

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.3.45

УСЛОВИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БРАХИСИНКЛИНАЛЬНОГО ТИПА

**В. Л. Гаврилов^{1,2}, В. И. Ческидов¹, Е. А. Хоютанов²,
А. В. Резник¹, Н. А. Немова¹**

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,

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

²Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН,

E-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru, просп. Ленина, 43, 677980, г. Якутск, Россия

Выполнен анализ области применения и параметров внутреннего отвалообразования вскрышных пород при открытой разработке угольных месторождений брахисинклинального типа. Выделены особенности реализации данного технологического процесса. Установлены факторы, от которых зависят объемы пород, складываемых в выработанном карьерном пространстве. Отмечены возможные пути увеличения объемов складирования вскрышных пород во внутренних отвалах. Выделены способы и средства, направленные на повышение приемной способности внутренних отвалов. Рассмотрены экономические и экологические преимущества внутреннего отвалообразования.

Угольные месторождения брахисинклинального типа, открытая разработка, вскрышные породы, внутреннее отвалообразование, способы, экологическая безопасность

DOI: 10.15372/FTPRI20220612

Складирование в значительных объемах вскрышных пород — ресурсоемкий и экологически опасный технологический процесс открытых горных работ. На большинстве разрезов Кузбасса доля внешнего отвалообразования достигает 80–85 %, что формирует до 40 % затрат в структуре себестоимости 1 т угля на перемещение пород и ведет к изъятию больших земельных площадей зачастую сельскохозяйственного назначения [1]. Один из наиболее действенных путей снижения ресурсоемкости и повышения экологической безопасности открытой угледобычи — расширение области применения внутреннего отвалообразования вскрышных пород на основе рационального использования выработанных карьерных пространств [2, 3].

При освоении залежей брахисинклинального типа применяется общий подход, учитывающий особенности строения и возможности горного производства для организации внутренних породных отвалов с использованием как транспортной, так и бестранспортной технологий [4–6]. Наибольшая результативность может быть достигнута путем бестранспортной технологии, трудоемкость которой на вскрышных работах в 3.0–3.5 раза, а себестоимость вскрыши

в 2.0–2.5 раза ниже, чем при транспортной системе. Данная технология с перевалкой вскрышных пород экскаваторами-драглайнами получила широкое распространение при эксплуатации угольных месторождений с горизонтальным и пологим залеганием пластов. 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. Основная область применения бестранспортной системы — отработка массивов вскрышных пород по нижним пластам свиты на месторождениях с углами падения до $12–15^\circ$, что обусловлено устойчивостью внутренних породных отвалов. В благоприятных горно-геологических условиях и при соответствующем технико-экономическом обосновании оказывается эффективным использование бестранспортной технологии для отработки и верхних пластов со складированием вскрышных пород во временных породных отвалах в границах поля разреза.

С учетом строения залежей и возможности формирования породных отвалов в выработанном пространстве разрезов можно выделить три вида угольных месторождений брахисинклинального типа с возможными направлениями складирования вскрышных пород [7]. Для первого вида на всех этапах эксплуатации брахисинклинали характерно превышение объемов выработанного пространства над объемами вынимаемой вскрыши в случае отработки пластов увеличенной мощности и при текущем коэффициенте вскрыши до $2.5–3.0 \text{ м}^3/\text{т}$ (рис. 1а). Второй вид отличается тем, что вскрышные породы в начальный период освоения месторождения размещаются во внутренних отвалах, а в последующем перемещаются на внешние отвалы из-за превышения объема вскрыши над приемной способностью выработанного пространства (рис. 1б). Залежи третьего вида (рис. 1в) характеризуются превышением объемов вскрыши по отношению к объемам выработанного пространства в течение всего периода ведения горных работ и высокими коэффициентами вскрыши ($10–15 \text{ м}^3/\text{т}$).

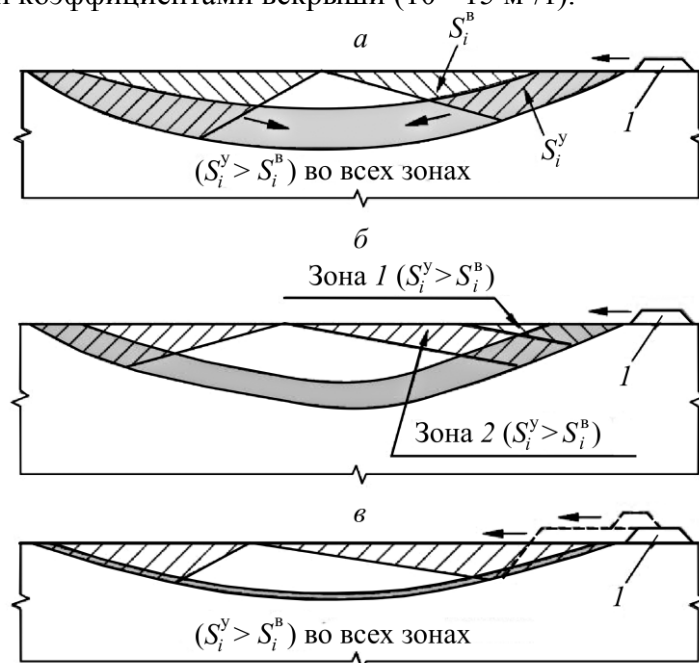


Рис. 1. Виды залежей брахисинклинального типа по условиям использования выработанного карьерного пространства, образуемого при выемке пластов различной мощности (а–б); I — внешний породный отвал; S_i^y , S_i^b — площадь (объем) угля и вскрыши в контурах этапа. Стрелками указано направление развития отвальных работ

Формирование и развитие постоянных внутренних отвалов осуществляется от разрезной траншеи на участках с углами их падения до 15° , обеспечивающих устойчивость отвального массива. На подотвальной площади поля, ограниченной указанным параметром, по бестранспортной технологии складировается около 1.4 млрд м^3 из общего объема вскрышных пород (6.6 млрд м^3). Остальная часть вскрыши (5.2 млрд м^3) отрабатывается по транспортной технологии с перемещением вскрышных пород автосамосвалами на внешние отвалы, а также на внутренний отвальный массив, формируемый поверх бестранспортного отвала [8].

