

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.322

ВОЗМОЖНОСТИ БЕСТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ В КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В. И. Ческидов, В. Л. Гаврилов, А. В. Резник, Н. А. Немова

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,

E-mail: cheskid@isd.ru, gvlugorsk@mail.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

Проанализированы возможности и преимущества бестранспортной технологии вскрышных работ в составе комбинированных систем разработки сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых. Отмечены особенности и целесообразность применения данной технологии при освоении месторождений с различными горно-геологическими и горно-техническими условиями, разработана методика и порядок определения ее рациональной доли в составе комбинированных систем разработки. Предложены ресурсосберегающие технологические схемы отработки экскаваторами-драглайнами массивов вскрышных пород на брахисинклинальных, обводненных и крутопадающих пластовых месторождениях. Рассмотрены наиболее значимые пути повышения эффективности использования бестранспортной технологии.

Месторождения, твердые полезные ископаемые, комбинированные системы разработки, бестранспортная технология, технологические схемы, переексплуатация, внутренние отвалы, экологическая безопасность

DOI: 10.15372/FTPRPI20250309

EDN: INMSBD

Открытый способ добычи твердых полезных ископаемых (ТПИ) в России повсеместно используется на коренных и аллювиальных месторождениях (угольных, железорудных, цветных металлов, алмазонасных, общераспространенных). В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий на разрезах и карьерах распространены преимущественно транспортные и комбинированные (транспортно-бестранспортные) системы разработки. Возможность применения в составе комбинированных систем экономичной бестранспортной технологии делает их более востребованными при освоении пластовых, прежде всего угольных, залежей.

Работа выполнена в рамках проекта НИР (номер госрегистрации 121051900145-1).

Несмотря на активное продвижение в мировом сообществе альтернативных носителей энергии, уголь остается надежным источником тепло- и электроэнергетики в большинстве стран мира, включая Россию. Угольные запасы страны (без учета ДНР и ЛНР), сосредоточенные в 22 бассейнах и 147 отдельных месторождениях, составляли на 01.01.24 г. 272.7 млрд т, 63 % из которых пригодны для открытой разработки. За 2014–2023 гг. доля открытых работ (около 230 объектов учета) возросла с 74 до 83 % [1–3]. Основные производители угольной продукции сосредоточены на востоке страны в Кузнецком, Горловском, Канско-Ачинском, Минусинском, Иркутском, Буреинском, Южно-Якутском, Сахалинском бассейнах. В Сибирском федеральном округе в 959 объектах учтено 151.9 млрд т, в Дальневосточном в 516 объектах — 25.2 млрд т балансовых запасов, из которых более 66 % пригодны для добычи открытым способом [4–6].

ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Среди известных технологий отработки массивов вскрышных пород наиболее высокую производительность при наименьших эксплуатационных расходах имеет бестранспортная технология с использованием экскаваторов-драглайнов для экскавации и перемещения горной массы во внутренние породные отвалы [6]. Наибольшая результативность при этом достигается при разработке горизонтальных и пологопадающих пластовых месторождений с падением пластов 12–15°, обеспечивающих устойчивость отвальной массы. На месторождениях ТПИ, включая крутопадающие, возможно ее эффективное использование для проходки вскрывающих горных выработок, удаления покрывающих вскрышных пород в зоне выходов пластов и рудных тел под наносы, перемещения горных пород на вышележащие горизонты (в целях сокращения расстояния их транспортирования), выемки горных пород из придонной зоны разреза (карьера), в том числе находящихся под водой.

Исходя из горно-геологических условий осваиваемых месторождений ТПИ, бестранспортная технология применяется на разрезах Кузнецкого, Зейско-Буреинского, Иркутского, Южно-Якутского и других бассейнов. В качестве основного выемочного оборудования используются драглайны ОАО “Уралмашзавод”. В условиях строящихся разрезов такая технология успешно использовалась для проходки вскрывающих выработок и удаления наносов на выходах пластов под наносы, обеспечивая возможность опережающей добычи угля. Предельная мощность вскрышной толщи, отрабатываемой по усложненным схемам, не превышает 50–65 м, что обусловлено главным образом горно-геологическими и горнотехническими особенностями залегания угольных залежей, а также параметрами работающих драглайнов. Учитывая преимущества бестранспортной технологии отработки вскрышных пород, представляется необходимым увеличение ее доли в составе комбинированных систем разработки месторождений ТПИ [7].

Обоснование области применения бестранспортной технологии следует проводить с учетом ее технологических возможностей и экономической целесообразности. Ограничительными факторами отработки вскрыши нижних пластов свиты выступают приемная способность внутренних отвалов вскрышных пород и линейные параметры драглайнов, а также превышение расходов бестранспортной технологии по сравнению с другими технологиями. Использование в комбинированных системах бестранспортной технологии с перемещением вскрышных пород драглайнами не вызывает сомнений, если учесть ее значительные технологические возможности:

— наиболее экономичное перемещение вскрышных пород (по кратчайшему расстоянию) в выработанное карьерное пространство при отработке пластовых залежей;

- подъем горной массы на вышележащие уступы с сокращением расстояния ее транспортирования до конечного пункта складирования;
- проходка въездных и разрезных траншей, вскрытие выходов пластов под наносы с организацией опережающей добычи полезных ископаемых в начальный период строительства предприятия (в отсутствие развитой производственной инфраструктуры);
- выемка (нижним черпанием) запасов полезных ископаемых из придонной зоны при доработке залежей;
- наименее затратное удаление по бестранспортным схемам на россыпных залежах вмещающих пород и извлечение ТПИ, в том числе в подводном состоянии;
- повышение экологической безопасности горного производства на основе рационального использования выработанного карьерного пространства, без изъятия дополнительных земельных площадей, и предотвращение загрязнения атмосферы выхлопными газами транспортных средств.

