



УДК 622.822.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ УГЛЯ ДРАГЛАЙНАМИ ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННЫХ И КРУТЫХ ПЛАСТОВ

**Макридин Е.В.¹, Милый С.М.², Ефременков А.Б.³, Яковлев А.С.⁴, Марков С.О.⁴,
Тюленев М.А.⁴**

¹ ООО «Разрез «Богатырь»

² Инжиниринговая компания «SGP»

³ Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

⁴ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:

15 августа 2025 г.

Рецензирование:

23 октября 2025 г.

Принята к печати:

17 ноября 2025 г.

Ключевые слова:

открытые горные работы, драглайн, система разработки, валовая выемка, селективная выемка, бессторонняя технология, потери угля

Аннотация.

В общей технической политике производителей угля существует устойчивое направление на увеличение объемов бессторонней вскрыши за счет расширения границ и области ее применения. Предлагается отрабатывать часть вскрыши на наклонных месторождениях и верхних горизонтах крутых пластов, шире использовать взрывной сброс породы в отвальный слой, применять высокие уступы и спаренную работу экскаваторов. Применение бессторонней технологии при отработке наклонных и крутых залежей с поперечным развитием фронта работ отвечает технической и экономической политике производителей угля. Кроме того, необходимо стремиться к расширению границы применения этой технологии в новой области, в частности, к увеличению мощности отрабатываемой вскрыши (высоты бессторонней или забойной зоны). Однако необходимо принять во внимание, что могут возникать и такие варианты развития событий, при которых добывочные работы также приходится вести драглайном, в том числе при отработке наклонных и крутых пластов. В данной статье исследованы условия селективной и селективно-валовой выемки наклонных и крутых пластов драглайном, изучен порядок выполнения операций копания, определены наиболее и наименее благоприятные горно-геологические условия для разработки угольных пластов драглайном.

Для цитирования: Макридин Е.В., Милый С.М., Ефременков А.Б., Яковлев А.С., Марков С.О., Тюленев М.А. Исследование технологии выемки угля драглайнами при поперечных системах разработки наклонных и крутых пластов // Техника и технология горного дела. – 2025. – № 4(31). – С. 88-106. – DOI: 10.26730/2618-7434-2025-4-88-106, EDN: NUWNTM

Введение

На разрезах Кузбасса при отработке угольных месторождений с наклонным и крутым залеганием пластов в ограниченных объемах применяется ресурсосберегающая поперечная система разработки, которая в дальнейшем может получить широкое распространение в бассейне [1, 2]. При таких системах разработки представляется целесообразным отрабатывать породоугольный слой выше проектного дна карьера по эффективной и недорогой бессторонней технологии с применением шагающих драглайнов. Общий вид такой технологии показан на рис. 1 и рис. 2.

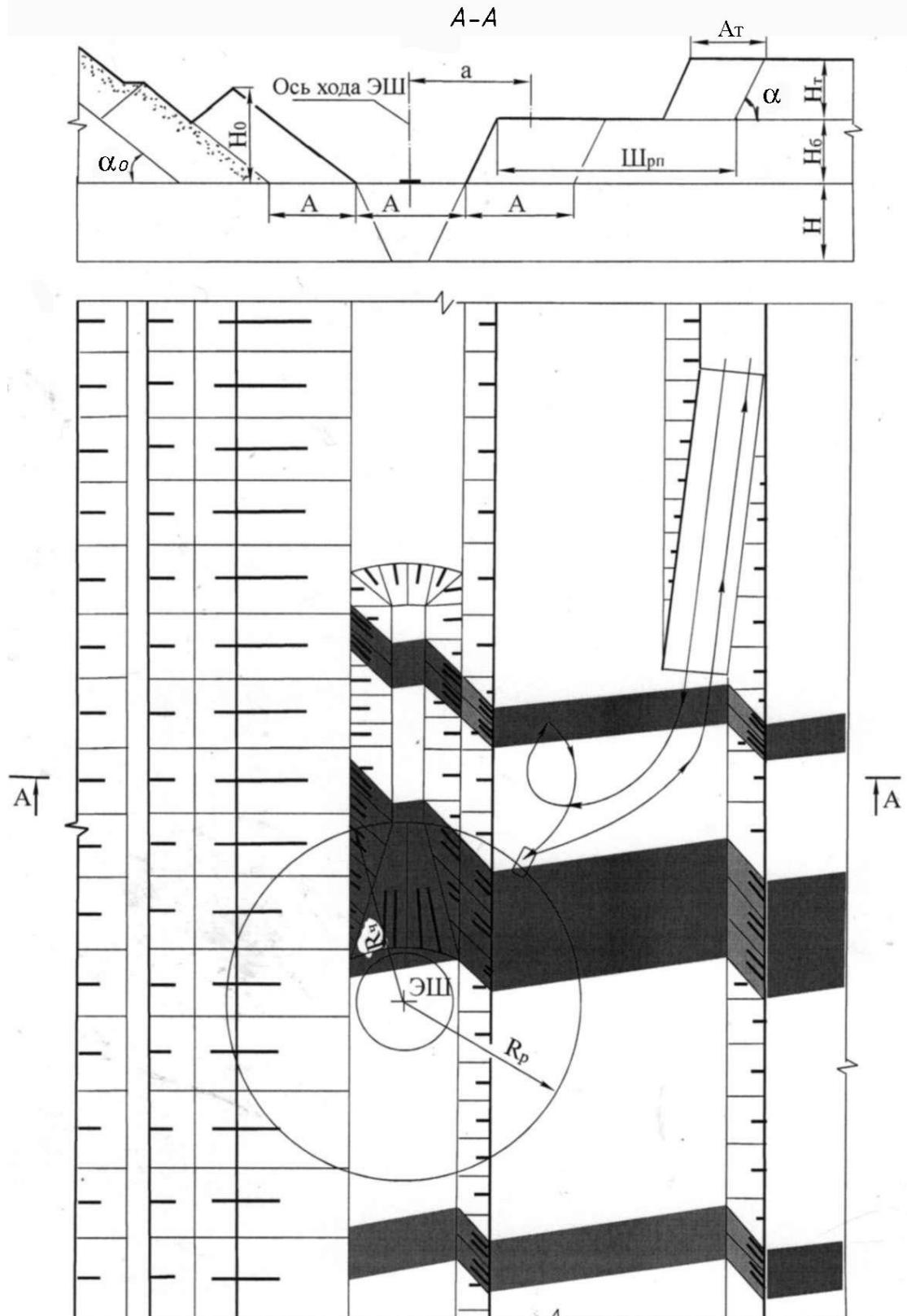


Рисунок 1 – Предварительная выемка забалансовых запасов траншеями ниже отметки дна отработки беспротяжного уступа карьера

Figure 1 – Preliminary excavation of off-balance reserves using trenches below the bottom of the transportless bench of the quarry