На первом этапе по варианту с конвейерным транспортом угля и вскрыши (рис. 2а) основной объем вскрышных пород размещается на внешних отвалах, а часть (около 8–10 % от общего объема) — во внутренних бестранспортных отвалах Центрального и Восточного участков. На завершающем этапе (рис. 2б) все извлекаемые вскрышные породы складировываются в постоянных внутренних отвалах. Расчетная доля вскрышных пород, размещаемых во внешних отвалах за весь период эксплуатации разреза, оценивается в 65–70 %, во внутренних — до 30 %. Как показывают исследования, указанное соотношение является максимально возможным и экологически сбалансированным в условиях рассматриваемого месторождения.

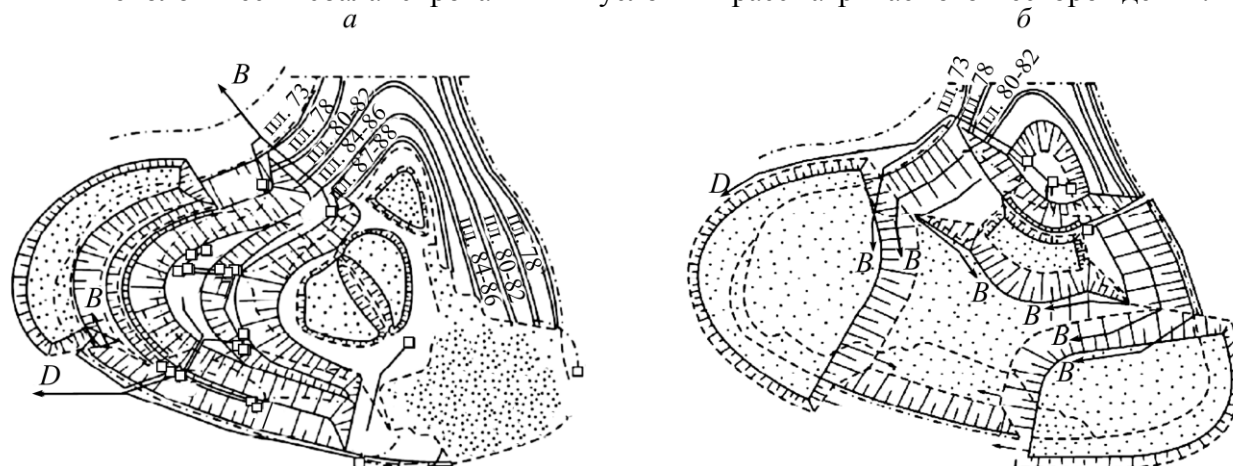


Рис. 2. Этапы разработки Талдинского месторождения: *D, B* — направления перемещения угля и вскрыши; $\square$ — перегрузочные пункты конвейерных линий; штриховка — отвалы вскрышных пород

Горно-геологические условия Эльгинского каменноугольного месторождения в Якутии также обеспечивают возможность внутреннего отвалообразования вскрышных пород уже на начальном этапе его освоения. Согласно техническому проекту строительства Эльгинского горно-обогатительного комплекса ОАО ХК «Якутуголь» (ООО «Мечел–Инжиниринг», 2011), объем вскрышных пород, предназначенных к выемке в течение всего периода эксплуатации I очереди разреза, составит 1413 млн м^3 , из них 93 млн м^3 — наносы, 1320 млн м^3 — коренные породы. Около 265 млн м^3 от общего объема вскрыши будут удалены по бестранспортной и 1148 млн м^3 по транспортной технологиям (соответственно 18.7 и 81.3 %). Складирование вскрышных пород предусматривается во внешних отвалах (59 %), которые находятся в логах вблизи границ поля разреза, и во внутренних бестранспортных, расположенных в выработанном карьерном пространстве с формированием поверх них автомобильных отвала. Во внутренних отвалах предусматривается разместить 41 % извлекаемых вскрышных пород. Очевидно, что в сложных условиях Эльгинского месторождения при принятом порядке и технологиях отработки в выработанном пространстве разреза предполагается разместить значительный объем вскрышных пород, что позволяет сократить эксплуатационные расходы на их транспортирование и повысить экологическую безопасность горного производства.

Для разработки Эльгинского месторождения предлагаются и другие варианты. Например, интегрированная открыто-подземная геотехнология [9], предусматривающая использование комплекса глубокой разработки пластов (КГРП) по самому нижнему пласту свиты Н15, бестранспортную технологию по двум вышележащим пластам Н15в, Н16 и транспортную технологию по всем вышележащим пластам (рис. 3). Применение данной технологии, по мнению авторов, позволит на 10–15 % сократить объемы удаляемых вскрышных пород и, соответственно, снизить эксплуатационные расходы на ведение горных работ. Заметим, что в соответствии с проектом разработки Эльгинского месторождения пласт Н15, как и вышележащие Н15в и Н16, подлежит выемке по бестранспортной технологии с минимальными потерями угля. Как показывает практика, потери угля при использовании технологии КГРП составляют более 40 %, что, очевидно, требует дополнительных обоснований для предлагаемой технологии.

