

УДК 622.271.326

**К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МУЛЬДООБРАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

В. И. Ческидов, В. К. Норри

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

Проанализированы особенности строения мультдообразных месторождений твердых полезных ископаемых. На примере Талдинского каменноугольного месторождения предложен подход к выбору вариантов вскрытия и очередности отработки подобных залежей. Обоснована целесообразность максимального использования бестранспортной системы разработки продуктивной толщи с непосредственной перевалкой вскрышных пород экскаваторами-драглайнами. Предложен аналитический метод определения коэффициентов переэкскавации при реализации этой системы.

Мультдообразные месторождения, бестранспортная система разработки, коэффициент переэкскавации

В числе более чем 20 тыс. месторождений полезных ископаемых, представляющих Российский минерально-сырьевой комплекс [1], выявлено достаточно большое количество месторождений твердых полезных ископаемых, залегающих в форме мульды (брахисинклиналей). Из наиболее представительных отечественных месторождений этого типа следует выделить эксплуатируемые каменноугольные Нерюнгринское в Республике Саха (Якутия) и Талдинское в Кузбассе, перспективные — Удоканское меднорудное в Забайкалье и Аганозерское хромитовое в Республике Карелия.

Мультдообразные залежи обладают свойствами, характерными для нескольких типов геологических структур. Так, на различных участках мульды углы падения пластов могут изменяться от горизонтальных (в замковой части мульды) до крутых (на крыльях складки). Специфика геологического строения мультдообразных месторождений, изменчивость горно-геологических условий по площади и глубине залегания пластов затрудняет использование уже апробированных технологических решений по открытой разработке залежей других типов геологических структур. Это, в свою очередь, требует особого подхода при выборе очередности и систем разработки рассматриваемых месторождений.

При обосновании схем вскрытия и технологии разработки мультдообразных месторождений необходимо учитывать следующие факторы: размер месторождения в плане, предопределяющий количество и мощность разреза (разрезов) и горных участков; рельеф поверхности; предполагаемое местоположение, количество, удаленность и емкость отвалов вскрышных пород,

расстояние транспортирования полезного ископаемого до пунктов его переработки; физико-механические свойства и обводненность горных пород; горно-геологические условия залегания пластов (тектоника, углы падения, мощность, характер залегания); возможность применения различных технологий разработки массивов горных пород.

На основании анализа имеющихся научных исследований, проектных решений и практического опыта освоения мульдообразных залежей в работе, на примере Талдинского месторождения, приведены общие рекомендуемые принципы вскрытия и очередности разработки подобных структур. Талдинское месторождение представляет собой брахисинклиналь с размерами в плане 12×4 км и площадью 77.5 км^2 . Для отработки открытым способом на месторождении выделено 11 рабочих угольных пластов единичной мощностью от 1.5 до 21.3 м с углами падения пластов от 0° (в замковой части мульды) до $35-40^\circ$ (на ее крыльях). Средний промышленный коэффициент вскрыши $5.17 \text{ м}^3/\text{т}$. В качестве приоритетных направлений освоения месторождения приняты: максимальное использование бестранспортной системы разработки продуктивной толщи и рациональное использование выработанного карьерного пространства. Как известно, в соответствующих горно-геологических условиях пластовых залежей бестранспортная система разработки — наиболее экономичная в сравнении с другими системами [2, 3]. Однако при отработке свиты горизонтальных и пологопадающих пластов область ее применения по условиям вместимости формируемого при этом выработанного пространства, как правило, ограничивается только нижними пластами [4]. В классическом виде на Талдинском месторождении бестранспортная система может быть применена в ограниченной зоне по пласту 73 и частично по пласту 78 (рис. 1). В то же время, как показывают исследования, структура брахисинклинальных месторождений позволяет, при соответствующем обосновании, использовать эффективно эту систему и по другим пластам свиты. Исходя из расчетных данных и опыта эксплуатации разрезов Кузбасса, в качестве предельного для бестранспортной системы разработки по условиям устойчивости внутренних отвалов может быть принят угол падения пластов 15° . При необходимости этот предел может быть несколько увеличен за счет применения специальных мероприятий (рыхление основания отвала, устройство подпорных стенок и т. п.).