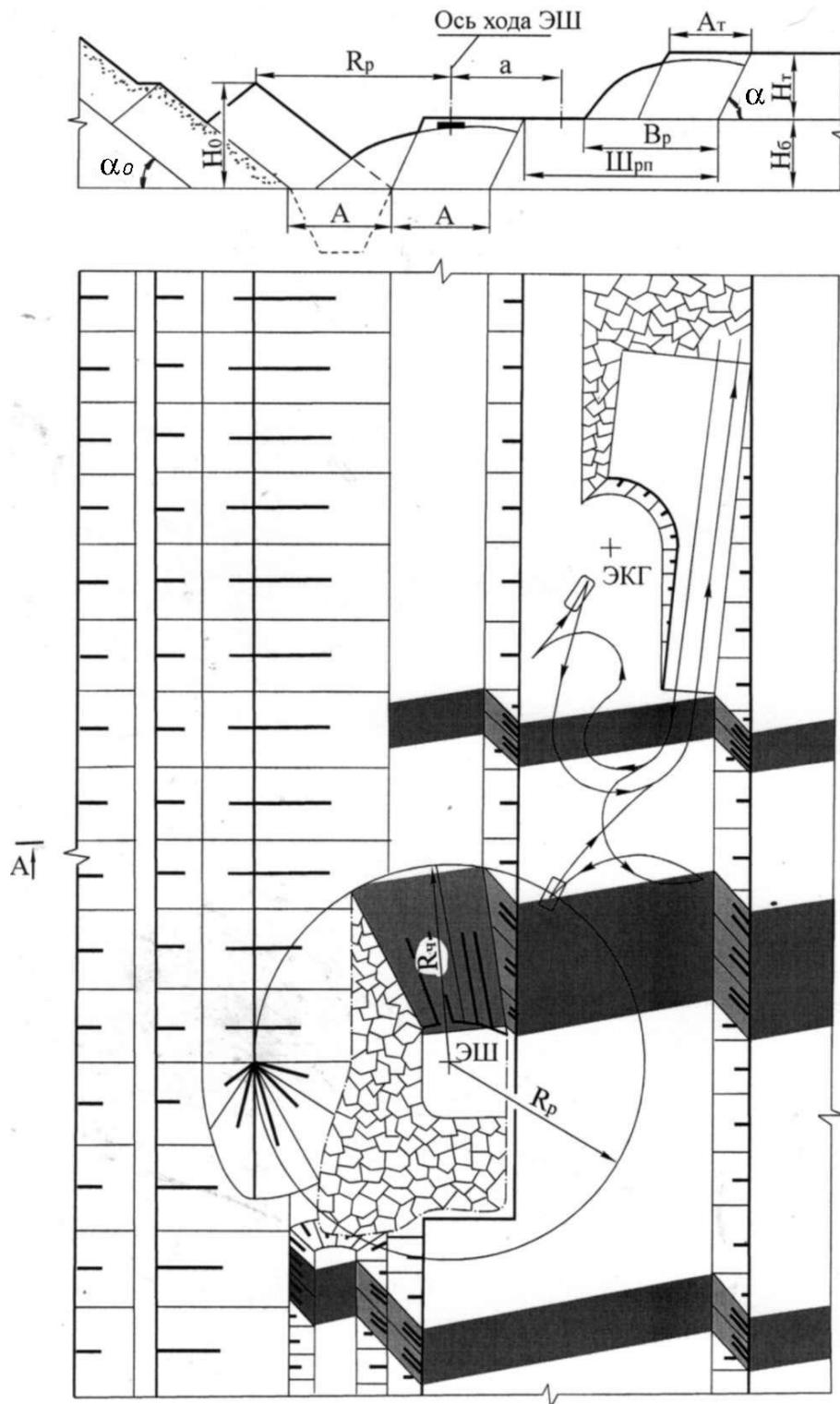


Рисунок 2 – Выемка вскрышного уступа с перевалкой породы во внутренний отвал
Figure 2 – Removal of overburden with rock transfer to an internal dump

На схемах приняты следующие обозначения: H_b – высота бестранспортного слоя (уступа), м; H_t – высота транспортного уступа, м; H_o – высота отвала, м; H – глубина траншеи для выемки забалансовых запасов угля ниже дна карьера, м; A – ширина буровзрывной заходки по бестранспортному уступу и траншейному забою, м; α – угол откоса вскрышных, транспортных



и бестранспортных уступов и траншеи, градусов; α_0 – угол откоса отвального яруса, градусов; $Ш_{\text{пп}}$ – ширина рабочей площадки транспортного уступа, м; a – кратчайшее расстояние от оси рабочего хода драглайна при отработке забалансовых запасов до места установки автосамосвала под погрузку, м; R_q и R_p – соответственно радиус черпания и разгрузки драглайна, м; R_k – радиус вращения кузова драглайна, м; A_t – ширина экскаваторной заходки при отработке породы на транспорт, м.

Порядок работ по комбинированной транспортно-бестранспортной технологии следующий. Верхний транспортный уступ отрабатывается карьерной мехлопатой с погрузкой вскрышной породы и угля в автотранспорт на уровне стояния. Вывозка породы во внутренний отвал и угля на склад осуществляется по скользящему съезду, расположенному на рабочем борту. Нижний слой отрабатывается драглайном с перевалкой породы во внутренний отвал.

Основная часть

Отличительной особенностью данной технологии является предварительная выемка забалансовых запасов ниже дна карьера на локальных участках свободной полосы отвального основания (рис. 1). Выемка угля осуществляется путем копания драглайном траншеи непосредственно по углю, причем драглайн располагается на дне карьера. Породу и уголь он грузит в автотранспорт, располагающийся на кровле вскрышного уступа. После завершения выемки локальных угольных участков драглайн отрабатывает бестранспортный вскрышной уступ (рис 2). Вскрышная порода размещается в одноярусный отвал, а уголь грузится на автотранспорт, находящийся на рабочей площадке отрабатываемого уступа. Подъезд автосамосвалов на погрузку производится по тупиковой схеме разворота.

Забой драглайна должен быть в плане горных работ смещен относительно забоя мехлопаты на величину, необходимую для безопасной работы двух экскаваторов. Их подвигание должно быть направленным в противоположные стороны, причем направление движения драглайна должно быть таким, чтобы отрабатывать пласт с кровли. При движении забоя мехлопаты со стороны почвы пласта добывочные работы этим экскаватором производятся с опережающей нишей со стороны кровли пласта.

Другой особенностью технологии является то, что при отработке экскаваторных заходок выемка угля производится драглайном, но гибкая подвеска ковша не вполне соответствует условию селективной выемки угля в контурах экскаваторной заходки. В специальной литературе достаточно подробно рассмотрен вопрос селективной выемки угольных пластов ковшами мехлопат, причем с различной пространственной ориентацией угольного пласта в контурах заходки [3], однако для драглайнов аналогичные исследования не проводились, хотя использование таких экскаваторов для выемки крутых и наклонных угольных пластов в практике работы угольных предприятий Кузбасса достаточно известно (разрезы «Кедровский», «Шестаки» и др.).

В данной работе исследованы условия селективно-валовой и селективной выемки ковшом драглайна наклонных и крутых пластов в контурах экскаваторной заходки.

Анализ научно-технической литературы показал, что за последние несколько десятилетий публикации, посвященные применению драглайна на добывочных работах, практически отсутствуют. Тому есть ряд причин, основной из которых, на наш взгляд, является априори слабая применимость выемочной техники с пассивной связью ковша с рабочим оборудованием для выемки полезного ископаемого, разделения породных и угольных слоев, зачистки пласта и иных операций, требующих высочайшей квалификации машиниста экскаватора. Следует отметить ряд классических публикаций [7-30], посвященных применению драглайна в тех или иных горно-геологических условиях, однако практически все они направлены на повышение эффективности именно вскрышных работ. С другой стороны, при производственной необходимости (за исключением иной техники) опыт разрезов Кузбасса и личный опыт авторов показывает, что драглайны могут быть использованы на добывче угля с минимальным снижением технико-экономических показателей предприятия. Поэтому данную работу следует считать актуальной и имеющей в первую очередь практическую ценность.

Для эффективной работы драглайна и обеспечения селективной выемки угольного пласта с низким уровнем разубоживания необходимым условием является качественное дробление



породоугольного участка заходки. Технологические схемы буровзрывных работ, обеспечивающие требуемое качество дробления в угленасыщенной зоне, достаточно подробно описаны в работе [3], в которой доказана возможность качественного дробления породоугольного массива в угленасыщенной зоне. Основные рекомендации, которые приняты за основу в данном исследовании, заключаются в следующем: необходимо применять наклонные скважины, располагая их под углом, равным или близким углу падения пласта, а расстояние взрывных скважин от пласта выбирать с таким расчетом, чтобы при взрыве обеспечивалось дробящее действие зарядов на угольный пласт. Выполнение этих условий исключает переизмельчение угля.

Например, при угле падения пласта 20° первый ряд скважин бурится на расстоянии 4 м от точки пересечения почвы пласта с кровлей уступа, а остальные скважины бурятся по расчетной сетке. Скважины бурятся под углом 60° , равным углу откоса уступа, причем, кроме первого и последних рядов, они бурятся через пласт, до подошвы уступа. Сначала заряжается нижняя часть скважины до почвы пласта, затем осуществляется забойка пространства угольного пласта, пересеченного скважиной, а затем укладывается заряд ВВ и окончательная забойка. Очередность взрывания устанавливается с учетом предохранения пласта от сдвиговых деформаций, вызываемых смещением породного массива при взрыве. Независимо от положения пласта в пространстве в первую очередь взрываются заряды скважин, расположенных в заходке со стороны лежачего бока пласта, а затем с определенным интервалом замедления заряды скважин оконтуривающего ряда, пробуренные со стороны висячего бока пласта. Короткозамедленное взрывание скважин производится по поперечной схеме с поскважинным замедлением, то есть сначала взрывается нижняя часть заряда, потом верхняя.

При такой схеме в верхней части кровли пласта и нижней части почвы пласта образуются небольшие зоны-треугольники, которые плохо подвергаются действию взрыва. Для исключения таких зон в верхней части кровли пласта вместо забойки можно использовать заряд ВВ, накрыв его сверху мешком с водой, а в нижней части почвы пласта – бурить скважины с большим перебором, позволяющим разместить увеличенный заряд ВВ.

При обуивании крутого пласта в приконтурных рядах, находящихся на границе с угольным пластом, скважины расположены наклонно, но параллельно кровле и почве пласта. Для улучшения проработки подошвы уступа со стороны лежачего бока пласта необходимо предусмотреть бурение дополнительных скважин, расположенных на расстоянии 1-1,5 м от скважин контурного ряда и направленных параллельно откосу уступа.

Необходимо отметить, что на безугольных участках скважины заряжаются на всю длину и короткозамедленное взрывание осуществляется по продольной схеме, обеспечивающей максимальную ширину развода, что позволяет осуществить сброс породы взрывом в отвальной заходке.