В комбинированных системах бестранспортной отработки междупластий пологопадающих месторождений имеются свои особенности: зависимость объемов вскрышных пород, перемещаемых по бестранспортным схемам во внутренние отвалы, от приемной способности последних, а также темпов развития фронта горных работ на транспортных горизонтах разрезов от его динамики в бестранспортной зоне [8]. Влияние этих факторов может быть снижено за счет апробированных технологических решений. Повышение приемной способности внутренних отвалов может быть достигнуто путем совершенствования схем переэкскавации горной массы; раздельной выемки и складирования разнопрочных вскрышных пород; рыхления основания отвала и укрепления его искусственными подпорными сооружениями (призма упора, целик полезного ископаемого и т. п.), по второму фактору — за счет целенаправленного планирования горных работ с увязкой подвигания их фронта в бестранспортной и транспортной зонах разреза.

Результативность складирования экскавируемых драглайнами вскрышных пород в выработанном карьерном пространстве зависит от приемной способности и устойчивости внутренних отвалов. Степень использования приемной способности определяется, как правило, технологическими схемами складирования горной массы и параметрами задействованных в них драглайнов.

При обосновании мощности бестранспортной вскрыши решающее значение имеет объем вторично перемещаемой драглайном горной массы, оцениваемый коэффициентом переэкскавации (отношение объема переэкскавируемой горной массы к объему обрабатываемого блока).

Эффективность бестранспортной отработки массивов вскрышных пород в значительной степени зависит от его значения — минимального в простых и предельного в усложненных технологических схемах, с отсыпкой соответственно одноярусных и многоярусных отвалов. Решающее значение при формировании отвалов имеют параметры используемых драглайнов. Длина стрелы предопределяет количество рабочих ходов драглайна и коэффициент переэкскавации (рис. 1а), а вместимость ковша — его производительность (рис. 1б). Наибольший эффект от увеличения вместимости ковша достигается в процессе переэкскавации пород (рис. 1б, кривая 3). Таким образом, степень использования вместимости внутренних отвалов может быть повышена на основе оптимизированных бестранспортных схем и драглайнов с линейными параметрами, соответствующими горнотехническим условиям конкретного предприятия [9].

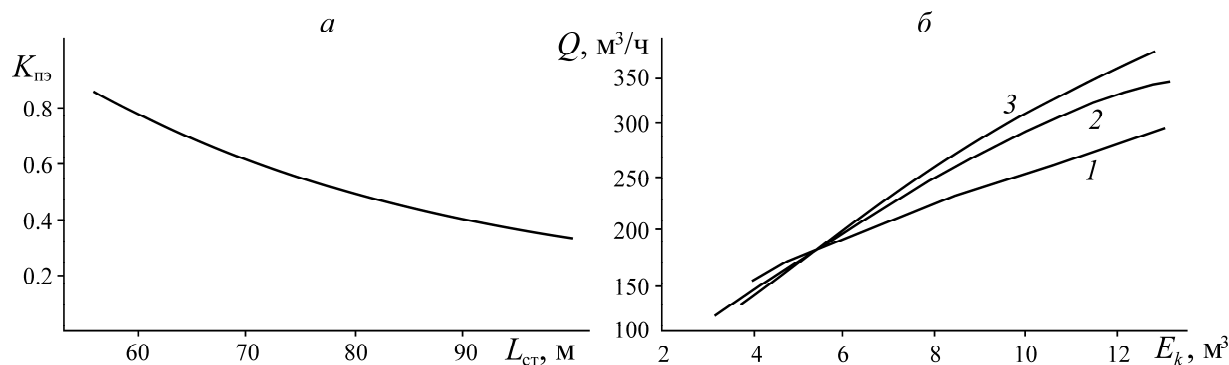


Рис. 1. Зависимость коэффициента переэкскавации $K_{пэ}$ от длины стрелы $L_{ст}$ (а) и производительности драглайна Q от вместимости ковша E_k (б): 1 — экскавация вскрышных пород; 2 — экскавации с переэкскавацией; 3 — переэкскавация

Данному требованию соответствует модельный ряд шагающих экскаваторов ПАО «Уралмашзавод», выпускающий драглайны со стрелами длиной 75–130 м и вместимостью ковшей 10–100 м³, которые отвечают разнообразным условиям разработки месторождений ТПИ.

Показатели бестранспортной технологии могут быть улучшены за счет увеличения высоты вскрышных уступов, не превышающих на разрезах 10–20 м (из-за ограниченных возможностей карьерных экскаваторов). Высокоуступные технологические схемы с использованием драглайнов с удлиненными линейными параметрами позволяют уменьшить объемы горнокапитальных работ, сократить расстояние перевозки горной массы и снизить эксплуатационные расходы на ведение горных работ. Установлено, что увеличение на 1° угла откоса борта обеспечивает снижение на 3–4 % текущих объемов вскрыши [10].

ОТРАБОТКА ПОЛОГОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Бестранспортная технологическая схема предусматривает отработку драглайнами на пологопадающих угольных месторождениях двух нижних вскрышных уступов высотой, определяемой глубиной черпания машин (рис. 2). Экскавация и переэкскавация вскрышных пород на высоких уступах 1 выполняется драглайнами 4 и 13 (во внутренние отвалы 8), а вышележащих уступов — экскаваторно-автомобильными комплексами 2 на транспортные отвалы 10, размещаемые поверх внутренних отвалов. Для транспортирования добываемого угля и прокладки инженерных коммуникаций предусматривается сооружение технологической конвейерной галереи 9, размещаемой под отвалами вскрышных пород.