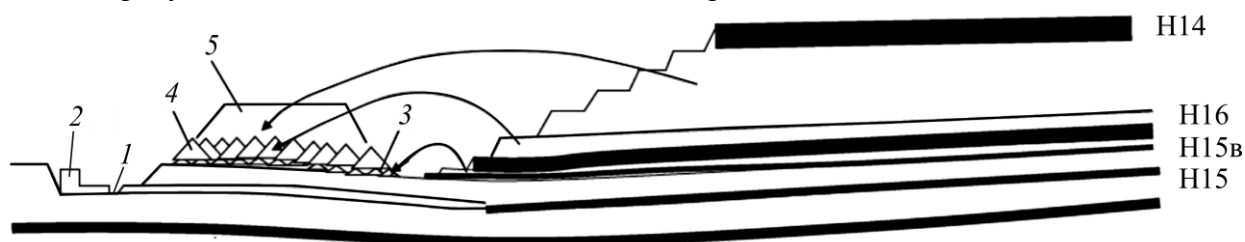


Рис. 3. Интегрированная геотехнология разработки Эльгинского месторождения 1 — полутраншея; 2 — КГРП; 3, 4 — вскрышные породы, экскавируемые драглайном; 5 — внутренний отвал

Анализ горно-геологических условий Эльгинского месторождения показывает, что для его отработки возможно применение различных технологических вариантов, обеспечивающих достижение требуемых целевых показателей (ускоренный ввод новых участков разреза в эксплуатацию, интенсивное наращивание добычи угля, снижение текущего коэффициента вскрыши, обеспечение добычи угля с заданными показателями его качества и т. д.). Заслуживает внимания вариант, предусматривающий в дополнение к нижним рабочим пластам опережающую отработку верхних, наиболее мощных пластов с организацией временных внутренних отвалов. Надлежит использовать участки с пониженным рельефом местности в зоне выходов этих пластов под наносы для возможности добычи угля с минимальными текущими коэффициентами вскрыши. Предпочтительными являются пласты У₄ и У₅ на площадях S₁ и S₂ Северо-Западного и Северного участков месторождения, обладающие повышенной угленасыщенностью и легкодоступными запасами качественных углей (рис. 4).

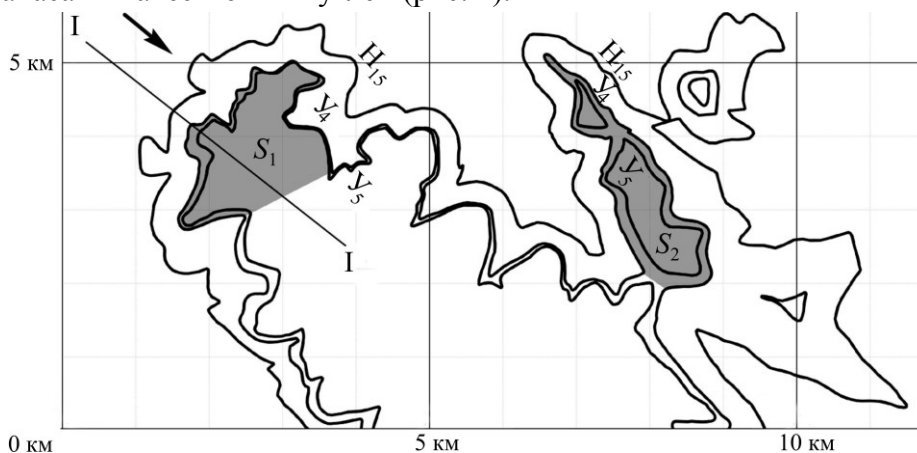


Рис. 4. План выходов пластов Н15, У₄, У₅ Северо-Западного и Северного участков Эльгинского месторождения. Стрелкой указано направление развития ФГР разреза; S₁, S₂ — площади, рекомендуемые для отработки с временными породными отвалами

На выбор конкретного участка, помимо горнотехнических условий, будут оказывать влияние объем и качество намечаемых к добыче углей, транспортная доступность горных работ. В зависимости от расстояния между выходами пластов Y_4 и Y_5 (в плане) под четвертичные отложения и потребности в угле в отработку может быть включен один или оба пласта с развитием фронта горных работ (ФГР) по падению пластов и с размещением временных отвалов вскрышных пород на почве нижнего вынимаемого пласта при задействовании как равнинных (рис. 5а), так и нагорных участков (рис. 5б).

