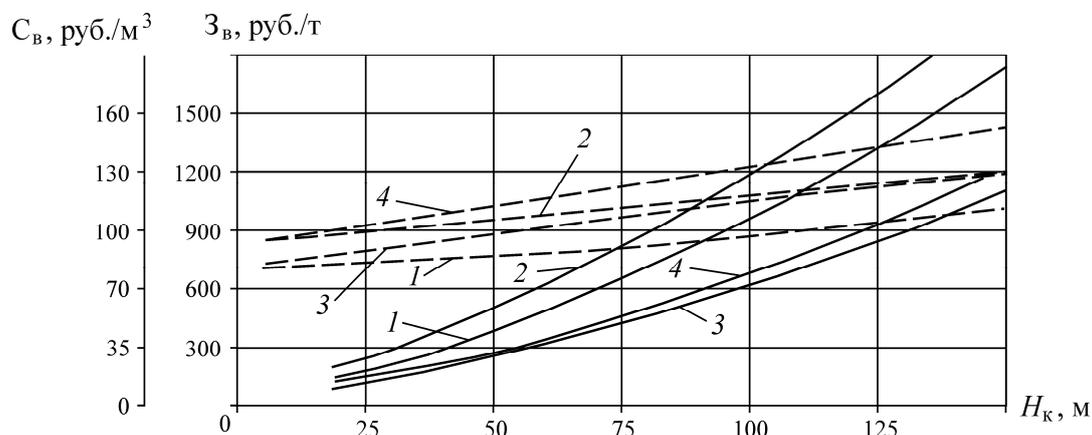


Рис. 1. Зависимости удельных затрат на 1 м³ вскрыши C_v (штриховые кривые) и на 1 т добычи угля Z_v (сплошные кривые) от мощности вскрышной толщи карьера H_k : 1, 2 — транспортная технология с железнодорожным и автомобильным транспортом соответственно; 3, 4 — отработка драглайнами с подъемом породы на концентрационный горизонт и транспортировкой ее на отвалы железнодорожным и автомобильным транспортом

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что во всех вариантах отработки массива вскрышных пород наименьшие затраты на вскрышные работы обеспечивает железнодорожный транспорт. При этом минимальная себестоимость 1 т угля может быть достигнута с использованием комбинированной системы разработки, предусматривающей выемку вскрышных пород

драглайнами и подъем их на верхний концентрационный горизонт с последующим перемещением на отвал средствами транспорта. Так как размер затрат зависит от объема извлекаемой вскрыши, то их распределение по годам эксплуатации карьера соответствует характеру распределения коэффициента вскрыши. Однако, если текущие затраты зависят только от объемов разрабатываемой вскрыши, то на размер затрат, приведенных к началу эксплуатации карьера, оказывает влияние еще и год, в течение которого они выполнены. В связи с этим при одинаковой себестоимости 1 м^3 вскрыши и удельных затратах, а также одинаковых объемах вскрыши в пределах контура карьера может быть получен экономический эффект за счет отнесения части объемов на более поздние сроки. Размер этого эффекта зависит от величины удельных затрат и характера перераспределения вскрыши по годам отработки карьера, наблюдающегося при различных значениях углов откоса рабочего борта карьера β и угла наклона поверхности в пределах карьерного поля ω .

Характер изменения затрат по традиционной транспортной и комбинированной (с перевалкой вскрыши драглайном) системам разработки приведен на рис. 2 [6]. Кривые распределения затрат имеют максимум, приходящийся на 8–9-й годы эксплуатации карьера. При этом применение комбинированной системы разработки с перевалкой вскрышных пород драглайнами на вышележащий горизонт обеспечивает лучшие показатели при всех рассматриваемых горно-геологических условиях: от минимальных значений при согласном и горизонтальном рельефе поверхности в пределах карьерного поля (кривые 2 и 3 на рис. 2а, б) и до максимального при косогорном рельефе (рис. 2в).