Заслуживают внимания технологические схемы отработки подобных уступов драглайнами с перевалкой вскрыши на вышележащий горизонт для последующего перемещения горной массы транспортными средствами. Их реализация предполагает разгрузку драглайном вскрышных пород на верхнем горизонте во временные отвалы для последующего перемещения горной массы механическими (гидравлическими) экскаваторами или фронтальными погрузчиками в транспортные средства либо в передвижные бункерные устройства. Использование указанных технологических схем позволит расширить область применения бестранспортной технологии и снизить ресурсоемкость горного производства.

Наилучшими условиями для внутреннего отвалообразования обладают горизонтальные и пологопадающие пластовые месторождения, разработка которых может производиться по простой продольной системе — от выхода нижнего пласта свиты под наносы с возможно-

стью одновременного формирования внутренних отвалов на его почве. Ограничивающим фактором в этом случае является угол наклона почвы нижнего пласта, который по условию устойчивости отвала не должен превышать $12 - 15^\circ$.

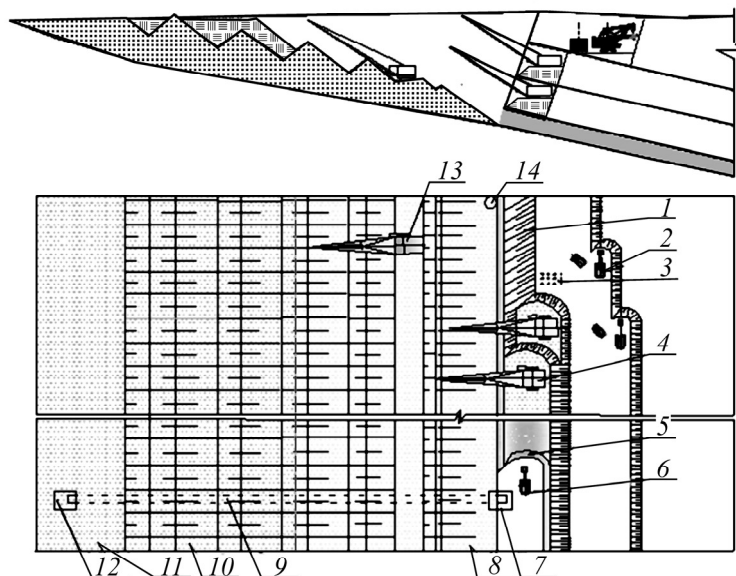


Рис. 2. Технологическая схема бестранспортной отработки пологопадающего месторождения высокими уступами: 1 — бестранспортный уступ; 2 — экскаваторно-автомобильный комплекс; 3 — взрывной блок; 4 — драглайн на вскрыше; 5 — угольный забой; 6 — добычной экскаватор (погрузчик); 7 — передвижной погрузочный пункт; 8 — внутренние (бестранспортные) отвалы; 9 — технологическая галерея (транспорт угля, инженерные сети); 10 — транспортные отвалы; 11 — рекультивированные отвалы; 12 — перегрузочный пункт, приводная станция конвейера; 13 — драглайн на переэкскавации; 14 — зумпф

Как показывает опыт эксплуатации разрезов Кузбасса, по бестранспортной технологии с внутренним отвалообразованием вскрышных пород отрабатываются не более 1–2 нижних породных междупластий общей мощностью 50–65 м, а весь вышележащий массив вскрышных пород с трехкратной и более мощностью удаляется по транспортной технологии во внешние отвалы, занимающие от 20 до 45 % общей площади изымаемых для нужд разреза земель [11].

Увеличение объемов внутреннего отвалообразования может быть достигнуто путем перехода от продольной к продольно-поперечной системе разработки (рис. 3) [12]. В этом случае начало освоения месторождения предусматривается передовым разрезом 2 по бестранспортной технологии от выхода нижнего пласта под наносы (I очередь) с подвиганием фронта горных работ по простиранию пласта. Экскавируемые драглайном вскрышные породы складываются на почве пласта во внутреннем отвале 4, а вышележащая породная масса транспортными средствами перемещается во внешние отвалы 5. Соотношение объемов вскрыши, удаляемой по бестранспортной и транспортной технологиям, зависит от приемной способности внутреннего отвала и технологических схем его формирования. По достижению горными работами конечной глубины разреза 3 осуществляется разворот фронта горных работ на 90° и последующее движение его вкрест простирания пласта.

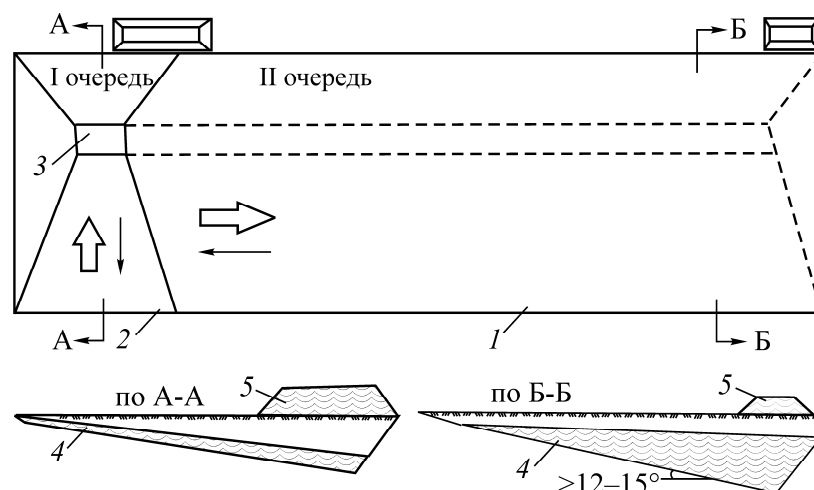


Рис. 3. Принципиальная схема продольно-поперечной системы разработки пластового месторождения: $\Rightarrow$ вектор фронта горных работ; $\rightarrow$ направление перемещения вскрышных пород; I — поле разреза; 2 — передовой разрез; 3 — дно разреза; 4, 5 — внутренний и внешний отвалы вскрышных пород

Полученные показатели долевого участия внутреннего отвалообразования вскрышных пород по рассматриваемым системам разработки приведены на рис. 4. Продольная система показывает лучшие результаты при углах $6-8^\circ$, тогда как продольно-поперечная обеспечивает достаточно стабильные показатели во всем рассматриваемом диапазоне углов наклона пласта [13].