В результате взрывания заходки образуется неровная поверхность развода, показанная на рис. 3 (продольный разрез по оси развода). Угленасыщенные участки не подвержены взрывному разрушению и поэтому можно считать, что перед выемкой пласт сохраняет свою природную геометрическую форму.

Необходимые требования, которым должна отвечать технологическая схема добычных работ с применением драглайна, следующие: минимальные потери угля, минимальное засорение угля породой, учет особенностей рабочего процесса драглайна и обеспечение его максимальной производительности. При этом необходимо учитывать особенности залегания пласта в заходке и особенности выполнения операции копания ковшом драглайна.

Необходимость учета особенностей выполнения операции копания ковшом драглайна установлена на основании экспериментальных наблюдений за выемкой наклонного пласта Волковский драглайном ЭШ 10.70 нижним черпанием на разрезе «Кедровский».

В результате наблюдений установлен ряд положений, которые учитывают при разработке схем добычных работ.

1) В забое драглайн устанавливается так, чтобы тяговый канат не терся об верхнюю бровку откоса забоя. Это требование обусловлено сохранностью тягового каната.

2) Необходим учет границы зоны саморазгрузки ковша, особенно при отработке дальней части забоя. С увеличением глубины копания увеличивается протяжка груженого ковша для вывода его из зоны саморазгрузки. В случае выемки последнего угольного слоя по почве пласта при длительной протяжке груженого ковша возможно засорение угля породой. Поэтому машинисту необходимо работать и подъемным и тяговым канатом, то есть управлять движением ковша.

3) Необходимо использовать такой прием работы, как бульдозирование породы призм волочения (или «натяга»), образуемого около верхней бровки забоя задней стенкой груженого ковша. Для этого груженый ковш подтягивается к драглайну на величину длины упряжи. Затем начинают его поднимать тяговым канатом и при откачивании (маятниковый принцип) груженого ковша назад в забой его задняя стенка выполняет роль отвала бульдозера.

4) При отработке ближних слоев выемки (по отношению к драглайну) груженый ковш не доводится на 1,5-2 м до линии бровки откоса забоя, и в этот момент тяговый канат сначала затормаживают и затем после остановки ковша растормаживают. После того как груженый ковш откачивается назад (маятниковый принцип), ковш поднимают. При таком приеме работы призма волочения (состоящая из угольной массы) «оседает» на плоскости забоя и почти не образует на рабочей площадке «натяга» угля, что уменьшает вероятность засорения на ней угля породой.

5) При небольшой толщине угольного слоя на этапе доработки пласта (менее одного метра) производится двух- или трехкратное копание угля для наполнения ковша, что увеличивает продолжительность цикла.

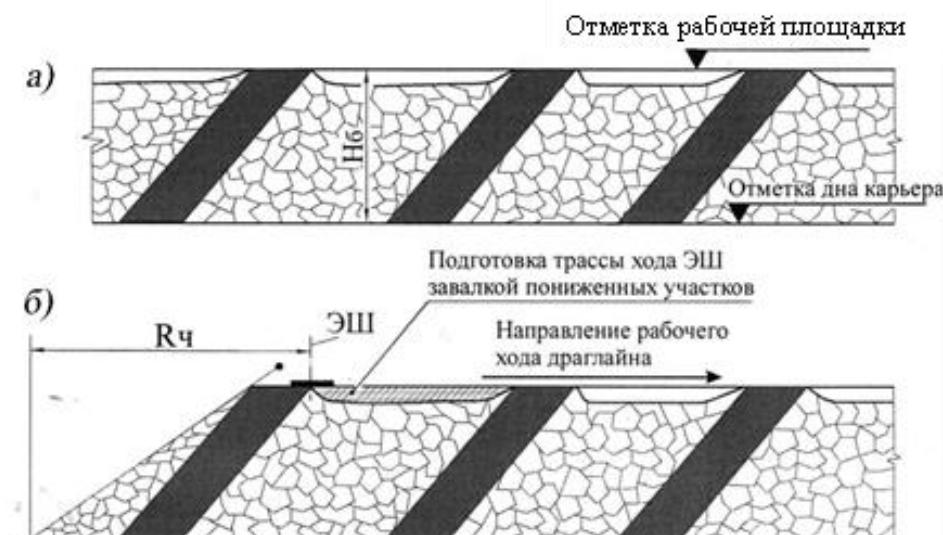


Рисунок 3 – Продольный разрез развала породоугольной заходки (а) и положение экскаватора перед началом добычных работ с подготовкой трассы хода (б)

Figure 3 – Longitudinal section of the rock-coal cut (a) and the position of the excavator before the start of mining operations with preparation of the stroke path (b)

Наблюдения за процессом отработки породоугольного блока позволили сделать основное заключение по технологии ведения добычных работ драглайном. Оно состоит в том, что при выемке породоугольного блока необходимо активно управлять операциями копания и рабочим ходом драглайна. При этом надо учитывать требования работы тягового каната во взаимосвязи с условиями залегания угольного пласта. Управление рабочим ходом драглайна заключается в выборе длины отшагивания, которая должна определяться в каждом конкретном случае.

Рассмотрим технологию отработки слоев выемки при разработке угольного пласта драглайном. Последовательность разработки слоев и их параметры показаны на рис. 4. Построение схемы сделано для условий: драглайн ЭШ 10.70А; высота оси блока наводки $h_{бн} = 4$ м; высота уступа $H_6 = 15$ м; угол падения пласта $\alpha = 60^\circ$; мощность пласта $m = 3$ м; толщина снимаемых стружек $h_c = 0,45$ м.

В слоях выемки выделены три элемента: породная часть, расположенная со стороны кровли пласта (X_i); угольная часть (Y_i); породная часть, расположенная со стороны почвы пласта (X'_i).

В рассматриваемом породоугольном блоке выделено 32 слоя выемки, параметры элементов которых (X_i , Y_i ; X'_i) представлены в таблице 1.

Рассмотрим типовые операции копания экскаватора при ведении добычных работ. Необходимо учитывать, что по данным работы [5] длина копания, необходимая для полного наполнения ковша драглайна при нижнем черпании, составляет в среднем 3-4,3 C_k (где C_k – длина ковша, м), то есть примерно 12 м, причем с увеличением угла наклона забоя эта длина уменьшается.

Технология селективно-валовой и селективной выемки угля состоит в следующем (рис. 5-а, б, в, г, д, е, ж, з).

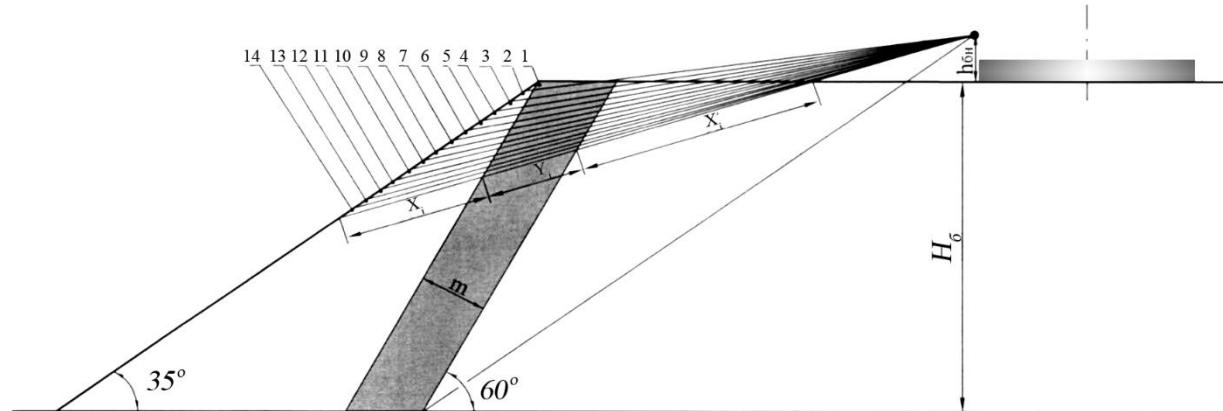


Рисунок 4 – Параметры слоев выемки при валово-селективной разработке угольного слоя
 Figure 4 – Parameters of the excavation layers in the bulk-selective mining of a coal seam

Таблица 1 – Параметры элементов слоев выемки породоугольного блока

Table 1 – Parameters of the elements of the rock-coal block excavation layers

№ слоя	X_i , м	Y_i , м	X'_i , м	№ слоя	X_i , м	Y_i , м	X'_i , м	№ слоя	X_i , м	Y_i , м	X'_i , м
1	0,5	2,7	–	12	9,5	4,5	12,5	23	8,0	5,7	19,0
2	1,1	4,0	1,5	13	11,0	4,8	13,0	24	6,0	5,7	19,7
3	1,5	4,0	3,2	14	12,5	4,8	13,7	25	4,5	5,7	20,5
4	2,2	4,0	5,0	15	14,5	4,8	14,5	26	2,7	6,0	21,0
5	3,0	4,2	6,5	16	16,0	4,8	14,7	27	1,2	6,2	21,5
6	3,7	4,2	7,7	17	17,7	5,0	15,2	28	–	6,0	22,5
7	4,5	4,2	8,5	18	16,7	5,0	16,0	29	–	4,7	23,2
8	5,5	4,2	9,5	19	15,2	5,0	16,2	30	–	3,0	24,5
9	6,2	4,5	10,0	20	13,2	5,2	17,0	31	–	1,5	25,7
10	7,5	4,5	11,0	21	11,7	5,2	17,5	32	–	–	26,0
11	8,5	4,5	12,0	22	10,0	5,5	18,2	–	–	–	–

Первый слой экскаватор снимает с присечкой породы со стороны кровли пласта (слой выемки – 1 на рис. 5-а). Длина копания составляет примерно 3,2 м (0,5 м по породе и 2,7 м по углю), что равняется длине ковша. В этом случае призма волочения не успевает сформироваться, следовательно, «натяга» не образуется, но ковш заполняется лишь частично.