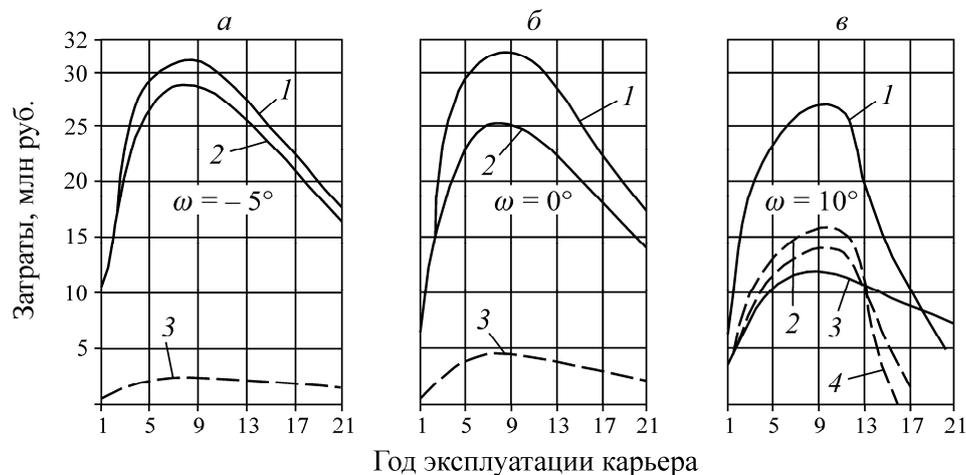


Рис. 2. Распределение приведенных затрат и годового экономического эффекта по вариантам систем отработки карьера: 1 — традиционная транспортная система разработки; 2 — комбинированная система разработки с перевалкой вскрышных пород драглайнами; 3 — годового экономического эффекта при равных удельных затратах; 4 — годового экономического эффекта с учетом затрат на перевалку

Наибольшее влияние на величину приведенных затрат, а следовательно, и на годовую экономию в результате применения системы разработки с перевалкой вскрышных пород драглайнами оказывает угол косогора, затем угол рабочего борта и угол падения пласта.

Удорожающим фактором предлагаемой технологии является необходимость перевалки породы на пути до концентрационного горизонта. Однако расчетный экономический эффект (с учетом всего комплекса расходов на горновскрышные работы, включая дополнительные затраты на перевалку горной массы), получаемый за счет увеличения высоты вскрышных уступов и со-

ответствующего снижения объемов вскрыши, а также уменьшения удельного веса транспортной составляющей горного производства свидетельствует о целесообразности применения в определенных условиях рассматриваемой комбинированной системы разработки месторождений.

Значительные возможности для повышения эффективности бестранспортной системы разработки, как показывают исследования и практический опыт, имеет комплекс буровзрывных работ (БВР) и, в частности, перемещение пород с помощью взрыва. В практике горнодобывающих предприятий взрывы на сброс нашли основное применение при разработке нагорных месторождений минерального сырья и в зоне бестранспортной технологии на слабонаклонных месторождениях. Интерес к технологии ведения вскрышных работ с использованием эффекта взрывоэкскавационного перемещения пород (ВЭП) возникает периодически, при освоении месторождений и участков с благоприятными горно-геологическими условиями, совершенствовании схем взрывания и появлении более дешевых ВВ с повышенными метательными свойствами [2].

Из зарубежного опыта известно много примеров эффективного применения на горнодобывающих предприятиях взрывов на сброс [9]. Например, на карьере MTR компании Martin County Coal (США) по транспортной системе ведется разработка угольного пласта мощностью 1.8 м при мощности вскрышных пород, представленных крепким песчаником, до 65 м. С помощью высокобризантной смеси эмульсионных взрывчатых веществ (ВВ) объем сброса вскрышной заходки в выработанное пространство карьера составил не менее 60 %. На карьере Taft Coal технология ВЭП использовалась в комбинации с бестранспортной системой при разработке трех тонких угольных пластов суммарной мощностью до 2 м. Основная часть вскрыши мощностью до 38 м перемещалась в выработанное пространство с помощью ВЭП. Причем при удельном расходе ВВ 0.47 кг/м^3 объем сброса пород составил более 30 %, а затраты на выемку горной массы сократились в 1.3 – 1.4 раза в сравнении с традиционной технологией.

В большинстве подобных реализаций эффект от применения ВЭП достигался в основном за счет оптимизации схем взрывания и параметров перемещаемых блоков, а также применения наиболее эффективных средств взрывания. Выбор способа взрывания вскрышных уступов производится в зависимости от их количества и соотношения высот, а также исходя из условия максимального использования эффекта взрыва на сброс. В отечественной практике применение взрывов на сброс происходило преимущественно на разрезах с пологим залеганием угольных пластов. Однако в последнее время их использование ограничено главным образом из-за постоянно растущей стоимости ВВ. Согласно экспертной оценке, применение в определенных условиях технологии ВЭП позволит при внедрении инновационных схем взрывания и эффективных средств взрывания существенно повысить производительность горных работ в технологиях с перевалкой вскрыши драглайнами.

При разработке месторождений с углами падения пластов более $12 - 15^\circ$ применение бестранспортной системы возможно путем совершенствования технологических схем и изменения ориентации фронта горных работ (ФГР) относительно направления падения и простирания пластов. Степень разворота ФГР в карьере определяется необходимым уклоном вдоль фронта, который способно преодолевать применяемое технологическое оборудование. Наряду с обеспечением безопасного уклона рабочих площадок, диагональное ориентирование улучшает гидрогеологические условия в рабочей зоне карьера и устойчивость внутренних отвалов. В качестве примера можно привести карьер Butterwell (Великобритания), разрабатывавший угольное месторождение с 14 маломощными пластами (0.15 – 1 м) наклонного падения, четыре из которых обрабатывались по бестранспортной системе с мощностью вскрышных пород 28 – 30 м.