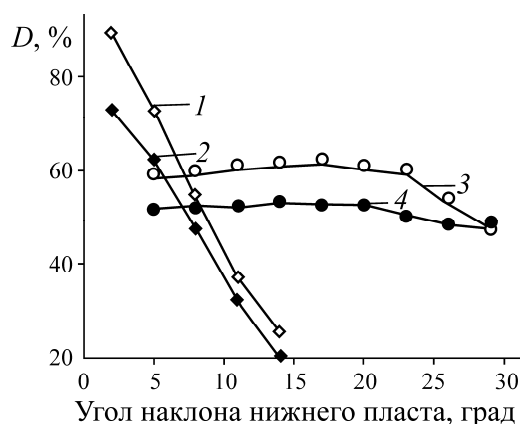


Рис. 4. Объем вскрышных пород D , размещаемых на внутреннем отвале разреза глубиной 250 м, длиной 5 км (1, 3) и 3 км (2, 4) при продольной (1, 2) и продольно-поперечной (3, 4) системах разработки

Одно из важнейших условий безопасного складирования вскрышных пород — устойчивость отвалов любого типа, зависящая от климатических, горно-геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических факторов. Характер и степень влияния факторов различны и определяются конкретными условиями осваиваемого объекта. В значительной степени на устойчивость отвала оказывают влияние состав слагающих пород и их состояние в результате воздействия технологических (дробление, сегрегация, размокание) и природных (выветривание, вымывание и т. п.) процессов. Так, прочностные характеристики подстилающих и складироваемых пород могут ограничивать высоту и углы откосов отвальных яру-

сов, генерального угла откоса отвала, а следовательно, и вместимость отвалов. Если при сооружении устойчивого отвала общей высотой 100 м из сравнительно прочных пород (песчаники, алевролиты) предельный генеральный угол откоса будет равен 33° , то при складировании слабых пород (суглинки, супеси) он не должен превышать 23° . Это значит, что формированию вместительного и устойчивого отвала должна предшествовать оптимизация генерального угла откоса на основе анализа физико-механических свойств складироваемых пород, литологического состава и состояния складированной горной массы, характеристики основания отвала (угла наклона, несущей способности) и другие факторы.

Практика открытых горных работ показывает, что в определенных горнотехнических условиях для повышения результативности бестранспортной технологии целесообразно перемещение вскрышных пород в выработанное пространство с помощью взрывов на сброс, достаточно широко используемых во многих отраслях промышленности. В угольной отрасли впервые направленный взрыв общей массой 1808 т был осуществлен в 1936 г. при освоении Коркинского бурого угольного месторождения (Южный Урал). Аналогичный взрыв произведен в 1952 г. для вскрытия Алтын-Топканского свинцово-цинкового месторождения (Узбекистан) [14]. Для оценки эффективности взрывов на сброс используется коэффициент сброса, значение которого определяется отношением объема пород во взрываемом блоке к объему пород, перемещаемых во внутренний отвал. Коэффициент сброса $K_{сбр}$ зависит от горно-геологических условий залежи (угол падения и мощность нижнего пласта), а также технологических параметров взрывающегося блока (высота уступа, ширина заходки, удельный расход ВВ, угол наклона скважин и т. д.). Опыт проведения взрывов на сброс и результаты исследований выявили следующие зависимости: возрастание $K_{сбр}$ при повышении удельного расхода ВВ, увеличении мощности угольного пласта, подстилающего взрывающийся блок, и при снижении ширины заходки. Снижение $K_{сбр}$ наблюдается при увеличении угла падения угольного пласта, высоты вскрышного уступа и уменьшении удельного расхода ВВ. Из всех приведенных факторов удельный расход ВВ оказывает наиболее ощутимое влияние на значение коэффициента сброса [15].

Наибольшее применение взрывное перемещение вскрышных пород во внутренние отвалы нашла в прошлом столетии при открытой угледобыче в Черемховском и Кузнецком бассейнах с коэффициентом сброса 1.5 – 2.0, что существенно улучшало показатели бестранспортной технологии. В настоящее время этот способ недропользователями практически не используется. Накопленный опыт и результаты исследований [16, 17] свидетельствуют о том, что потенциал взрывов на сброс не исчерпан и в соответствующих условиях сможет быть эффективно применен на основе совершенствования имеющихся и разработки новых интеллектуальных схем взрывания, изыскания ВВ с удовлетворительными стоимостными показателями и повышенными метательными свойствами при оптимизации параметров взрывающихся блоков и схем взрывания. Это позволит повысить результативность и доленое участие бестранспортной технологии в составе комбинированных систем разработки пластовых месторождений и, как следствие, конкурентоспособность горного производства.