В рассматриваемом примере применение драглайнов предлагается в начальном периоде освоения месторождения для отработки вскрыши по указанным нижним пластам на западном участке свиты и верхним пластам на центральном и восточном участках с перемещением вскрышных пород во временные внутренние отвалы. Целесообразность и очередность включения в отработку по бестранспортной системе участков поля разреза по верхним пластам свиты определяется расчетами с учетом дополнительных затрат на вторичное перемещение вскрышных пород из временных отвалов (с учетом фактора времени) при максимально удаленных (не менее 14–16 лет) сроках начала их ликвидации [5]. Исходя из изложенного, предлагается следующий подход к обоснованию схем вскрытия и систем разработки мульдообразных (брахисинклинальных) месторождений:

— месторождение исследуется с целью выделения участков, пригодных для наиболее экономичной бестранспортной системы разработки. При этом, если месторождение представлено свитой рассредоточенных пластов, выделяются зоны с постоянными и временными внутренними отвалами;

- проводится комплексная оценка схем вскрытия месторождения исходя из целесообразности максимальной области применения бестранспортной системы и развития внутреннего отвалообразования;
- месторождение разбивается на участки и выбирается первоочередной;
- обосновывается направление развития работ, обеспечивающее одновременный охват нерабочим бортом разреза участков по нижнему пласту свиты с целью использования последних для размещения транспортных коммуникаций.

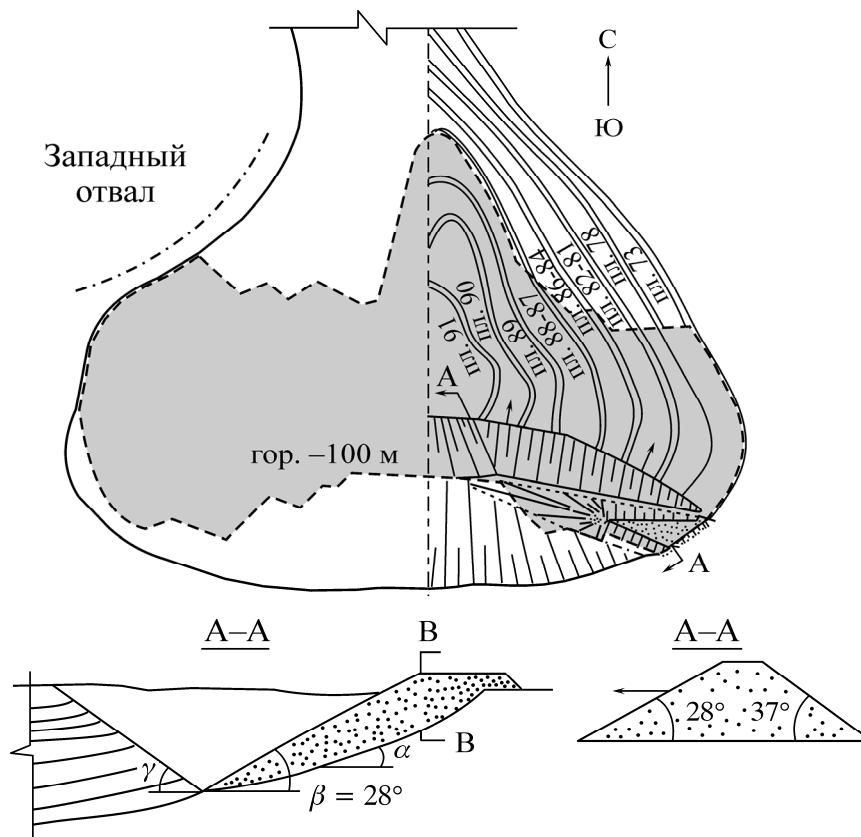


Рис. 1. Схема развития внутренних отвалов на Центральном участке Талдинского разреза:
 --- граница бестранспортной системы разработки по нижнему пласту свиты