Разворот фронта горных работ на 45° относительно линии падения пластов обеспечил безопасный уклон рабочих площадок, преодолеваемый горным оборудованием, не более 5° , а также улучшил гидрогеологические условия в рабочей зоне разреза и повысил устойчивость внутренних отвалов. Увеличение емкости внутренних отвалов возможно также за счет проведения специальных мероприятий по повышению несущей способности их оснований: рыхление почвы нижнего пласта, создание подпорной стенки (из искусственных конструкций или прочных пород) и т. п.

Исследованиями установлено, что эффективность бестранспортной системы разработки в значительной степени зависит от параметров драглайнов. В частности, линейные параметры машины при отработке рабочего блока оказывают существенное влияние на количество ходов и коэффициент переэкскавации (рис. 3), а вместимость ковша — на ее производительность (рис. 4).

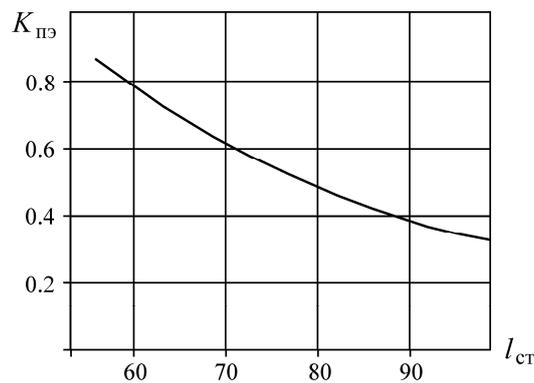


Рис. 3. Зависимость коэффициента переэкскавации ($K_{пэ}$) от линейных параметров драглайна ($l_{ст}$)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что снижение затрат на бестранспортную вскрышу по статье “переэкскавация” может быть достигнуто путем увеличения длины стрелы драглайна, а повышение производительности — увеличением вместимости ковша. При этом максимальный эффект от увеличения вместимости ковша (рис. 4, кривая 3) достигается на переэкскавации горной массы.

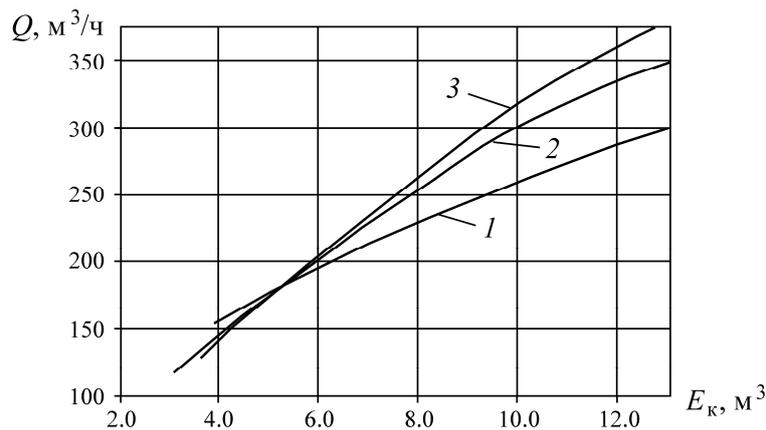


Рис. 4. Изменение часовой производительности экскаватора (Q) в зависимости от вместимости ковша ($E_к$): 1 — на вскрыше; 2 — на вскрыше с переэкскавацией; 3 — на переэкскавации

В настоящее время на разрезах в восточных регионах страны, где бестранспортная система разработки находит наибольшее применение, в эксплуатации находятся повсеместно экскаваторы-драглайны отечественного производства с длиной стрелы до 90 м и вместимостью ковша

шей до 85 м³. В контексте расширения области применения рассматриваемой системы драглайна с указанными параметрами, как показывает опыт их использования, не отвечают в полной мере новационным технологическим решениям. Улучшение показателей бестранспортной системы может быть обеспечено за счет внедрения новых моделей драглайнов, например из линейки основного производителя ОАО “Уралмаш”: ЭШ-25.90, ЭШ-40.100, ЭШ-25.120, ЭШ-65.100, ЭШ-40.130, ЭШ-100.100, ЭШ-100.125. Это подтверждается также практикой применения драглайнов на зарубежных карьерах [10–11].

В условиях многопластовых пологопадающих угольных месторождений Кузбасса в качестве основного критерия для определения границы бестранспортной и транспортной систем разработки принимается равенство стоимости выемки и перемещения вскрышных пород в отвал. При этом себестоимость бестранспортной вскрыши, наряду с горно-геологическими условиями разрабатываемого массива, определяется параметрами экскаваторов-драглайнов и кратностью перевалки (переэкскавации) пород. В качестве критерия для установления границ применения систем разработки с перевалкой вскрыши принимается минимум суммарных затрат на вскрышные работы.