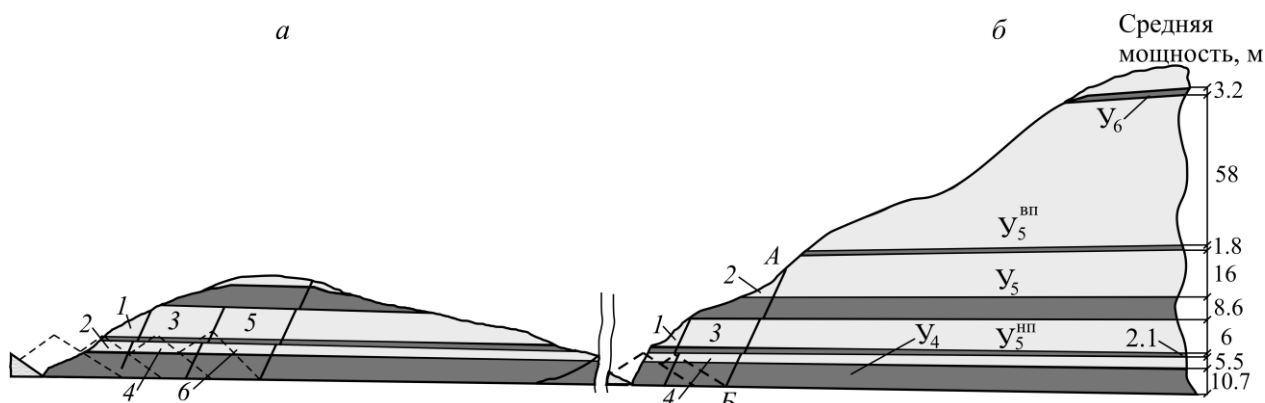


Рис. 5. Схема отработки угольных пластов Y_4 и Y_5 Эльгинского месторождения с временными отвалами вскрышных пород (по I—I рис. 4): 1–6 — последовательность отработки заходов

Планируемые объемы добычи угля по альтернативному варианту следует определять с учетом того, что недропользователь должен получить дополнительные экономические преимущества. Используя чистый дисконтированный доход как общепризнанный показатель эффективности инвестиционных проектов, необходимо отметить соблюдение следующего условия: $Дчд_1 < Дчд_2$, где $Дчд_1$ — чистый дисконтированный доход по базовому варианту; $Дчд_2$ — чистый дисконтированный доход по предлагаемому варианту.

В условиях нестабильности, сложности и неоднозначности процессов, протекающих в мировой экономике, очень трудно прогнозировать цены на минерально-сырьевую продукцию и определять ставки дисконтирования [10]. Однако поступление дополнительных денежных средств от реализации производимой на новом участке продукции, особенно в периоды с наиболее благоприятной конъюнктурой рынка, предопределяет успешность применения приведенного условия, снижает долговую нагрузку на предприятие, уменьшает расходы на обслуживание кредитов с переносом части из них на более поздние периоды.

Принимая во внимание данное обстоятельство, раскрытие которого требует отдельного подробного рассмотрения, ограничимся расходами, учитываемыми при расчете $Дчд$ и реализации варианта с вторичным перемещением породы из временных отвалов (линия АБ на рис. 5б) в постоянные. Дополнительные затраты будут связаны с повторным перемещением породы из временных отвалов в постоянные. Однако предлагаемый вариант угледобычи с временными отвалами вскрышных пород, безусловно, является конкурентоспособным. С учетом положительного действия фактора времени,кратно меньших затрат на вскрытие пластов с применением драглайнов (по сравнению экскаваторно-автотранспортными комплексами) и возможности использования на втором этапе более дешевых систем транспортирования, например конвейерных, он может компенсировать затраты на организацию временных емкостей для вскрышных пород.

Складирование вскрышных пород целесообразно проводить в пониженных местах рельефа и на почве нижнего угольного пласта с минимальным расстоянием их перемещения. В качестве выемочного оборудования для экскавации и перемещения в отвал вскрышных пород могут быть использованы экскаватор-драглайн, фронтальный погрузчик, бульдозер или их комбинации, для добычи угля — гидравлические экскаваторы (погрузчики) в комплексе с автомобильным транспортом. При соответствующем технико-экономическом обосновании, особенно в нагорной части обрабатываемого участка, часть вскрыши может быть также удалена с помощью взрывов на сброс.

Для указанных и других крупных угольных месторождений брахисинклинального типа характерна этапность освоения. Это обусловлено значительными размерами и запасами залежей, разнообразием их горно-геологических условий, что позволяет проводить выборочную отработку участков поля разреза с наименьшими затратами ресурсов. На начальном этапе эксплуатации участка месторождения с наиболее благоприятными условиями и наименьшим текущим коэффициентом вскрыши устанавливаются промежуточные контуры и организуется разрез первой очереди, обеспечивающий высокие показатели добычи угля на ранних стадиях функционирования разреза (10–15 лет). Для поддержания и увеличения производственной мощности в дальнейшем вводятся следующие этапы с ведением горных работ до конечных контуров разреза.

Каждый этап отработки характеризуется определенными признаками систем открытой разработки, зависящими от особенностей строения угольных зон: крутое и наклонное залегание пластов в верхней зоне, пологое — в средней, горизонтальное — в нижней (глубинной) зонах со складированием вскрышных пород соответственно во внешних и внутренних отвалах. Так, на Экибастузском месторождении (Казахстан) в 1955–2005 гг. четырьмя разрезами (Северный, Богатырь, Восточный, Экибастузский) с интервалом 10–15 лет освоено 12 полей и добыто более 2.6 млрд т каменного угля [11]. В числе наиболее значимых проблем при отработке брахисинклинали следует выделить отвалообразование вскрышных пород, ежегодный объем которых достигал 30 млн м³. Основная складированная масса размещена на девяти внешних железнодорожных отвалах, в том числе на четырех действующих. Для внутреннего отвалообразования предназначены два автоотвала и в перспективе — конвейерный отвал, размещаемые в выработанном пространстве разрезов. Четыре конвейерные отвала, включая один действующий, размещаются за контурами разрезов. Для эксплуатации значительного количества разбросанных отвалов потребовалось формирование сложной производственной инфраструктуры. За счет оптимизации использования внутренних площадей брахисинклинали (64 км² по почве пласта 3) путем размещения во внутреннем контуре карьерной инфраструктуры (вскрывающих выработок, транспортных коммуникаций, породных станций и т. п.) удалось сократить объем грузовой транспортной работы и снизить нагрузку на природную среду.