При выборе направления развития работ необходимо учитывать продолжительность существования временных бестранспортных отвалов [2]. Среди прочих факторов на выбор первоочередного участка существенное влияние оказывает его угленасыщенность. Наиболее угленасыщенные участки на Талдинском месторождении — Центральный, Восточный и Западный. Как показывают расчеты, эксплуатация одного Центрального участка протяженностью 3.3 км обеспечивает годовую производительность разреза порядка 20 млн т при максимальной скорости подвигания фронта горных работ до 200 м/год. Для увеличения производительности до 30 млн т необходимо подключение к разработке дополнительного участка. Также установлено, что отработка месторождения одним участком сопряжена с рядом отрицательных факторов:

- в связи с размещением на нерабочем борту разреза бестранспортных отвалов и отсутствием его стационарных торцевых бортов вскрытие горизонтов по нижней технологической группе пластов возможно только скользящими съездами;

— доступ к рабочим горизонтам верхней группы пластов с момента подсечения их транспортных коммуникаций рабочим бортом нижней группы может осуществляться также скользящими съездами. При этом вскрытие и разработка пластов нижней технологической группы еще более усложняется, так как транспорт угля и вскрыши должен осуществляться по системе скользящих съездов верхней технологической группы с увеличением длины транспортирования горной массы по временным автодорогам и существенным снижением производительности автосамосвалов;

— в первые годы эксплуатации в общем объеме горных работ преобладает транспортная система, так как быстрое подвигание фронта делает нецелесообразным применение бестранспортной системы;

— применение бестранспортной системы разработки из-за повышенных (более 15°) углов падения пластов ограничено;

— не готовится емкость для развития внутренних транспортных отвалов на первом этапе разработки месторождения. На втором этапе, когда будут обрабатываться участки, обеспечивающие устойчивость внутренних отвалов, объем последних будет также незначительным, что отрицательно скажется на эффективности разработки месторождения в целом (рис. 1).

Положительный момент предлагаемой опережающей разработки Центрального участка — возможность создания свободного от внутренних отвалов нерабочего борта, который может использоваться для вскрытия глубоких горизонтов как Центрального, так и прилегающих к нему участков. При обосновании очередности отработки участков месторождения важное значение приобретает вопрос размещения и вместимости внутренних отвалов вскрышных пород [6, 7]. Установлено, что с точки зрения вскрытия, расстояний транспортирования горной массы, масштабов применения бестранспортной технологии, подготовки емкости для внутренних отвалов и обеспечения необходимой длины фронта горных работ целесообразно в первую очередь начать одновременную разработку Западного и Центрального участков. Что касается Восточного участка, то ввод его в эксплуатацию также целесообразен на первом этапе, начиная с отработки выходов всех наиболее мощных пластов по бестранспортной системе с формированием временных отвалов. Такая последовательность отработки участков обеспечивает увеличение добычи угля по бестранспортной системе в течение первых 8–10 лет на 6–8 млн т угля в год. При этом срок существования временных бестранспортных отвалов будет достаточно продолжительным. На рис. 2 представлены наиболее характерные этапы разработки Талдинского месторождения.

На первом этапе освоения месторождения горные работы развиваются на Западном и Центральном участках соответственно по комбинированной (бестранспортной и транспортной) системе разработки, а на Восточном и Центральном (пл. 91–89) — по бестранспортной системе. В результате технико-экономического сравнения для перемещения угля и вскрышных пород рекомендуется использование конвейерного транспорта как наиболее производительного и экономичного в горнотехнических условиях рассматриваемого разреза. На участках, обрабатываемых по транспортной системе, отстраиваются коммуникации с двумя направлениями грузопотоков вскрыши: с северного крыла и центра разреза на Западный внешний отвал, с южного крыла — во внутренний, развиваемый поверх бестранспортных отвалов. Такой порядок позволяет на первом этапе эксплуатации разреза основной объем вскрышных пород размещать в пределах его поля (рис. 2а).