Существующие методики определения границ на стабильный период эксплуатации разрезов исходят из равенства послойных приведенных затрат на отработку 1 м³ вскрыши по бестранспортной системе C_{Δ}^6 и средних затрат на отработку 1 м³ вскрыши по транспортной $C_{\text{сп}}^T$ [12]. Анализ показывает, что такой подход справедлив при разработке месторождения, залегающего согласно с рельефом поверхности, т. е. при постоянной мощности вскрыши в зоне транспортной системы. При несогласном залегании бестранспортная система оказывает существенное влияние на режим горных работ за счет увеличения угла откоса рабочего борта разреза. В результате этого происходит перераспределение объемов вскрыши с отнесением части из них (V_{Δ}^T) на конечный период эксплуатации месторождения. С учетом влияния параметров бестранспортной системы разработки на режим горных работ предельное значение послойных затрат на отработку 1 м³ вскрыши по бестранспортной технологии находится из выражения

$$C_{\Delta}^6 = \left[1 + \frac{\sin(\gamma_6 - \gamma_T) \sin(\varphi + \alpha)}{\sin(\gamma_T - \varphi)} \right] C_{\text{сп}}^T \text{ (руб./м}^3\text{)},$$

где α , φ , γ_T , γ_6 — соответственно углы падения пласта и косягора и углы откоса рабочего борта разреза при транспортной и бестранспортной системах разработки, град.

При установлении предельной границы бестранспортной системы разработки помимо экономических факторов в конкретных горнотехнических условиях разрезов (карьеров) следует учитывать и экологические факторы, в частности возможность уменьшения вредных выбросов в атмосферу за счет сокращения количества автотранспортных средств, а также снижения площади изъятия земель под внешние отвалы благодаря размещению дополнительных объемов вскрышных пород во внутренних отвалах.

ВЫВОДЫ

Применение наиболее экономичной бестранспортной системы разработки месторождений твердых полезных ископаемых позволяет, в определенных условиях, существенно снизить как затраты на выемку, так и объемы горновскрывных работ (за счет уменьшения транспортной составляющей и увеличения углов откоса рабочего борта разреза). Область применения этой системы может быть расширена путем оптимизации ее параметров, использования современных высокопроизводительных экскаваторов-драглайнов и совершенствования технологических схем.

Помимо экономических преимуществ, повышение удельного веса бестранспортной системы разработки позволяет снизить негативное воздействие горных работ на природную среду: уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу и сократить площади изъятия земель под внешние отвалы вскрышных пород.

Представляется целесообразным провести переоценку области и условий применения бестранспортной системы разработки на действующих и перспективных отечественных разрезах, в первую очередь в сибирских угледобывающих регионах, с учетом реальных затрат по всем процессам горных работ, стоимости потребляемых ресурсов, требований экологической и промышленной безопасности. Это позволит обосновать наиболее перспективные направления использования эффективной бестранспортной технологии с перевалкой горной массы экскаваторами-драглайнами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Таразанов И. Г.** Итоги работы угольной промышленности России за 2013 год // Уголь. — 2014. — № 3.
2. **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.
3. **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.
4. www.kru.ru/about/indices/ Сайт УК “Кузбассразрезуголь”.
5. **Артемьев В. Б., Опанасенко П. И., Циношкин Г. М., Шендеров А. И.** Аспекты инновационной направленности развития угольных разрезов ОАО “СУЭК” // Уголь. — 2009. — № 2.
6. **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.
7. **Трубецкой К. Н., Сидоренко И. А., Домбровский А. Н., Котровский М. Н.** Кранлайн: актуальная задача создания нового типа экскаватора для разработки месторождений высокими уступами по транспортным системам // Горн. пром-сть. — 2008. — № 4.
8. **Кортелев О. Б., Ческидов В. И., Норри В. К.** Влияние параметров рабочей зоны на режим горных работ и границы карьеров // ФТПРПИ. — 2011. — № 5.
9. **Васильев Е. И., Галкин В. В.** Развитие научных основ эффективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых в условиях больших глубин // Технология открытой разработки пологих и наклонных угольных месторождений за рубежом (обзор). Кн. 1. — Новосибирск, 1991.
10. Use that dragline! World Mining Equipment, 2001, No. 11.
11. Attention to detail boosts dragline’s work, COAL, 1989, No. 12.
12. **Васильев Е. И., Звягинцев Ю. И., Духнов А. П.** Обоснование обрабатываемой мощности вскрыши по бестранспортной технологии // Совершенствование открытой разработки месторождений: сб. науч. тр. ИГД СО АН СССР. — Новосибирск, 1973.

Поступила в редакцию 6/V 2014