Одним из вариантов расширения потенциала использования взрывов на сброс в условиях рыночной экономики может стать его применение в районах нового освоения месторождений ТПИ, в первую очередь в восточных районах Крайнего Севера страны, где расходы на завоз большого объема традиционных энергоносителей для горной техники значительно превышают расходы на доставку к месту ведения горных работ сравнительно небольшого количества энергетически более эффективных ВВ.

Приведенные технологические возможности бестранспортной технологии могут быть реализованы при ее экономической эффективности в сравнении с возможными вариантами отработки массивов вскрышных пород. В ИГД СО РАН разработана “Методика определения рабочих зон и экономической эффективности бестранспортной отработки массивов горных пород на разрезах”, в основу которой положен принцип целесообразности применения этой и других технологий с использованием в качестве критерия оценки минимума эксплуатационных расходов на экскавацию, транспорт и складирование 1 м³ вскрышных пород.

В качестве базовых рассматриваются наиболее вероятные в составе комбинированных систем разработки пластовых месторождений технологии — бестранспортная, транспортная, взрыв на сброс. Учитывается объем породы, извлекаемый каждым из способов, и относительные затратные коэффициенты (например, 0,5, 0,8, 1,0), характеризующие удельные затраты на перемещение породы. Управляемыми переменными являются высоты обрабатываемых слоев каждым из способов, имеющие технологические ограничения, и лимиты по общей глубине карьера. Использование стандартного симплекс-метода позволяет вычислять оптимальные значения слоев вскрыши, целесообразные для отработки по вариантам технологий. Разработанная программа Sloi позволяет выполнять расчет высоты уступов на основе задания величин: затратных коэффициентов, ограничений высоты слоев и глубины карьера, весовых коэффициентов распределения вскрыши в слое по вариантам извлечения.

ОТРАБОТКА БРАХИСИНКЛИНАЛЬНЫХ И ОБВОДНЕННЫХ И КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Брахисинклинальные месторождения в восточных регионах страны распространены достаточно широко, в числе которых выделяются: Талдинское, Кедровско-Крохалевское (Кузбасс), Нерюнгринское, Эльгинское (Южная Якутия), Лучегорское (Амурская область), Черногорское, Бейское (Хакасия), Харанорское (Забайкалье), Урюпское, Барандатское, Назаровское, Абанское (Красноярский край) [18]. Значительные запасы угля и благоприятные горно-геологические условия залегания обеспечивают возможность создания на их базе крупных разрезов с высокими технико-экономическими показателями. Горно-геологические условия и внушительные параметры брахисинклиналей (площадь до 300 км², глубина погружения до 600 м, углы падения пластов свиты от 0 до 90° и большие запасы угля) предопределяют необходимость использования комбинированных систем их разработки. При этом бестранспортная технология может использоваться для вскрытия залежи; удаления вскрыши на выходах пластов под наносы, включая крутопадающие; отработки междупластев нижних пластов свиты с перевалкой вскрышных пород во внутренние отвалы; опережающей добычи угля на наиболее угленасыщенных участках поля разреза с временным размещением вскрышных пород в границах поля разреза.

При обосновании целесообразности применения рассматриваемой технологической схемы следует учитывать ряд особенностей, присущих большинству брахисинклиналей: непостоянство углов падения пластов угля на крыльях мульды по ее площади и глубине (до 0° в придонной части); снижение устойчивости массивов горных пород, обрабатываемых по восстанию; неоднородный метаморфизм угля по глубине залежи, обуславливающий наличие углей разных марок и технологических групп; наличие нечетко выраженных зон окисления углей по периметру выхода пластов под четвертичные отложения [19, 20].

На рис. 5 приведена технологическая схема отработки наиболее угленасыщенных участков Эльгинского каменноугольного месторождения с временным складированием вскрышных пород в границах поля разреза и последующим перемещением горной массы во внутренние постоянные породные отвалы.

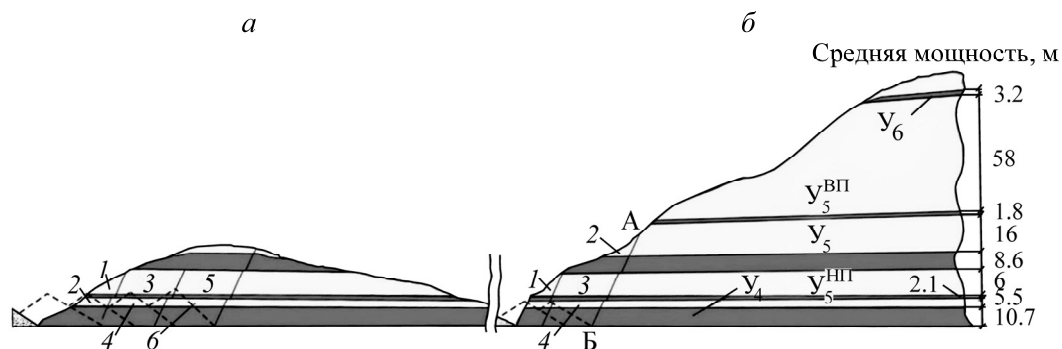


Рис. 5. Схема отработки угольных пластов U_4 и U_5 Эльгинского месторождения с временным отвалообразованием вскрышных пород; 1–6 — последовательность отработки вскрышных заходок, $\triangle-\triangle$ — временные породные отвалы

Добыча угля по этой схеме возможна как на равнинных, так и на нагорных участках месторождения (рис. 5). Применение схемы во втором случае будет ограничено экономически обоснованным коэффициентом переэкскавации вскрышных пород (линия АБ). Реализация предлагаемой технологической схемы позволит организовать опережающую добычу угля; увеличить объем внутреннего отвалообразования; уменьшить первоначальные инвестиционные вложения в строительство разреза и получить экономический эффект [21].