Второй этап освоения месторождения характеризуется началом отработки Восточного участка по транспортной системе (рис. 2б). При этом схемы вскрытия Западного и Центрального участков принципиальных изменений не претерпевают. Восточный участок вскрывается аналогично Западному. На данном этапе развитие горных работ целесообразно осуществлять таким образом, чтобы севернее зоны бестранспортной системы Западного и Восточного участков имелся нерабочий борт, не занятый внутренними отвалами. Это, вместе с выработанным пространством Центрального участка, обеспечит двухфланговое вскрытие бестранспортных уступов и вскрытие глубоких горизонтов месторождения вплоть до замыкания мульды. Этап завершается окончанием работ по удалению бестранспортных отвалов пл. 91 и перераспределением вскрышных грузопотоков на внутренние отвалы с южного нерабочего борта на западный и восточный. Для сохранения кратчайшей транспортной связи добычных горизонтов с промплощадкой через южный нерабочий борт отработку центральной части месторождения целесообразно вести только западным и восточным рабочими бортами. Южный борт на границе возможного начала отработки пл. 73 по бестранспортной системе следует законсервировать. В противном случае бестранспортными отвалами будет перекрыт транспортный доступ к центру мульды.

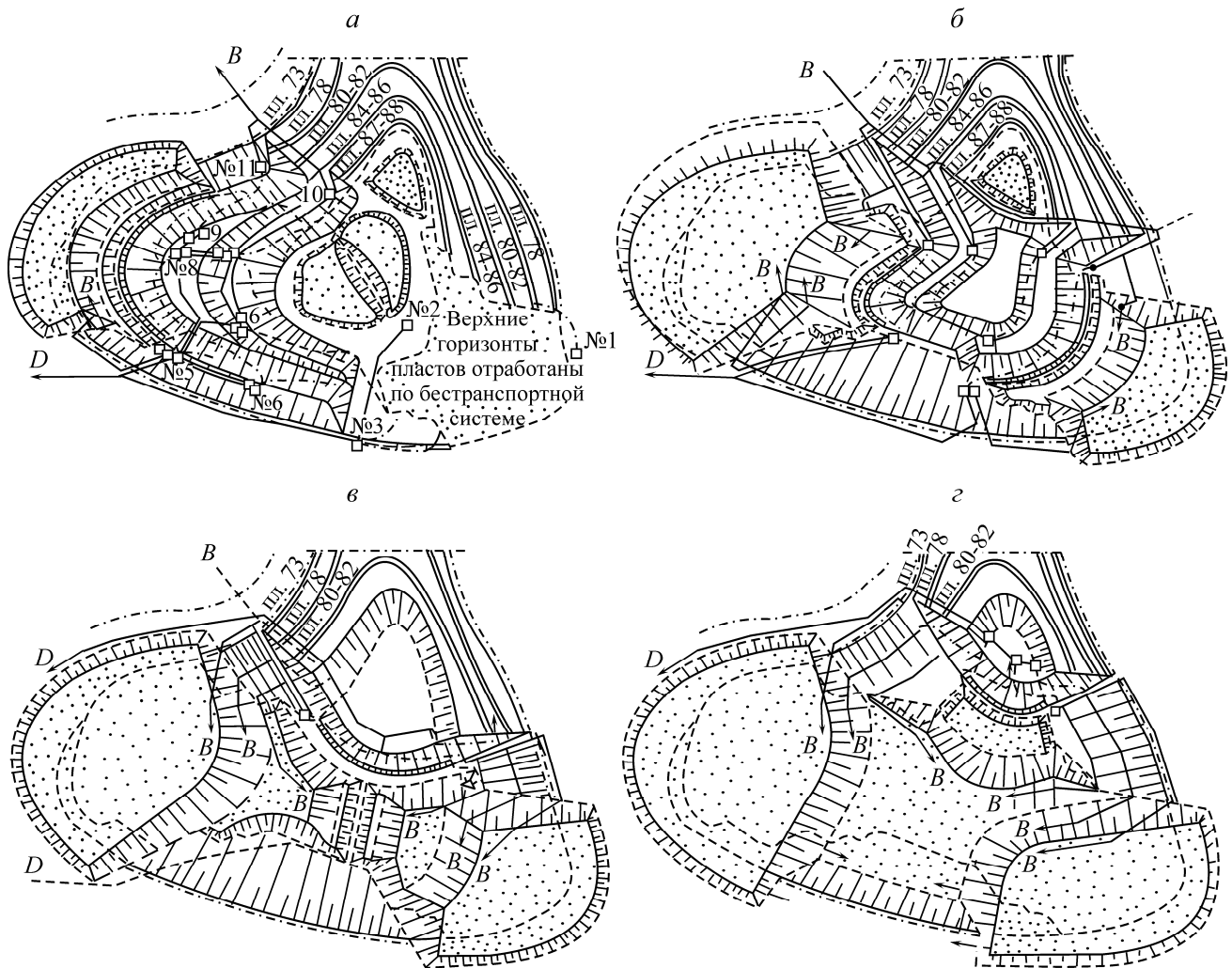



Рис. 2. Этапы разработки Талдинского месторождения: *D, B* — направления перемещения угля и вскрыши; □ — перегрузочные пункты конвейерных линий;  — отвалы вскрышных пород

На третьем этапе (рис. 2в) завершается отработка центральной части мульды и верхней технологической группы пластов, ликвидируется система добычных конвейеров южного нерабочего борта и создаются условия для размещения вскрышных пород в постоянных внутренних отвалах. На четвертом этапе (рис. 2г) отработка месторождения завершается. Следует подчеркнуть, что предлагаемое расширение области применения бестранспортной системы при освоении мульдообразных месторождений предполагает использование современных высокопроизводительных экскаваторов-драглайнов, адаптированных к горногеологическим условиям [8].