Тогда с частично заполненным ковшом драглайн разрабатывает **второй слой**, выемка которого также осуществляется с присечкой породы со стороны кровли почвы пласта (рис. 5-б). Длина копания составляет около 6,6 м (1,5 м по породе со стороны кровли пласта, 1,1 м по породе со стороны почвы пласта и 3 м по углю). Образованный по результатам двух черпаний



«натяг», состоящий почти полностью из угля, сталкивается задней стенкой груженого ковша на линию забоя в границах угольного пласта. Далее ковш отводят на разгрузку в автотранспорт.

При разработке нижележащих слоев технология выемки угля усложняется из-за увеличения длины породных составляющих снимаемых слоев, и происходит засорение угля породой.

Разработка **третьего слоя** происходит в следующем порядке. Ковш врезается в породу и протягивается до почвы пласта, загружая породоугольную смесь. При этом длина копания составляет примерно 5,5 м (1,5 м по породе и 4 м по углю). Образовавшееся неполная призма волочения из угля сталкивается ковшом в угольную часть забоя (рис. 5-в), а ковш разгружается в автосамосвал. Затем порожний ковш снимает породную часть **четвертого слоя**, лежащую со стороны кровли пласта, до угольного пласта (рис. 5-г). Так как длина черпания составляет 2,2 м, то призма волочения не образуется. Ковш с породой отводится назад и разгружается в отвал. Затем ковшом вынимается угольная часть четвертого слоя вместе с оставленной там породоугольной смесью призмы волочения третьего слоя (рис. 5-д), причем черпание осуществляется до почвы пласта. На стыке угольной и породной зон образуется породный выступ высотой, равный двойной толщине снимаемых стружек (0,9 м). Этот выступ можно считать призмой упора с бесконечно большой массой [6], что позволяет заполнять ковш до упора зубьями об этот выступ и затем отводить груженый ковш по маятниковому принципу. Наполненный углем ковш разгружают, а далее снимается оставшийся породный выступ **третьего и четвертого слоя** (рис. 6-е). Длина черпания 3,2 м и 5 м соответственно. Получающийся «натяг» сталкивается задней стенкой груженого ковша в породную часть забоя. Ковш с породой разгружают во внутренний отвал.

Следующей снимается расположенная со стороны кровли пласта породная часть **пятого слоя** (рис. 5-ж). Длина черпания около 3 м, значит, призма волочения не образуется. Потом частично наполненный ковш отводится назад и начинает снимать породную часть **шестого слоя** (рис. 5-ж). Длина черпания примерно 3,7 м. В результате такой выемки опять же образуется угольный выступ, который будет играть роль призмы упора с бесконечно большой массой. Эта призма упора уменьшит величину породного «натяга» от шестого слоя на угольный пласт и, следовательно, величину засорения. Наполненный породой ковш отводится на разгрузку во внутренний отвал.

Далее порожний ковш врезается в угольный выступ **пятого слоя** и вынимает ее с образованием небольшой угольной призмы волочения, которая сталкивается задней стенкой ковша в угольный забой (рис. 5-з). Длина черпания 4,2 м. Потом частично наполненный ковш отводится назад и вынимает угольную часть **шестого слоя** (рис. 5-з). На границе контакта уголь-порода снова образуется породная призма упора с бесконечно большой массой. Груженый углем ковш отводится на разгрузку в автотранспорт. После этого отрабатывается породный выступ **пятого и шестого слоя**, лежащий со стороны почвы пласта. Наполненный ковш отводится на разгрузку во внутренний отвал.

Дальнейшая выемка слоев осуществляется по аналогичной технологии. По мере понижения отработки слоев длины породных и угольных участков изменяются и возможны случаи, когда необходимо выполнять два-три копания для разработки породного или угольного элемента выемочного слоя.

Проведенный анализ технологии селективной выемки крутого угольного пласта позволил систематизировать схемы разработки слоев выемки (рис. 6).

На рис. 6-а слой выемки отрабатывается за одно копание с нормальной врезкой ковша (толщина стружки измеряется от 0 до номинальной – 0,45-0,5 м) и с завершением операции копания сталкиванием призмы волочения породной или угольной обратно в забой задней стенкой груженого ковша.

На рис. 6-б показана схема разработки слоев выемки за два копания. За первое копание разрабатывается дальняя стружка по слою выемки с нормальной врезкой ковша, при этом завершение операции характеризуется оставлением призмы волочения в забое, для чего груженый ковш отводится назад по маятниковому принципу, и призма волочения остается на месте. Второе копание характеризуется отсутствием врезки, поскольку ковш подводится к ранее

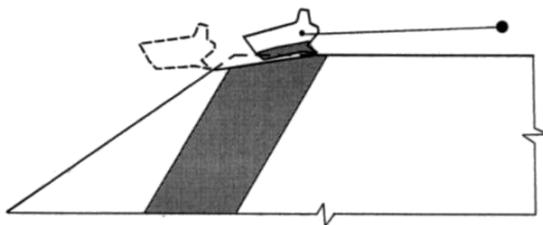
оставленной в забое призме волочения. Второе копание также завершается сталкиванием призмы волочения в забой.

На рис. 6-в показана схема разработки слоя выемки за три копания. Выполнение первого копания производится с врезкой ковша, а второго – без врезки. Завершение третьего копания также характеризуется сталкиванием породы призмы волочения в забой.

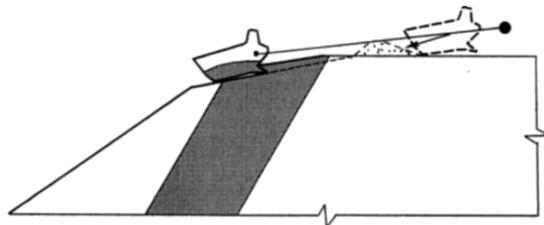
Как отмечалось выше, при нижнем черпании длина пути наполнения ковша составляет от 3 до 4,3 длины ковша C_k . Тогда для драглайнов марок ЭШ 10.70А, ЭШ 11.70 эта длина составит около 12 м. При высоте уступа 15 м длина поверхности забоя (слоя выемки) при максимальном угле наклона забоя (α_{36}), равном 35° , составит 28-30 м.

Поэтому при разработке слоев выемки будут использоваться все виды представленных в систематизации схем.

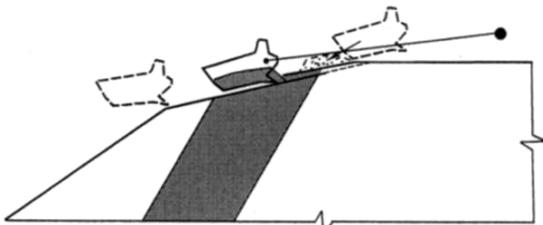
а) 1-е черпание (1 слой)



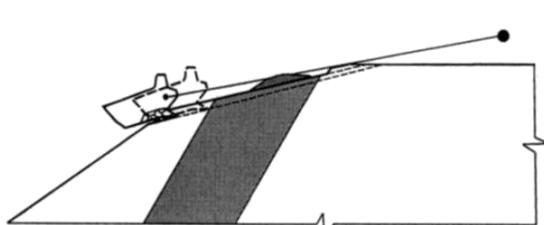
б) 2-е черпание (2 слой)



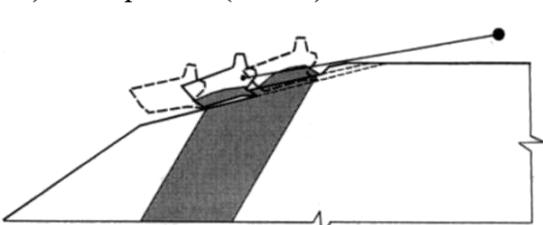
в) 3-е черпание (3 слой)



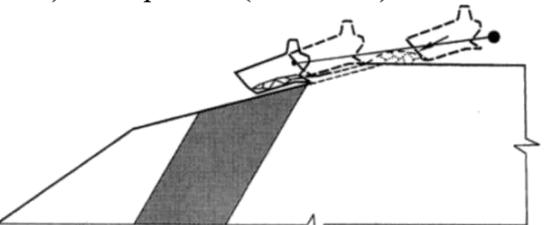
г) 4-е черпание (4 слой)