Улучшение экологической ситуации в регионе становится одной из приоритетных задач недропользователей. Площадь земель, занимаемых разрезами под внешние отвалы, составляет более 60 км², в 2 раза превышая площадь г. Экибастуз (28 км²). В сложившихся условиях принято обоснованное решение о преимущественном развитии внутреннего отвалообразования вскрышных пород с формированием временных отвалов в выработанном пространстве законсервированных карьерных полей, постоянных — в южной и северной замковых частях месторождения. Для транспортирования вскрыши на внешние железнодорожные отвалы предусматривается применение циклично-поточной технологии (с ленточными конвейерами), обеспечивающей повышение высоты до 300–350 м.

При общем подходе внутреннее отвалообразование на месторождениях брахисинклинального типа имеет свои особенности, зависящие от горно-геологических условий залежи (размера, количества угольных пластов и углов их падения по площади поля). В период строительства разреза при отсутствии емкости для складирования вскрыши от проходки разрезной траншеи и первых вскрышных заходок организуется внешний отвал за пределами конечных контуров разреза (рис. 6) [12].

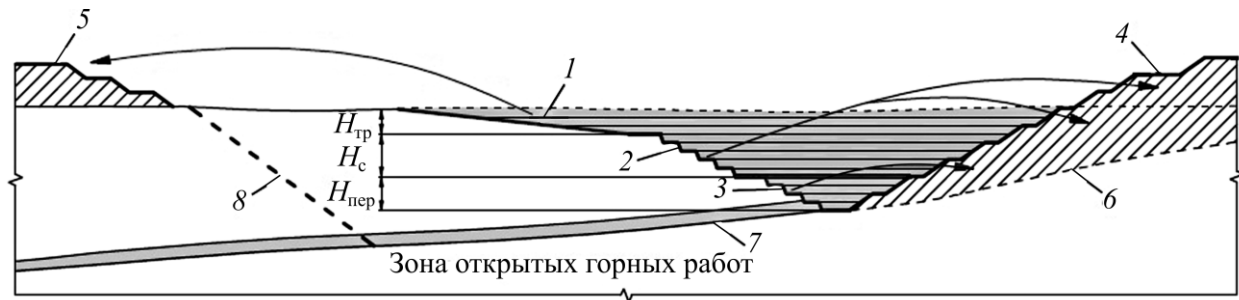


Рис. 6. Схема использования различных типов вскрывающих выработок при отработке угольной брахисинклинали: 1–3 — горизонты, вскрываемые траншеей со стороны рабочего борта разреза $H_{тр}$, скользящими съездами $H_с$, насыпной перемычкой $H_{пер}$; 4 — внутренний отвал; 5 — отвал за границей поля разреза; 6 — основание внутреннего отвала; 7 — пласт угля; 8 — предельный контур разреза

На последующих этапах горных работ размещение вскрыши проводится во внутреннем отвале, располагаемом на почве нижнего угольного пласта. Результаты исследований показывают, что приемная способность выработанного пространства залежей брахисинклинального типа увеличивается с глубиной разреза. Однако при этом существенно возрастают и объемы вскрышных пород, удаляемых с верхних вскрышных горизонтов. В результате понижения горных работ и, соответственно, роста текущего коэффициента вскрыши, как правило, возникает дефицит емкости выработанного пространства ΔV для складирования всего объема отрабатываемой вскрыши, который может быть найден из выражения [13]:

$$\Delta V = k_p V_v - k_{п} \left(V_v + \frac{V_{п.и}}{p} \right),$$

где ΔV — объем вскрыши, превышающий приемную способность выработанного пространства карьера, м^3 ; V_v — суммарный объем вскрыши, удаляемой из карьера, м^3 ; $V_{п.и}$ — объем выработанного пространства, образующийся в результате выемки полезного ископаемого при выполнении вскрышных работ в объеме V_v , т; p — объемная масса полезного ископаемого, т/м^3 ; k_p — коэффициент разрыхления вскрышных пород; $k_{п}$ — коэффициент, характеризующий долю выработанного пространства, которое может быть использовано для складирования вскрышных пород. Отрицательный баланс внутреннего отвалообразования наступает на этапе, когда значение $\Delta V = 0$. Приняв $\Delta V = 0$, а значение $k_{п} = 1$, что соответствует отсутствию ограничений по складированию вскрышных пород в выработанном пространстве карьера, выражение преобразуется:

$$K_{тек}^{кр} = \frac{V_v}{V_{п.и}} = \frac{1}{p(k_p - 1)}.$$

Установлено, что увеличение доли пригодного для внутренних отвалов выработанного пространства с понижением горных работ происходит более медленно в сравнении с приростом текущих объемов вскрыши, что вызывает необходимость корректировки схемы грузопо-

токов разреза. Как правило, некоторую часть объемов вскрыши с нижних и частично средних рабочих горизонтов возможно разместить в выработанном пространстве. Однако породы с верхних горизонтов подлежат складированию во внешних отвалах с более значительными расстояниями их перемещения. Например, на разрезе АО “Черниговец” максимальные значения ресурсоемкой транспортной работы по перемещению вынимаемых горных пород приурочены к верхним и частично к средним горизонтам (рис. 6) [13].

Объем работ в значительной степени зависит от способа вскрытия рабочих горизонтов, выступающих в качестве инструмента формирования грузопотоков разреза. Так, верхние горизонты $H_{тр}$ принято вскрывать со стороны рабочего борта капитальными траншеями, нижние — с помощью насыпных перемычек $H_{пер}$, средние — скользящими съездами H_c , что является связующим звеном между верхней и нижней группой рабочих горизонтов.