Для установления оптимальной мощности бестранспортной вскрыши в рассматриваемых условиях необходимо исследование схем экскавации и прежде всего выявление динамики изменения коэффициентов переэкскавации вскрышных пород K_{Π} в зависимости от мощности m и углов падения пластов α , типов драглайнов, мощности H отрабатываемого массива вскрышных пород. В проектной практике определение коэффициентов переэкскавации проводится, как правило, графоаналитическим методом с построением схем экскавации по каждой заходке, каждому пласту свиты. Анализ графоаналитического метода показывает достаточно высокую его точность, но и значительную трудоемкость [9]. В связи с этим по результатам выполненных исследований предлагается аналитический метод определения коэффициента переэкскавации. Установлено, что зависимость K_{Π} от H при отработке верхних горизонтов в зоне с временными бестранспортными отвалами приближается к полиному второго порядка типа $K_{\Pi} = aH^2 + bH + c$.

С помощью метода выбранных точек подобраны эмпирические формулы определения коэффициента переэкскавации в зависимости от глубины разработки, мощности и углов падения пластов. В таблице указаны предельные значения, при которых целесообразно применение аналитических выражений. Построенные по эмпирическим формулам кривые (рис. 3, 4) подтверждают достаточно высокую точность расчетов и возможность их использования при проектировании и планировании бестранспортной системы разработки с применением драглайнов типа ЭШ-15/90 и ЭШ-40/85.

Эмпирические выражения для определения коэффициента переэкскавации вскрышных пород

Условия разработки пластов	Угол падения пласта α , град	Мощность пласта m , м	Эмпирические выражения	Предельные значения мощности бестранспортной вскрыши H , м
Одиночный пласт	15	14	$-0.0008H^2 + 0.15H - 5.733$	≤ 90
	15	7	$-0.00034H^2 + 0.099H - 4.155$	≤ 90
	12	18	$-0.001H^2 + 0.193H - 7.99$	≤ 95
	12	14	$-0.0004H^2 + 0.093H - 3.81$	≤ 95
	12	8	$-0.0005H^2 + 0.098H - 3.455$	≤ 80
	12	3	$-0.00027H^2 + 0.079H + 3.375$	≤ 70
	9	14	$-0.00013H^2 + 0.064H - 3.207$	≤ 90
	4–15 (пласт 91)	14	$-0.0001H^2 + 0.0315H - 0.7$	≤ 105
Совместная отработка двух пластов	12 (пласты 89 и 90)	4; 3	$-0.001H^2 + 0.149H - 4.163$	≤ 75
	15 (пласты 86–84 и 87–88)	18	$-0.001153H^2 + 0.2445H - 9.573$	≤ 93
	15 (пласты 73 и 78)	7; 12	$-0.00065H^2 + 0.13H - 4.584$	≤ 100