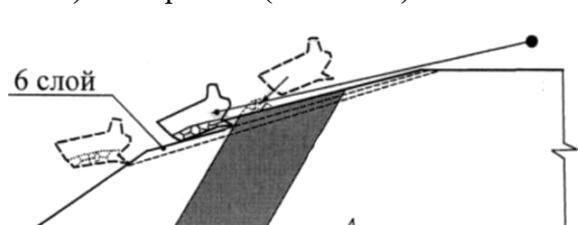
д) 5-е черпание (3 слой)



е) 6-е черпание (3 и 4 слой)



ж) 7-е черпание (5 и 6 слой)



з) 8-е черпание (5 и 6 слой)

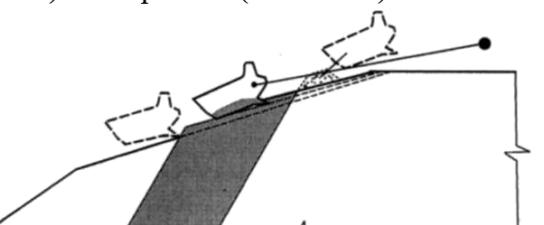


Рисунок 5 – Порядок выполнения операций копания при валово-селективной разработке пласта
Figure 5 – Sequence of digging operations in bulk-selective mining of a seam

Данная систематизация схем разработки слоев выемки используется при анализе схем разработки породоугольных блоков при различных углах залегания угольных пластов.

При разработке и анализе схем добычных работ принятые следующие условия. За начало ведения добычных работ принимается то положение поверхности забоя и драглайна, при котором очередная разработка слоя выемки должна осуществляться с захватом угля, причем независимо, где – или в зоне верхней бровки откоса забоя (рис. 8-а), или в зоне нижней (рис. 8-б).

За окончание ведения добычных работ принимается то положение поверхности забоя и драглайна, при котором полностью завершена выемка угольного пласта.

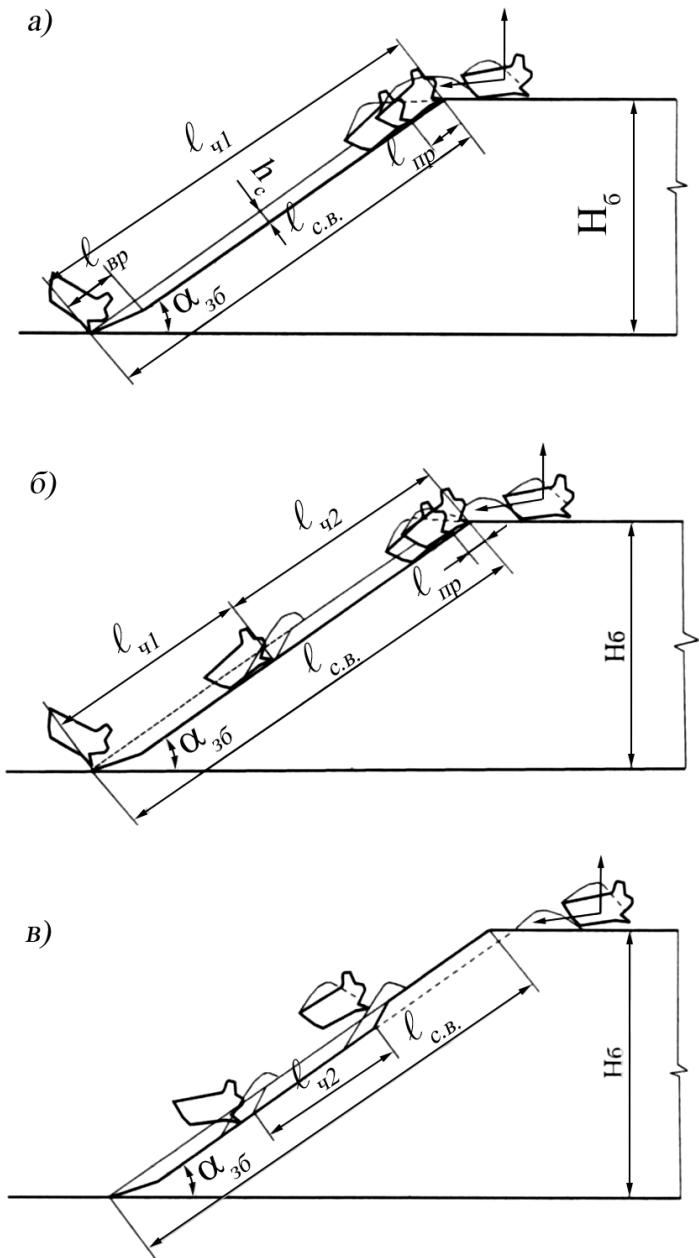


Рисунок 6 – Систематизация схем разработки слоев выемки: а – за одну операцию копания; б – за две операции копания, в – за три операции копания

Figure 6 – Systematization of excavation layer mining schemes: a – for one digging operation; b – for two digging operations; c – for three digging operations

При разработке схем добычных работ траектория движения ковша принимается прямолинейной и параллельной откосу поверхности забоя [4].

На начало ведения добычных работ положение экскаватора в забое определяется следующими параметрами.

Ось вращения драглайна располагается на расстоянии B от верхней бровки откоса забоя

$$B = \frac{d}{2} + b_{\text{п}}, \text{ м},$$

где d – диаметр опорной базы экскаватора, м; $b_{\text{п}}$ – ширина бермы безопасности.

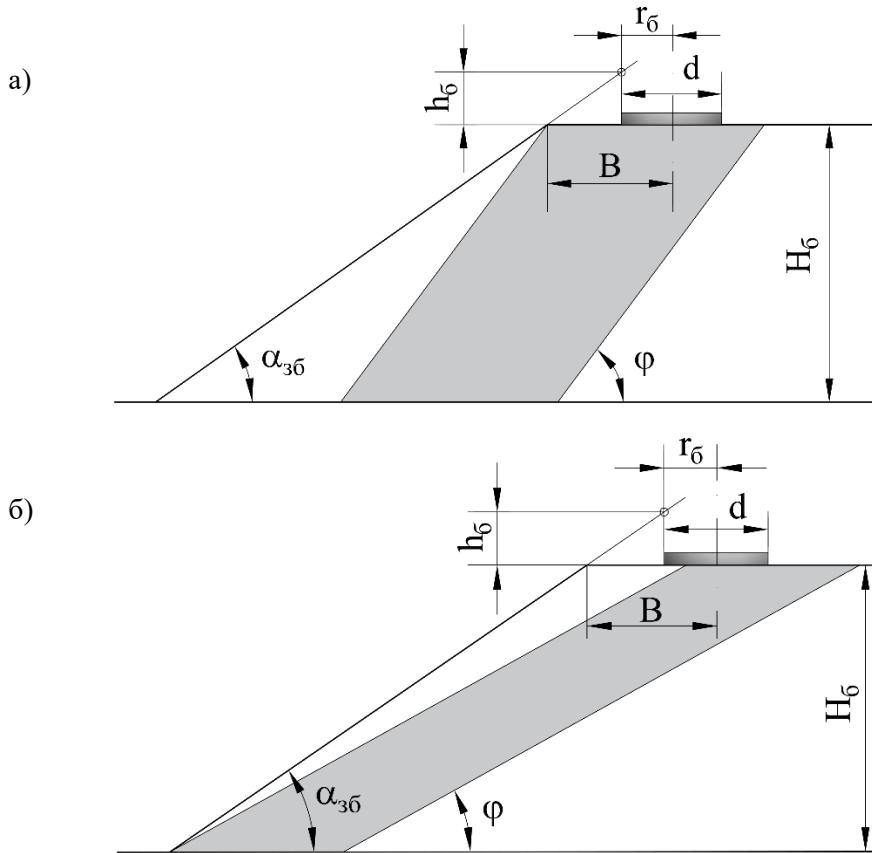


Рисунок 7 – Схема положения забоя драглайна на начало ведения добычных работ: а – начало копания угля в зоне верхней бровки откоса забоя; б – начало копания угля в зоне нижней бровки

Figure 7 – Diagram showing the position of the dragline face at the start of mining operations: a – start of coal mining in the crest zone of the face slope; b – start of coal mining in the toe zone of the face slope

Максимально возможный угол наклона забоя определяется условием работы тягового каната:

$$\alpha_{36} = \arctg \left(\frac{h_6}{B - r_6} \right), \text{ градус},$$

где h_6 и r_6 – положение оси блока наводки относительно рабочей площадки и оси вращения экскаватора соответственно, м.

Угол наклона пласта (ϕ) в породоугольном блоке относительно угла наклона забоя (α_{36}) может иметь следующие значения: $\alpha_{36} > \phi$; $\alpha_{36} = \phi$; $\alpha_{36} < \phi$.