В зависимости от горно-геологических условий верхние горизонты обычно вскрываются траншеями со стороны рабочего или нерабочего борта и складированием вскрышных пород на внешних отвалах; средние и нижние горизонты — соответственно скользящими съездами и насыпными перемычками с размещением пород во внутренних отвалах. Для перераспределения грузопотоков и сокращения затрат на складирование пород, не размещенных во внутренних отвалах, а также для организации независимых грузопотоков обосновано использование капитальных траншей, пройденных со стороны рабочего борта для вскрытия верхних горизонтов. Наиболее предпочтительными пунктами примыкания траншей являются зоны с малой интенсивностью горных работ.

Отмеченные особенности характерны для внутреннего отвалообразования вскрышных пород на месторождениях брахисинклинального типа с несложными гидрогеологическими условиями, освоение которых возможно без проведения или с минимальным объемом осушительных мероприятий. На обводненных месторождениях оно затрудняется из-за сложности или невозможности удовлетворительного осушения залежей и более агрессивного влияния карьерных вод на устойчивость внутренних отвалов. На примере Урюпского бурогоугольного (Кемеровская область) и Бакчарского железорудного (Томская область) месторождений предложены технологические схемы ведения открытых горных работ с внутренним отвалообразованием без осушения продуктивной толщи [14]. Отработка массивов вскрышных пород предусматривается гидромеханизированным способом с помощью гидромониторно-землесосных комплексов с питанием их карьерными водами и складированием гидросмеси пород в гидроотвалах, размещаемых в выработанном карьерном пространстве (рис. 7). Для аккумуляции и последующего использования карьерных вод в выработанном карьерном пространстве предусматривается организация технологического водоема или водоприемной траншеи, а для складирования вскрышных пород гидроотвалов.

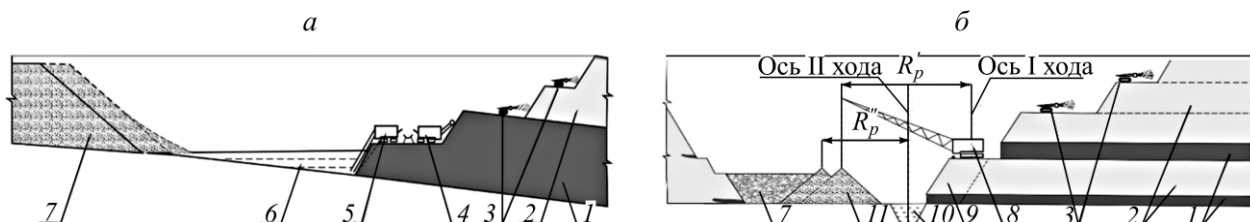


Рис. 7. Варианты технологических схем отработки обводненных пластовых месторождений с внутренним отвалообразованием: 1 — пласты полезного ископаемого; 2 — вскрышные породы; 3 — гидромониторно-землесосный комплекс; 4, 5 — роторный и цепной экскаваторы; 6 — технологический водоем; 7 — гидроотвал; 8 — драглайн; 9 — вскрышная заходка; 10 — водоприемная траншея; 11 — оградительная дамба

Особенностью предлагаемых схем является динамичный характер этих объектов, предполагающий их развитие по почве нижнего пласта полезного ископаемого поступательно вслед за подвиганием фронта добычных работ. Использование предлагаемых технологических схем для отработки обводненных месторождений твердых полезных ископаемых позволит: исключить трудоемкие и затратные мероприятия по осушению месторождений; использовать карьерные воды в замкнутом технологическом цикле выемки и транспортирования вскрышных пород; разместить основной объем вскрыши в гидроотвале, формируемом в выработанном карьерном пространстве; снизить энергоемкость горных работ; повысить экологическую безопасность горных работ. Установлено, что расчетная энергоемкость на строительство объектов Урюпского разреза производственной мощностью 53 млн т/год по предлагаемой технологии в 1.3 раза, а процессов горных работ в 1.6 раза ниже, чем по традиционной технологии. За счет рационального использования в технологическом цикле добычи угля природных и техногенных ресурсов обеспечивается существенное снижение негативного воздействия горного производства на природную среду (утилизация карьерных вод, сокращение площади изымаемых земель и вредных выбросов в атмосферу).

Одно из важнейших условий внутреннего отвалообразования вскрышных пород — обеспечение устойчивости отвальной массы. Выделяют группу природных и техногенных факторов, влияющих на устойчивость отвальных массивов [15]: горно-геологические (прочность и трещиноватость горных пород, степень выветривания и способность к набуханию, углы падения подотвальной поверхности); гидрогеологические (подток грунтовых вод, гидростатическое и гидродинамическое давление, оплывание, суффозия и выщелачивание отвальной массы); климатические (количество атмосферных осадков, температурный режим региона, рельеф поверхности); горнотехнические (конструктивные параметры и интенсивность развития отвала, тип отвального оборудования).

Степень влияния указанных факторов на устойчивость конкретного отвала определяется географическими, инженерно-геологическими, гидрогеологическими и технологическими условиями отвалообразования. Расчет устойчивости отвалов базируется на тех же принципах, что и при оценке устойчивости уступов и бортов разрезов (карьеров), т. е. на сравнении удерживающих и сдвигающих напряжений по предполагаемой поверхности скольжения, определения коэффициента запаса устойчивости и т. д. Причину появления деформаций на откосах отвала, как правило, объясняют смещением баланса этих напряжений при коэффициенте запаса устойчивости $K_{st} = 1$. По расчетным данным устанавливаются (по каждому конкретному объекту) значения высоты отвала и его ярусов, а также углов их откосов.