Значительную сложность для открытой угледобычи представляют обводненные месторождения, необходимость освоения которых обусловлена истощением угольных запасов с более благоприятными горно-геологическими условиями залегания. Их отработка требует проведения специальных высокочрезвычайных мероприятий по осушению и водоотведению, позволяющих реализовать технологические возможности и экологическую безопасность горного производства. Анализ наиболее распространенных способов водоотведения карьерных вод (подземный, скважинный, открытый водоотлив) свидетельствует о недостаточной их эффективности в условиях повышенной обводненности залежей и слабой проницаемости горных пород [22]. Исходя из этого, предлагается ресурсосберегающая технологическая схема отработки обводненного пластового месторождения без его осушения, обеспечивающая возможность продуктивного использования в производственных процессах карьерных вод и выработанных карьерных пространств (рис. 6).

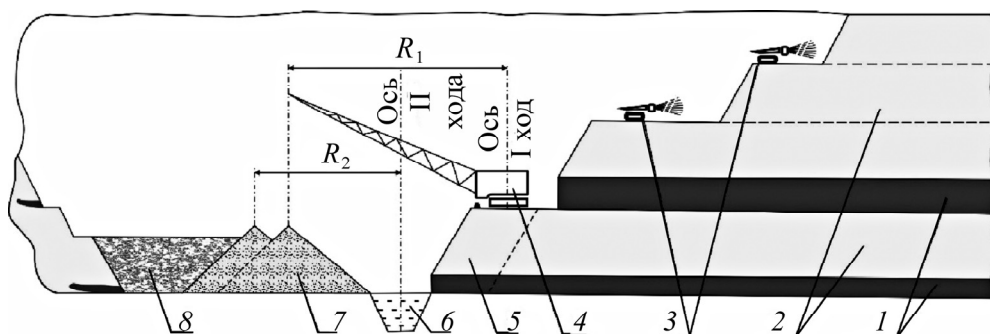


Рис. 6. Технологическая схема открытой отработки обводненного пластового месторождения с внутренним отвалообразованием вскрышных пород: 1 — пласты полезного ископаемого; 2 — вскрышные породы; 3 — гидромониторно-землесосные комплексы; 4 — драглайн; 5 — заходка по нижнему междупластью; 6 — водоприемная траншея; 7 — дамба гидроотвала; 8 — гидроотвал

Удаление вскрышных пород с верхних уступов 2 в предлагаемой схеме предусматривается гидромеханизированным способом с обеспечением гидромониторно-землесосных комплексов 3 карьерными водами и складированием гидросмеси вскрышных пород в гидроотвале 8. Оработка нижнего междупластья 5 производится драглайном 4, осуществляющим проходку водоприемной траншеи 6 (с радиусами разгрузки R_1 и R_2 соответственно). Траншея, предназначенная для сбора и последующей утилизации поступающих в выработки разреза атмосферных осадков и подземных вод, выполняет функцию зумпфа, перемещающегося по падению пластов синхронно с обработкой драглайном 4 очередной заходки по нижнему междупластью. Выемка драглайном вскрышных пород из траншеи и укладка их в дамбу гидроотвала 7 проводится в объемах, соответствующих балансу поступающих и потребляемых в кругообороте карьерных вод:

$$V_{\text{тр}} > (П_{\text{ао}} + П_{\text{пв}} + П_{\text{фв}}) - (Р_{\text{гв}} + Р_{\text{ив}}),$$

где $V_{\text{тр}}$ — объем траншеи, м^3 ; приток воды, $\text{м}^3/\text{сут}$: $П_{\text{ао}}$ — атмосферных осадков, $П_{\text{пв}}$ — подземных вод, $П_{\text{фв}}$ — фильтрат из гидроотвала; расход воды: $Р_{\text{гв}}$ — на питание гидромониторно-землесосных комплексов, $Р_{\text{ив}}$ — потери в процессе ведения вскрышных работ.

Добыча полезного ископаемого осуществляется с помощью экскаваторно-автомобильных комплексов с заездом в добычные зоны по системе скользящих съездов. Освоение обводненных залежей по приведенной схеме позволяет: существенно сократить инвестиционные вложения и эксплуатационные расходы на осушение и водоотведение; задействовать в кругообороте карьерные воды для гидромеханизированной выемки и перемещения в гидроотвал вскрышных пород; использовать техногенный ресурс выработанного карьерного пространства для формирования породного гидроотвала без изъятия для этих целей земель за границами карьерного поля; снизить негативное воздействие горных работ на природную среду.

Освоение крутопадающих и наклонных месторождений ТПИ проводится с помощью транспортных систем разработки и складированием вскрышных пород во внешних отвалах. При определенных условиях бестранспортная технология практикуется лишь для выполнения отдельных операций при вскрытии, например, карьерного поля. Возможности бестранспортной технологии вскрышных работ при освоении крутопадающих месторождений рассмотрим на примере алмазносной залежи — тело “Майское” (Якутия) мощностью 40 м, протяженностью по простиранию 430 м, глубиной 400 м и углами падения $73-80^\circ$. Предполагаемая Институтом “Якутнипроалмаз” система разработки — углубочная, с автомобильным транспортом и внешним отвалообразованием. В условиях залежи использование бестранспортной технологии целесообразно для удаления драглайном и размещения по ее периметру перекрывающих тело осадочных пород мощностью 65–100 м, что позволит снизить сроки и инвестиции на строительство карьера, а также сократить эксплуатационные расходы на горные работы [23].