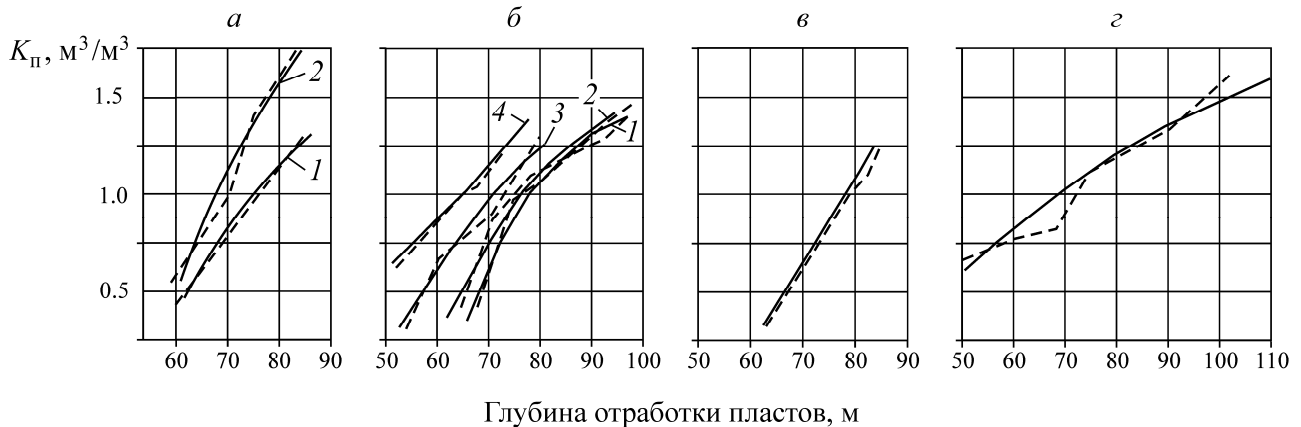


Рис. 3. Зависимость коэффициента переэкскавации вскрышных пород драглайнами типа ЭШ-15/90 и ЭШ-40/85 от глубины отработки, мощности и углов падения пластов (- - - экспериментальные данные, — данные, рассчитанные по эмпирическим формулам): а — $\alpha = 15^\circ$, 1 — $m_n = 14$ м, 2 — 7 м; б — $\alpha = 12^\circ$, 1 — $m_n = 18$ м, 2 — 14, 3 — 8, 4 — 3 м; в — $\alpha = 9^\circ$, $m_n = 14$ м; г — α уменьшается с 15 до 4° , $m_n = 14$ м

Приведенные кривые наглядно иллюстрируют, что коэффициент переэкскавации растет интенсивнее при более крутых углах падения и меньших значениях мощности пластов. При этом мощность оказывает на него наибольшее влияние.