Значительное влияние на формирование устойчивого отвала оказывает состав слагающих его пород. Состояние складированной породной массы зависит от исходного литологического состава вскрышных пород и их преобразования в результате воздействия процессов вскрышных и отвальных работ (разрушения, сегрегации, измельчения, размокания), а также природных процессов (выветривания, агрегации, выщелачивания цементирующего вещества и т. д.). Не менее важное значение имеет физическое состояние складированных пород, которое прежде всего зависит от уровня водоносного горизонта отвального массива и его основания, интенсивности инфильтрации атмосферных осадков, количества и амплитуды циклов промерзания — оттаивания пород, их уплотнения в процессе складирования. Напряженное состояние пород в отвале — это совокупность напряжений от действия гравитационных и фильтрационных сил в каждой точке массива. Оно определяется: давлением, создаваемым весом вышележащих по-

род; гидростатическим давлением воздействия воды на породы, залегающие ниже депрессионной воронки; давлением от внешней нагрузки (транспортных средств и отвального оборудования; интенсивности отвальных работ).

Возведение любых горнотехнических сооружений, включая отвалы, вызывает появление геодинамических процессов и явлений, существенно осложняющих эффективность и безопасность ведения отвальных работ и оказывающих негативные экологические последствия. Первопричиной их развития, как правило, является несоответствие параметров откосов отвалов и их ярусов (высоты и результирующего угла) гидро- и инженерно-геологическим условиям формируемого сооружения, а также несовершенство технологических решений по отвалообразованию. Как наиболее распространенные на отвалах деформации выделяют [16]: оползни, осыпи, обрушения и просадки, которые характеризуются скоростью развития и объемом вовлеченных отвальных масс. Наиболее распространены на отвалах оползни с значительными массивами пород и различными периодами их развития — от часов и суток до нескольких лет. Различают три вида оползней: надподошвенные, подподошвенные и подошвенные. Первый вид распространен на отвалах с устойчивым основанием. Его устойчивость зависит от высоты отвала, физико-механических свойств пород и технологии отвалообразования. Подподошвенные оползни характерны для отвалов со слабым основанием (заболоченные участки, обводненные пластичные породы лежащего блока). Подошвенные оползни имеют место на отвалах, размещаемых на основании со слабыми породами и низким сопротивлением сдвигу на контактах.

В качестве примера можно привести оползень с объемом породной массы 27.5 млн м³, произошедший на внешнем отвале № 1 разреза “Заречный” ОАО “СУЭК-Кузбасс”, где проводилось совместное складирование глинистых четвертичных и скальных пород в соотношении примерно 40/60 [17]. До возникновения оползня отвал занимал площадь 94 га, имел высоту 75–140 м и результирующие углы откоса 10–16°. Основным фактором, способствующим оползневому явлению признан безнапорный водоносный горизонт, на 40–60 % обводняющий техногенный массив. Оползнем была уничтожена ЛЭП и часть инфраструктуры разреза, перекрыты транспортные коммуникации разреза и река, вызвавшая подтопление ближайшего населенного пункта. Ущерб от этого события оценивался в 8 млрд руб. Оползень отвала, расположенного на борту разреза “Черниговский” ОАО “Черниговец”, с объемом сползшей горной массы ~1.5 млн м³ и высокой скоростью развития деформаций поглотил работающую в забое технику (с летальным исходом). Приведенные примеры свидетельствуют о том, что обеспечение устойчивости отвальных массивов является задачей не только экономики, но и эколого-промышленной безопасности горного производства.

Практикой открытых горных работ апробирован ряд инженерных способов и технологических схем, направленных на повышение устойчивости и вместимости отвалов: установления оптимального соотношения высоты и углов откосов; устройство призм упора в основании отвалов; рационального размещения в свободной емкости отвала переэкскавируемой горной массы; раздельной укладки разнопрочных пород и т. п. Их реализация позволяет повысить степень использования отвальных площадей, снизить эксплуатационные расходы на ведение вскрышных работ, обеспечить безопасность и экологичность ведения отвальных работ.

Выполненные исследования и многолетний опыт эксплуатации угольных месторождений брахисинклинального типа свидетельствует о том, что при ограниченных возможностях существующих геотехнологий по снижению негативного воздействия открытых горных работ на природную среду внутреннее отвалообразование вскрышных пород с рациональным ис-

пользованием техногенного ресурса выработанных карьерных пространств приобретает перво-степенное значение в качестве эффективного инструмента для снижения экологической напряженности в угледобывающих регионах. Размещение вскрышных пород во внутренних отвалах позволяет существенно снизить вредные выбросы в атмосферу за счет сокращения парка транспортных средств, особенно технологических автосамосвалов. Это особенно актуально для ведущих угледобывающих регионов России, в частности Кузбасса, где при текущем коэффициенте вскрыши до 11 м³/т разрезами вынимается и перемещается в отвалы ~1.5 млрд м³ вскрышных пород, для чего требуется более 2 тыс. га земель [17]. Только предприятиями АО УК “Кузбассразрезуголь” к 2020 г. нарушено более 26 тыс. га земель (из 92.2 тыс. га в целом по бассейну), а валовый выброс в атмосферу вредных веществ превысил 35 тыс. т [18, 19]. Размещение вскрыши в выработанном пространстве способствует также снижению загрязнения гидросферы вредными элементами, что имеет место при внешнем отвалообразовании.