Технологические схемы бестранспортной обработки верхнего вскрышного горизонта залежи предусматривают удаление драглайном осадочных отложений со всей поверхности поля карьера (заходки 1–14, рис. 7а) или его участков по периметру (заходки 1'–2'), непосредственно прилегающих к границам карьерного поля (рис. 7б). В соответствии с параметрами драглайна ЭШ-20.90 высота бестранспортного уступа $H_{\text{б/тр}}$ принята равной 47 м, а ширина заходки 40 м. Как показывает расчет, для удаления за границы карьерного поля всего планируемого объема вскрыши драглайну потребуется выполнить 14 проходов по экскавации и 36 по переэкскавации вскрышных пород с коэффициентом переэкскавации $4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (рис. 7а). Для проходки вскрывающей выработки по второй схеме драглайну достаточно три прохода, включая однократную переэкскавацию, с коэффициентом $0.8 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

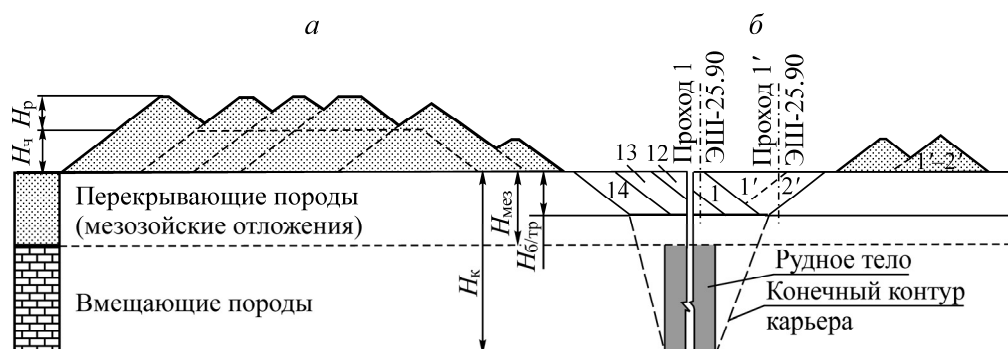


Рис. 7. Технологические схемы бестранспортной технологии вскрышных работ на крутопадающем месторождении: H_k — конечная глубина карьера; $H_ч$ — максимальная глубина черпания; H_p — высота разгрузки; $H_{мез}$ — мощность перекрывающих пород мезозойских отложений

Следует заметить, что геометрические параметры карьерного поля обеспечивают возможность применения и других промежуточных технологических схем бестранспортной технологии с экономически обоснованными коэффициентами переэкскавации. Целесообразность и степень использования вариантов бестранспортной технологии должны оцениваться путем сравнения затрат на удаление вскрышных пород механическими или гидравлическими экскаваторами (погрузчиками) в комплексе с транспортными средствами и непосредственной перевалки пород в отвал драглайнами (с учетом переэкскавации).

Совершенствование и увеличение долевого участия производительной и экономичной бестранспортной технологии выемки вскрышных пород в составе комбинированных систем разработки пластовых месторождений может существенно повысить технико-экономические показатели и экологическую безопасность открытой добычи ТПИ.

Как показывают выполненные исследования и анализ публикаций [7–9, 10–13, 23–28], наиболее перспективными направлениями повышения эффективности бестранспортной технологии являются: оснащение разрезов драглайнами с удлиненными стрелами с вместимостью ковша 20–100 м³ и длиной стрелы 90–130 м; разработка инновационных схем экскавации и переэкскавации вскрышных пород, обеспечивающих перемещение вскрышных пород с минимальными коэффициентами переэкскавации горной массы; увеличение высоты и углов откосов вскрышных уступов и, соответственно, генерального угла откоса борта разреза в бестранспортной зоне; повышение устойчивости и приемной способности внутренних отвалов вскрышных пород; использование в схемах экскавации вскрышных пород взрывов на сброс, на основе интеллектуальных схем взрывания и ВВ с повышенными метательными свойствами; применение методик и программного обеспечения для прогноза производительности драглайнов при экскавации взорванной горной массы в условиях криолитозоны.

ВЫВОДЫ

Бестранспортная технология вскрышных работ играет важную роль в составе комбинированных систем открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых как средство повышения эффективности и экологической безопасности горного производства. Наиболее результативно технология используется на горизонтальных и пологопадающих залежах. Объемы и безопасность внутреннего отвалообразования вскрышных пород зависят от большого ряда факторов, наиболее значимыми из которых являются: угол падения и несущая способность подотвальной поверхности; литологический состав и физико-механические свойства пород основания отвала и складированной породной массы, а также изменение их состояния в результате воздействия технологических и природных процессов.