Схемы ведения добычных работ для различных условий залегания угольного пласта приведены на рис. 8-а, б, в, г, д.

Ниже приводится анализ разработанных схем добычных работ на примере применения на выемке угля драглайна ЭШ 10.70А.

На рис. 8а показана схема разработки породоугольного блока при угле падения 75° ($\alpha_{36} < \phi$). Из начального положения I экскаватор отшагивает на расстояние 10,5 м в положение II. В этом положении он должен отработать породоугольный блок (фиг. 1-2-3-4), что определяется

условием работы тягового каната. Забой экскаватора представляет собой породоугольные слои, состоящие из породных и угольных участков, которые необходимо вынимать раздельно. Их выемка осуществляется по описанной выше технологии.

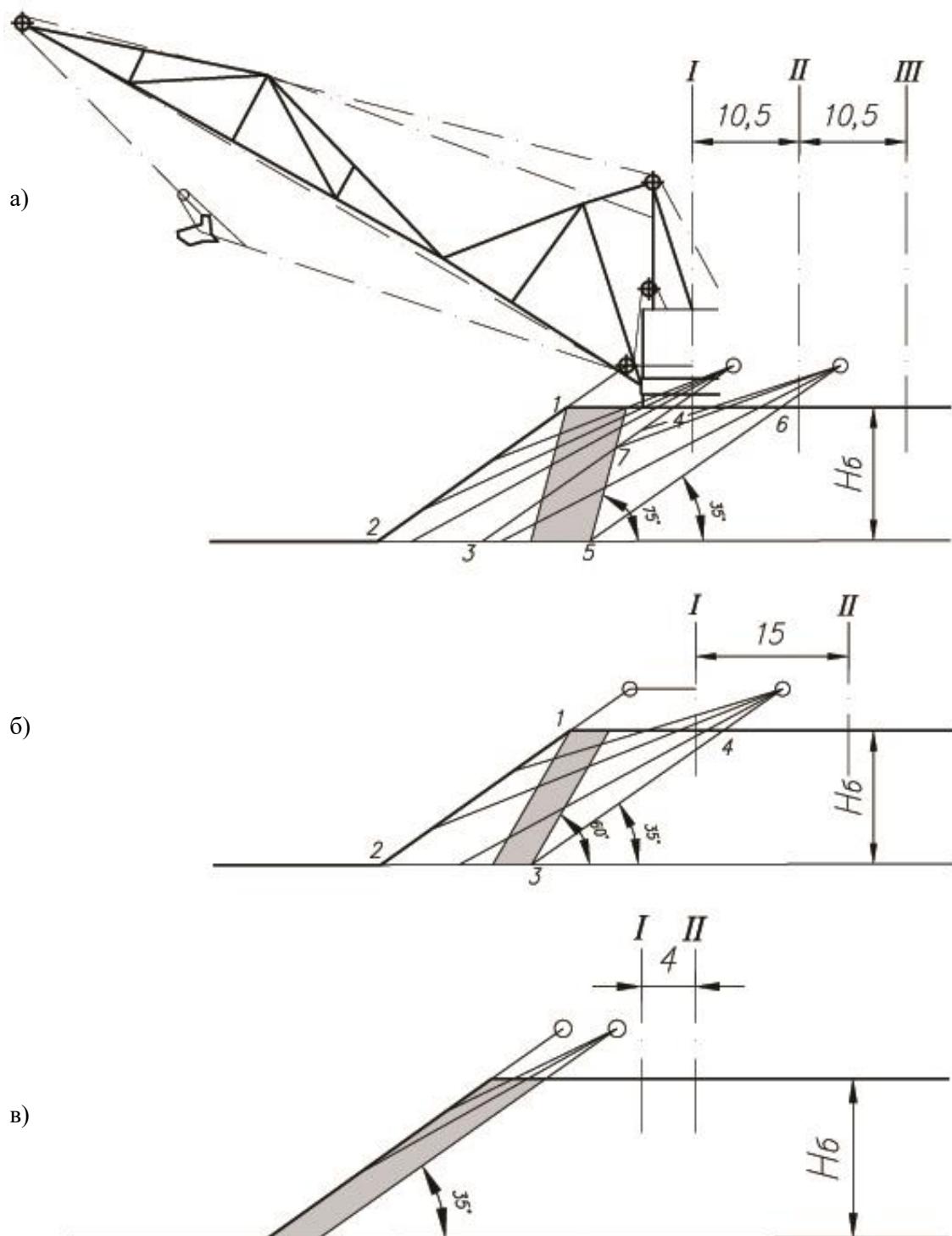


Рисунок 8 – Схемы добывочных работ драглайном ЭШ 10.70А. На схемах: о – ось блока наводки тягового каната

Figure 8 – Schematic diagrams of mining operations using the ESH 10.70A dragline. In the diagrams: о – axis of the traction cable guidance block

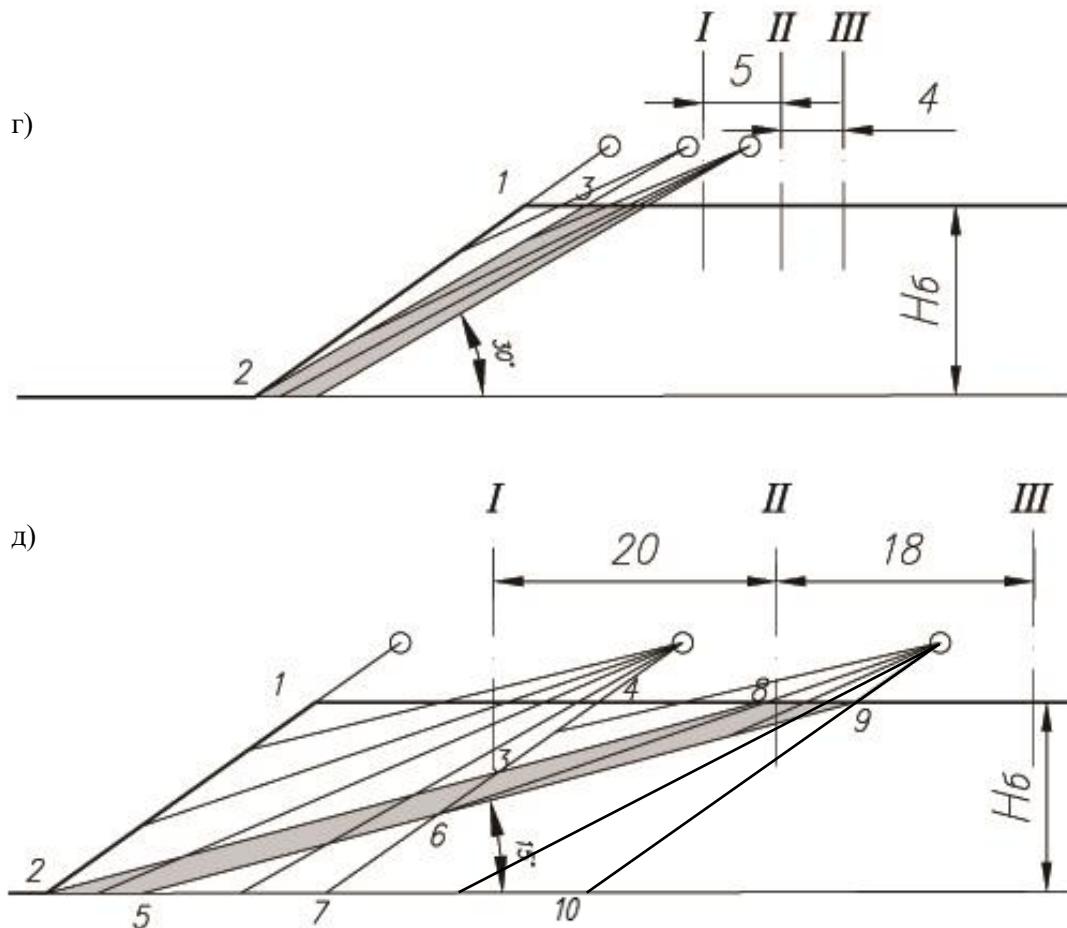


Рисунок 8, окончание – Схемы добывчих работ драглайном ЭШ 10.70А. На схемах: о – ось блока наводки тягового каната

Figure 8 (end) – Schematic diagrams of mining operations using the ESH 10.70A dragline. In the diagrams: o – axis of the traction cable guidance block

После завершения отработки блока 1-2-3-4 экскаватор перемещается в положение III на расстояние 10,5 м. В этом положении он должен будет вынуть породоугольный блок, описываемый фигурой 4-3-5-6. Сначала экскаватор вынимает породный блок (фиг. 4-7-6) с выгрузкой породы во внутренний отвал. Затем экскаватор начинает разработку оставшегося блока (фиг. 7-3-5-6). Выемка этого блока также осуществляется по описанной выше технологии.