ВЫВОДЫ

Область применения внутреннего отвалообразования вскрышных пород при открытой разработке угольных брахисинклиналей приурочена преимущественно к участкам полей разрезов с углами залегания нижних пластов до 12–15°, обеспечивающими устойчивость отвальной массы. Данному условию соответствуют отдельные зоны на выходах пологопадающих пластов под наносы и повсеместно замковая часть складки, где возможно применение более экономичной бестранспортной технологии с непосредственной перевалкой пород в выработанное пространство.

Увеличение доли пригодного для внутренних отвалов выработанного пространства с понижением горных работ отстает от темпов прироста текущих объемов вскрыши, что вызывает необходимость периодической корректировки схемы грузопотоков разреза. В большинстве случаев, если часть складировемых объемов вскрышных пород с нижних и средних рабочих горизонтов может быть размещена в выработанном пространстве, то с верхних горизонтов они подлежат перемещению во внешние отвалы с увеличением расстояния транспортирования. Соответственно, максимальные значения ресурсоемкой транспортной работы разреза по перемещению горных пород приурочены к верхним и частично к средним горизонтам.

Важнейшее условие отвалообразования вскрышных пород — устойчивость отвальной массы, зависящей от ряда факторов: горно-геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических, климатических, горнотехнических. Основная причина проявления деформаций на откосах отвалов — смещение баланса удерживающих и сдвигающих напряжений, учитываемых при определении безопасных значений высоты отдельных ярусов, общей высоты отвала и углов его откосов.

Расширение области применения внутреннего отвалообразования с рациональным использованием выработанных карьерных пространств является одним из наиболее эффективных путей повышения экономичности и экологической безопасности открытых горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селюков А. В., Лопаткин А. В. Организационно-методические аспекты проектирования технологий внутреннего отвалообразования на разрезах Центрального и Северного Кузбасса // Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Современные тенденции и инновации в науке и производстве. — 2021. — С. 165.1–165.8.

2. **Rudrajit M. and Serkan S.** Surface coal mining methods in Australia, Min. Methods, 2012. — P. 1–22.
3. **Peng H. and Zhang D.** Research on input dumping height during tracing mining period between two adjacent surface coal mines, Advances Civil Eng., 2018. — P. 1–8.
4. **Ческидов В. И., Гаврилов В. Л., Хоютанов Е. А., Резник А. В., Немова Н. А.** Особенности открытой разработки брахисинклинальных угольных месторождений // ФТПРПИ. — 2022. — № 4. — С. 40–51.
5. **Kelly M. and Roxburgh A.** Waste dump optimisation at the Mt Arthur North Coal Project, Hunter Valley, Proc. Fourth Biennial Conf. Strategic Mine Planning, 26–28 March, 2001, Austral. Inst. Min. Metall. publication series, 2001, No. 1. — P. 1–6.
6. **Tubed Coal Mining Project (6.0 MTY), Jharkhand, India.** Pre-Feasibility Report. — P. 1–14. http://environmentclearance.nic.in/writereaddata/Online/TOR/09_Jun_2017_160753283GHK1ERKSprefeasibilityReport.pdf.
7. **Левченко Я. В.** Закономерности изменения транспортной работы по подъему горной массы по высотным зонам карьера // ГИАБ. — 2015. — № S5–18. — С. 3–14.
8. **Ческидов В. И., Норри В. К.** К вопросу разработки мультимасштабных месторождений твердых ископаемых // ФТПРПИ. — 2013. — № 3. — С. 92–98.
9. **Заровняев Б. Н., Ильин А. А., Шубин Г. В.** Интегрированная геотехнология разработки угольного месторождения // Успехи современного естествознания. — 2021. — № 12. — С. 114–119.
10. **Гаврилов В. Л., Ткач С. М.** О цифровых технологиях горных предприятий в условиях нестабильности, неопределенности, сложности и неоднозначности // ГИАБ. — 2019. — № 11 (спец. выпуск 37). — С. 112–121.
11. **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.
12. **Бурцев С. В., Матвеев А. В., Супрун В. И., Радченко С. А., Левченко Я. В.** Определение параметров и зон использования капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров // Уголь. — 2018. — № 3. — С. 43–49.
13. **Супрун В. И., Радченко С. А., Левченко Я. В., Ворошилин К. С., Минибаев Р. Р., Морозова Т. А.** Закономерности формирования отвальных массивов при отработке крупных угольных месторождений // Уголь. — 2017. — № 7. — С. 32–38.
14. **Ческидов В. И., Резник А. В.** Особенности внутреннего отвалообразования вскрышных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых // ФТПРПИ. — 2022. — № 2. — С. 61–68.
15. **Фисенко Г. Л.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М.: Недра, 1965. — 378 с.
16. **Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Мухина А. С., Мосейкин В. В.** Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалообразовании на открытой угледобыче в Кузбассе // ГИАБ. — 2022. — № 5. — С. 5–24.
17. **Васильева А. Д.** Об устойчивости высоких отвалов Кузбасса // Материалы Междунар. молодеж. науч. форума «ЛОМОНОСОВ-2017». — М.: МАКС Пресс, 2017.
18. **О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 г.** Государственный докл. — М.: Минприроды России; МГУ им. М. В. Ломоносова. — 2021. — 864 с.
19. **Наумов И. В.** Исследование пространственных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов в России // Изв. УГГУ. — 2019. — Вып. 4. — С. 142–151.

Поступила в редакцию 11/X 2022

После доработки 18/X 2022

Принята к публикации 24/XI 2022