Разработаны ресурсосберегающие и экологически сбалансированные технологические схемы бестранспортной отработки массивов вскрышных пород в условиях полого- и крутопадающих, брахисинклинальных и обводненных месторождений. Степень значимости бестранспортной технологии в составе комбинированных систем разработки месторождений твердых полезных ископаемых определяется ее возможностью снижения ресурсоемкости и экологической безопасностью горного производства на основе рационального использования природных и техногенных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственный доклад** “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году”. — М., 716 с.
2. **Новак А. В.** ТЭК России — надежность, устойчивость, развитие // Энергетическая политика. — 2025. — № 1. — С. 6–12.
3. **Угольная промышленность** РФ в 2024 году: итоги и вызовы. [Электронный ресурс] — URL: <https://dprom.online/mining/ugolnaya-promishlyennost-rf-v-2024-godu/#> [дата обращения 29.04.2025].
4. **Латыпов З. Г., Кандалова Е. Б.** Госбаланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2022 г. // Уголь. Сибирский федеральный округ / ФГБУ “Росгеолфонд”. — М., 2022. — Вып. 91. — Т. 7. — Ч. 1. — 488 с.
5. **Гусарева Т. В.** Госбаланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2022 г. Уголь. Сибирский федеральный округ / ФГБУ “Росгеолфонд”. — М., 2022. — Вып. 91. — Т. 7. — Ч. 2. — 236 с.
6. **Крылов В. В., Гусарева Т. В., Кандалова Е. Б.** Госбаланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2022 г. Уголь. Дальневосточный федеральный округ / ФГБУ “Росгеолфонд”. — М., 2022. — Вып. 91. — Т. 8. — 440 с.
7. **Селюков А. В., Нечаев А. И.** Результаты математического моделирования разработки безугольной зоны пологопадающих месторождений горизонтальными бестранспортными уступами // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2025. — № 1. — С. 569–584.
8. **Гвоздкова Т. Н.** О повышении эффективности бестранспортной технологии на разрезах южного Кузбасса // В сб.: Современные тенденции и инновации в науке и производстве. Материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. — Междуреченск, 2024. — С. 1.02-1–1.02-8.
9. **Ческидов В. И., Акишев А. Н., Саканцев Г. Г.** К вопросу применения драглайнов на алмазорудных месторождениях Якутии // ФТПРПИ. — 2018. — № 4. — С. 111–123.
10. **Зайцева А. А., Зайцев Г. Д.** Анализ влияния горно-геологических условий и технологических параметров на вместимость внутренних отвалов на пологих месторождениях // ФТПРПИ. — 2009. — № 4. — С. 86–96.
11. **Колесников В. Ф.** Исследование и разработка технологии формирования многоярусных отвалов при автомобильном транспорте на разрезах // Техника и технология горного дела. — 2023. — № 1 (20). — С. 40–70.
12. **Селюков А. В., Терентьев Д. Д.** Обоснование элемента ритмичности при строительстве карьера первой очереди экскаваторами типа обратная гидравлическая лопата и драглайн // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. — 2025. — № 1. — С. 584–599.
13. **Зайцева А. А., Зайцев Г. Д.** Определение реального ресурса выработанного пространства карьеров для внутреннего отвалообразования при разработке наклонных угольных пластов // ГИАБ. — 2011. — № 2. — С. 168–176.
14. **Покровский Г. И., Федоров И. С.,** Возведение гидротехнических земляных сооружений направленным взрывом. — М., 1971. — 212 с.

15. **Ле Кинг Кыонг, Кузнецов В. А.** Экспериментальные исследования и аналитическая оценка коэффициента сброса вскрышных пород при их взрывной перевалке // ГИАБ. — 2013. — № 4.
16. **Ивановский Д. С.** Результаты опытных работ по взрывному перемещению разнопрочных горных пород // Горн. вестн. Узбекистана. — 2009. — № 1. — С. 73–75.
17. **Ческидов В. И., Цымбалюк Т. А., Резник А. В.** Повышение эффективности бестранспортной технологии отработки массивов вскрышных пород с использованием взрывов на сброс // ФТПРПИ. — 2020. — № 2. — С. 96–102.
18. **Свидетельство о гос. регистрации** базы данных № 2022622495. База данных “Угольные месторождения России брахисинклинального типа” / Гаврилов В. Л., Ческидов В. И., Немова Н. А., Резник А. В., Карпов В. Н., Смык М. И., Медведева К. Е. // Оpubл. в БИ. — 2022. — 13.10.2022, Бюллетень “Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем”, № 10.
19. **Гаврилов В. Л., Ческидов В. И., Хоютанов Е. А., Резник А. В., Немова Н. А.** Условия и закономерности внутреннего оталообразования вскрышных пород при открытой разработке брахисинклинальных угольных месторождений // ФТПРПИ. — 2022. — № 6. — С. 112–123.
20. **Мелехов Д. П., Супрун В. И., Пастихин Д. В., Радченко С. А., Левченко Я. В., Панченко О. Л.** Порядок и принципы отработки крупных угольных брахисинклиналей // Уголь. — 2013. — № 6. — С. 22–26.
21. **Хохряков В. С.** Проектирование карьеров. — М.: Недра, 1992. — 383 с.
22. **Резник А. В., Ческидов В. И.** Технология открытой разработки обводненных бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 106–115.
23. **Чаадаев А. С., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф.** Состояние и перспективы развития горнообогатительных технологий на алмазодобывающих предприятиях АК “АЛРОСА” // Горн. пром-сть. — 1917. — № 2. — С. 29–35.
24. **Власов В. М., Андросов А. Д.** Технологии открытой добычи алмаза в криолитозоне. — Якутск, 2007. — 386 с.
25. **Сидоров В. В., Косолапов А. И.** О необходимости оптимизации параметров технологических схем открытой разработки Черногорского каменноугольного месторождения // ГИАБ. — 2021. — Вып. 1. — С. 68–71.
26. **Тюленев М. А., Марков С. О., Гвоздкова Т. Н., Паламарчук А. Б., Селезнев А. В., Сурадеев Н. С., Есин Д. Д.** Исследование структур схем экскавации при отсыпке внутренних многоярусных бестранспортных отвалов // Техника и технология горного дела. — 2022. — № 4(19). — С. 4–34.
27. **Панишев С. В., Каймонов М. В., Максимов М. С., Алькова Е. Л.** К вопросу прогноза производительности драглайна при экскавации смерзающейся взорванной горной массы в условиях месторождений криолитозоны // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2022. — № 3. — С. 136–140.
28. **Панишев С. В., Миронов Я. В.** Программа расчета производительности драглайна при разработке смерзающейся взорванной горной массы // Успехи современного естествознания. — 2020. — № 8. — С. 63–68.

Поступила в редакцию 07/V 2025

После доработки 14/V 2025

Принята к публикации 16/V 2025