На рис. 8-6 показана схема добывчих работ при угле падения пласта 60° ($\alpha_{36} < \varphi$). Технология ведения работ по этой схеме аналогична предыдущей, но отличается тем, что породоугольный блок отрабатывается с одной установки. Из исходного положения I драглайн перемещается в положение II на расстояние 15,0 м для отработки всего породоугольного блока фиг. 1-2-3-4.

На рис. 8-в показана схема добывчих работ при угле залегания пласта 35° ($\alpha_{36} = \varphi$). В этом случае самые благоприятные условия для производства выемки угля драглайном. Из исходного положения I драглайн отшагивает в положени II, при котором угол наклона тягового каната составляет 35°, и осуществляет полную выемку угля с одной установки.

На рис. 8-г показана схема добывчих работ при угле падения пласта 30° ($\alpha_{36} > \varphi$). В этом случае необходимо отработать над пластом породный клин (фиг. 1-2-3), для чего из исходного положения I драглайн отшагивает в положение II на расстояние 5 м и осуществляет выемку породного клина фиг. 1-2-3, а затем начинает вынимать угольный пласт. Для окончательной выемки пласта экскаватор перемещается в положение III на величину горизонтальной мощности пласта – 4 м – и из этого положения полностью вынимает пласт.



На рис. 8-д представлена схема ведения добычных работ при угле залегания пласта 15° . От исходного положения I драглайн отшагивает в положение II на расстояние 20 м. В этом положении выемке подлежит породоугольный блок 1-2-7-4 в следующей последовательности. Сначала вынимается порода (фиг. 1-2-3-4), затем уголь (фиг. 3-2-5-6) и далее снова порода (фиг. 5-6-7). Необходимость выемки породы под почвой пласта вызвана тем, что если полностью вынимать пласт с отшагиванием, то без создания специальных трасс подсыпки для выемки породы под почвой пласта может оказаться, что радиуса черпания будет недостаточно.

По завершении выемки блока (фиг. 1-2-7-4), экскаватор перемещается в положение III на расстояние 18 м. С этого места установки драглайн должен вынуть породоугольный блок, описываемый фиг. 4-6-9. Порода под почвой пласта убирается по тому же условию, что сказано выше. Вначале отрабатывается порода (фиг. 4-3-8), затем уголь (фиг. 8-3-6-9), и снова порода (фиг. 9-6-7-10). Условие выемки угольного пласта выполнено.

Таким образом, по описываемой схеме путем управления перемещением драглайна достигается полная выемка пласта при любом угле его залегания.

Выводы

1. Практика работы карьеров и научные публикации показывают, что буровзрывные работы при залегании пластов в скальных и полускальных породах обеспечивают качественное дробление и относительное сохранение положения пласта в заходке, что позволяет осуществлять валово-селективную и селективную выемку ковшом драглайна.

2. При бестранспортной технологии при поперечной системе разработки перед отсыпкой очередной отвальной заходки в дне карьерного поля необходимо осуществлять выемку забалансовых запасов траншейным забоем.

3. При валово-селективной и селективной выемке пластов технически важным является управляемое применение приемов операций черпания: врезка ковша, копание, отрыв ковша, сталкивание призмы волочения, отвод груженого ковша. Такое совокупное управляемое использование приемов позволяет осуществлять валово-селективную и селективную выемку без значительного засорения и снижения потерь угля.

4. Разработанная методика качественной оценки выемки угольных пластов показала, что наиболее благоприятными условиями для разработки драглайном являются пласти с углами падения менее 40° . Это связано с тем, что в этих случаях нет разделения выемочного слоя на элементы. Сначала вынимается вся порода, находящаяся на кровле пласта, потом вынимается уголь, а затем снова вся порода, лежащая со стороны почвы пласта, тем самым достигается максимальная производительность драглайна и уменьшается засорение.

5. Наиболее сложным с точки зрения отработки являются пласти с углом падения более 40° . В этом случае происходит деление выемочного слоя на породный и угольный участки, в результате чего усложняются операции по добыче полезного ископаемого, а также уменьшается производительность и увеличивается засорение.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2025 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Макридин Евгений Владимирович, начальник проектного отдела
e-mail: ev_makridin_razrez@mail.ru

ООО «Разрез Богатырь»
633209, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Искитим, ул. Комсомольская, 42, оф. 212

Милый Сергей Михайлович, начальник отдела аудита и авторского надзора



e-mail: sm_miliy@rambler.ru

Инжиниринговая компания «SGP»
650066, Российская Федерация, г. Кемерово, пр. Октябрьский, 28Б

Ефременков Андрей Борисович, д.т.н., доцент, проректор по науке,
e-mail: abe@novsu.ru

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого
173003, Российская Федерация, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, 41

Яковлев Алексей Сергеевич, студент гр. ГОc-201, Горный институт, кафедра открытых горных работ
e-mail: yakovlevas@kuzstu.ru

Марков Сергей Олегович, к.т.н., доц., доцент кафедры маркшейдерского дела и геологии
e-mail: markovso@kuzstu.ru

Тюленев Максим Анатольевич, к.т.н., доц., заведующий кафедрой открытых горных работ
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Список литературы

1. Демченко А.В. Поэтапно-углубочная технология интенсивной отработки угольных пластов для условий разреза «Краснобродский» / А.В. Демченко, В.А. Ермолаев, С.М. Федотенко // Уголь. – 1997. – №1. – С. 21-22.
2. Колесников В.Ф. Вскрытие и порядок отработки полей разрезов Кузбасса / В.Ф. Колесников, В.Н. Кузнецов, А.С. Ташкинов // Кемерово: Кузбассвузиздат. – 1997. – 128 с.
3. Паначев И.А., Нецветаев А.Г., Цепилов И.И., Удовицкий В.И. Особенности открытой добычи и переработки углей сложноструктурных месторождений Кузбасса. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1997. – 229 с.
4. Мордухович И.Л. Исследование параметров рабочего процесса шагающих драглайнов. – М.: Наука, 1984. – 143 с.
5. Сайтов В.И. Исследование особенностей рабочего процесса драглайна при верхнем черпании и влияние их на его основные параметры: Автореф. дис. канд. техн. наук – Свердловск, 1975. – 24 с.
6. Проноза, В. Г. Обоснование структуры эффективных технологических комплексов перевалки вскрышных пород : специальность 05.15.03 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Проноза Владимир Григорьевич. – Кемерово, 1992. – 41 с. – EDN ZJNIV.
7. Demirel, N. & Frimpong, S. Dragline dynamic modelling for efficient excavation. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2009;23(1):4-20.
8. Воронков В.Ф. Обоснование технологии интенсивной разработки вскрышных надугольных горизонтов с размещением породы во внутренних отвалах на разрезах южного Кузбасса: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1989. – 19 с.
9. Калинин А.В., Проноза В.Г., Воронков В.Ф. Расчет коэффициента перевалки при бестранспортной разработке пологих пластов // Разработка угольных месторождений открытым способом: Межвуз. сб. научн. тр. / Кузбас. политехн. ин–т. – Кемерово, 1980. – Вып. 7. – С. 15-24.
10. Финадеев П.А., Крючков В.В. Определение среднего угла поворота экскаваторов при бестранспортной системе разработки / Сб. научн. тр. НИИОГР. Челябинск. – 1982.
11. Кузьменко А.Х. Исследование производительности драглайнов в основных технологических схемах на открытых горных разработках: Автореф. дис.. канд. техн. наук. – М., 1979. – 21 с.
12. Perspectives for the Transportless Mining Technology in Siberia and Far East Coal Deposits / S. Markov, Ju. Janočko, M. Tyulenev, Ya. O. Litvin // E3S Web of Conferences : IVth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 14-16 октября 2019 года. Vol. 105. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/201910501021. – EDN UARMUK.
13. Зягинцев Ю.И., Кортелев О.Б. Методика обоснования схем организации работ при использовании систем разработки с перевалкой вскрыши // Оптимизация параметров карьеров: Сб. научн. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1978. – С. 32-37.