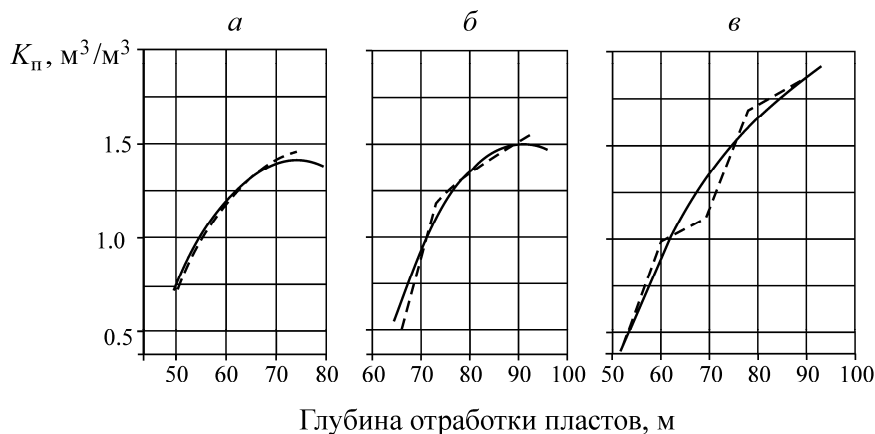


Рис. 4. Зависимость коэффициента переэкскавации вскрышных пород драглайнами типа ЭШ-15/90 и ЭШ-40/85 от глубины отработки пластов: а — пласты 89 и 90 ($\alpha = 12^\circ$); б — 86–84 и 87–88 ($\alpha = 15^\circ$); в — 78 и 79 ($\alpha = 15^\circ$) при их совместной эксплуатации

ВЫВОДЫ

Установлено, что мульдообразные (брахисинклинальные) месторождения, представленные свитами пластов полезного ископаемого, обладают свойствами, характерными для нескольких типов геологических структур и требуют особого подхода к выбору схем вскрытия и очередности их разработки. Освоение подобных месторождений целесообразно проводить по комбинированной (бестранспортно-транспортной) системе разработки: бестранспортной с непосредственной перевалкой вскрышных пород экскаваторами-драглайнами в выработанное карьерное пространство по нижним пластам свиты (на участках с углами падения пластов до 15°) и транспортной — по всем вышележащим пластам. Для повышения эффек-

тивности эксплуатации месторождения на первом этапе его освоения может быть обосновано применение бестранспортной системы для отработки верхних пластов свиты с размещением вскрышных пород во временных отвалах, подлежащих удалению в более поздние периоды его эксплуатации.

Разработан аналитический метод определения коэффициента переэкскавации вскрышных пород при бестранспортной системе разработки пластов пологого падения, обеспечивающий возможность оперативной и малозатратной оценки технологических схем ведения горных работ.

Предлагаемый подход к освоению мультислойных пластовых месторождений позволяет наиболее эффективно использовать ресурсный потенциал подобных залежей при минимально возможном негативном воздействии горного производства на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвиненко В. С. Возможности минерально-сырьевого потенциала России // Зап. Горного института. — 2002. — № 11.
2. Ческидов В. И., Фрейдина Е. В., Васильев Е. И. Разработка открытым способом свиты пологопадающих угольных пластов с временным внутренним отвалообразованием // ФТПРПИ. — 1992. — № 2.
3. Щадов М. И., Веницкий К. Е., Гриднев В. А. Развитие бестранспортных технологий и оборудования для расширения сферы внутреннего отвалообразования // Уголь. — 1997. — № 9.
4. Ческидов В. И., Зайцева А. А. К вопросу очередности разработки наклонных и пологопадающих сближенных пластов // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. науч. тр. — Вып. 2 (92). — Екатеринбург, 2004.
5. Ческидов В. И., Васильев Е. И. Формирование внутренних отвалов при открытой разработке месторождений, представленных свитами рассредоточенных пологопадающих пластов // Проблемы геотехнологии и недроведения: междунар. конф. — Екатеринбург, 1998.
6. Ческидов В. И., Зайцева А. А., Зайцев Г. Д. Влияние порядка отработки карьерного поля на вместимость внутреннего отвала // ФТПРПИ. — 2007. — № 5.
7. Танайно А. С., Ческидов В. И. Обоснование порядка открытой разработки свиты пологих и наклонных пластов с использованием выработанного пространства под внутренние отвалы // ФТПРПИ. — 1999. — № 3.
8. Ческидов В. И., Норри В. К., Саканцев Г. Г. Расширение области применения систем открытой разработки угольных месторождений с перевалкой вскрыши драглайнами // ФТПРПИ. — 2014. — № 4.
9. Печенихин С. П., Ческидов В. И., Россова Т. И. Аналитический способ определения коэффициента переэкскавации при бестранспортной отработке пологих пластов // Разработка угольных месторождений открытым способом: межвуз. сб. — Кемерово, 1977. — № 6.

Поступила в редакцию 21/IV 2015