14. Цымбалюк, Т. А. Методика выбора модели драглайна для отработки вскрышных пород на разрезах / Т. А. Цымбалюк, В. И. Ческидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 4. – С. 59-69. – DOI 10.15372/FTPRPI20200407. – EDN RAISPI.
15. Гвоздкова, Т. Н. Отработка законсервированных запасов по пл. VI на ОАО "Разрез Томусинский" УК «Южный Кузбасс» / Т. Н. Гвоздкова, В. Г. Проноза // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – № 4(62). – С. 11-16. – EDN IAFLSR.
16. Кузнецов, В.И. Развитие и совершенствование бестранспортных схем экскавации в Кузбассе // Уголь. – 1990. – №5. – С. 27-28.
17. Щадов, М.И. Проблемы интенсификации бестранспортных систем разработки // Уголь. – 1985. – №11. – С. 25-29.
18. Проноза, В.Г. К вопросу полного использования параметров внутренних отвалов на разрезах южного Кузбасса / В.Г. Проноза, В.Ф. Воронков, В.С. Вагоровский // Перспективы развития открытой разработки угольных месторождений: Сб. научн. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1985. – С. 73-79.
19. Гвоздкова, Т. Н. Обоснование структуры бестранспортных схем разработки свит из трех пологих угольных пластов : специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гвоздкова Татьяна Николаевна. – Кемерово, 2006. – 192 с. – EDN NNWSJT.
20. Лоханов, Б.Н. Исследование параметров бестранспортной системы разработки свиты пологих пластов / Лоханов Б.Н. // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1969. – 23 с.
21. Воронков В.Ф., Вагоровский В.С. Технология вскрышных работ с созданием трасс передвижения драглайнов в отвальной зоне, совмещенным с процессом формирования отвальных ярусов // Открытая разработка угольных месторождений: Сб. научн. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово. – С. 110-114.
22. Ческидов, В. И. Методические основы расчета параметров бестранспортных технологических схем открытой разработки свиты пологопадающих угольных пластов / В. И. Ческидов, А. С. Бобыльский, А. В. Резник // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 2. – С. 95-101. – EDN YPBWED.
23. Лоханов Б.Н., Евстратенков Г.С. К вопросу обоснования границ усложненной бестранспортной системы разработки пологопадающих угольных месторождений // В сб. «Открытая добыча угля в Кузбассе», Кемерово, Кемеровское кн. изд-во. – 1968. – С. 268-280.
24. Васильев Е.И., Лоханов Б.Н. К вопросу определения области применения бестранспортных схем на карьерах // Технология и механизация на открытых горных работах: Сб. ст. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1971. – С. 43-46.
25. Васильев Е.И., Звягинцев Ю.И., Духнов А.П. Обоснование мощности вскрыши по бестранспортной технологии // Совершенствование открытой разработки месторождений полезных ископаемых: Сб. научн. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1973. – С. 43-49.
26. Назаров, И. В. Численное моделирование технологии перевалки вскрышных пород драглайнами / И. В. Назаров // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 1. – С. 53-60. – EDN NWZPBD.
27. Резник, А. В. Оптимизация параметров бестранспортной технологии при открытой разработке пологопадающих угольных месторождений Кузбасса / А. В. Резник // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2018. – Т. 5, № 2. – С. 160-167. – EDN YNUCL.
28. Исследование структур схем экскавации при отсыпке внутренних многоярусных бестранспортных отвалов / М. А. Тюленев, С. О. Марков, Н. С. Сурадеев [и др.] // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 4(19). – С. 4-34. – DOI 10.26730/2618-7434-2022-4-4-34. – EDN XFQSQJ.
29. Назаров, И. В. Формирование технологических схем перевалки взорванных пород с помощью оптимизационного алгоритма / И. В. Назаров, В. Г. Проноза // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2000. – № 5. – С. 38-49. – EDN SJSLNZ.
30. Теория и практика открытых разработок / Н. В. Мельников, А. И. Арсентьев, М. С. Газизов [и др.]. – Москва : Издательство «Недра», 1973. – 636 с. – EDN TVOOYH.



RESEARCH OF COAL EXTRACTION TECHNOLOGY USING DRAGLINES IN TRANSVERSAL MINING SYSTEMS FOR INCLINED AND STEEP SEAMS

**Eugene V. Makridin¹, Sergey M. Miliy², Andrew B. Efremenkov³, Alexey S. Yakovlev⁴,
Sergey O. Markov⁴, Maxim A. Tyulenev⁴**

¹ Razrez Bogatyr LLC

² SGP Engineering company

³ Yaroslav-the-Wise Novgorod State University

⁴ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:

15 August 2025

Revised:

23 October 2025

Accepted:

17 November 2025

Keywords: open pit mining, dragline, mining system, bulk excavation, selective excavation, transportless technology, coal losses

Abstract.

The general technical policy of coal producers is consistently directed toward increasing the volume of transportless overburden removal by expanding its boundaries and scope of application. It is proposed to develop part of the overburden in inclined deposits and upper horizons of steep seams, to make wider use of explosive rock disposal in the dump layer, to use high benches and paired excavator operation. The use of transportless technology in the mining of inclined and steep deposits with transverse development of the working front is in line with the technical and economic policy of coal producers. In addition, it is necessary to strive to expand the boundaries of application of this technology in a new area, in particular, to increase the capacity of the overburden being mined (the height of the transportless or working zone). However, it should be noted that there may be situations in which mining operations also have to be carried out using a dragline, including when mining inclined and steep seams. This article examines the conditions for selective and selective-bulk mining of inclined and steep seams using a dragline, studies the sequence of digging operations, and identifies the most and least favorable mining and geological conditions for developing coal seams using a dragline.

For citation Makridin E.V., Miliy S.M., Efremenkov A.B., Yakovlev A.S., Markov S.O., Tyulenev M.A. Research of coal extraction technology using draglines in transversal mining systems for inclined and steep seams. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2025;4(31):88-106. DOI: 10.26730/2618-7434-2025-4-88-106, EDN: NUWTNM

References

1. Demchenko A.V., Ermolaev V.A., Fedotenko S.M. Step-by-step in-depth technology for intensive mining of coal seams for the Krasnobrodsky open-pit mine. *Ugol'*. 1997;1:21-22. [In Russ.].
2. Kolesnikov V.F., Kuznetsov V.N., Tashkinov A.S. Opening and mining order of Kuzbass open-pit mines. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat Publishing House, 1997, 128 p. [In Russ.].
3. Panachev I.A., Netsvetaev A.G., Tsepilov I.I., Udvotsky V.I. Features of open-pit mining and processing of coal from complex deposits in Kuzbass. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat Publishing House, 1997, 229 p. [In Russ.].
4. Mordukhovich I.L. Study of the parameters of the working process of walking draglines. Moscow: Nauka Publishing House, 1984, 143 p. [In Russ.].
5. Saitov V.I. Study of the features of the dragline working process during upper scooping and their influence on its main parameters: Author's abstract of dissertation ... Candidate of Technical Sciences – Sverdlovsk, 1975, 24 p. [In Russ.].
6. Pronozza V.G. Justification of the structure of effective technological complexes for overburden direct dumping: specialty 05.15.03: Author's abstract of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Kemerovo, 1992, 41 p. [In Russ.].
7. Demirel N. & Frimpong S. Dragline dynamic modeling for efficient excavation. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2009;23(1):4-20.



8. Voronkov V.F. Justification of the technology of intensive development of overburden coal horizons with the placement of rock in internal dumps at open-pit mines in southern Kuzbass: Author's abstract of dissertation ... Candidate of Technical Sciences. – Moscow, 1989. – 19 p. [In Russ.].
9. Kalinin A.V., Pronoza V.G., Voronkov V.F. Calculation of the re-excavation coefficient in transport-free development of flat seams. In: *Development of coal deposits by open-pit mining: Inter-university collection of scientific papers*. Kuzbass Polytechnic Institute, Kemerovo, 1980. – Issue 7. – pp. 15-24. [In Russ.].
10. Finadeev P.A., Kryuchkov V.V. Determination of the average angle of rotation of excavators in a transport-free mining system. In: *Collection of scientific papers of the NIIOGR*. Chelyabinsk. – 1982. [In Russ.].
11. Kuzmenko A.Kh. Study of the productivity of draglines in the main technological schemes at open-pit mines: Author's abstract of dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. – Moscow, 1979. – 21 p. [In Russ.].
12. Markov S., Janočko Ju., Tyulenev M., Litvin Ya. Perspectives for the Transportless Mining Technology in Siberia and Far East Coal Deposits. *E3S Web of Conferences*. 2019;105:01021. DOI 10.1051/e3sconf/201910501021.
13. Zvyagintsev Yu.I., Kortelev O.B. Methodology for justifying work organization schemes when using development systems with overburden transshipment. In: *Optimization of quarry parameters: Collection of scientific works*. Mining Institute of Siberian Branch of Soviet Academy of Sciences. Novosibirsk, 1978. – pp. 32-37. [In Russ.].
14. T.A. Tsybalyuk, V.I. Cheskodov. Methodology for selecting a dragline model for overburden removal at open-pit mines. *Physical and Technical Problems of Mineral Development*, 2020, no. 4, pp. 59–69, DOI 10.15372/FTPRPI20200407, EDN RAISPI. – P. 59-69. – DOI 10.15372/FTPRPI20200407. [In Russ.].
15. Gvozdikova T.N., Pronoza V.G. Development of mothballed reserves in area VI at OJSC «Tomusinsky Open-Pit Mine» of UK «South Kuzbass». *Bulletin of Kuzbass State Technical University*. 2007;4(62):11-16. [In Russ.].
16. Kuznetsov V.I. Development and improvement of transportless excavation schemes in Kuzbass. *Ugol'*. 1990;5:27-28. [In Russ.].
17. Shchadov M.I. Problems of intensification of transportless mining systems. *Ugol'*. 1985;11:25-29. [In Russ.].
18. Pronoza V.G., Voronkov V.F., Vagorovsky V.S. On the issue of full utilization of internal dump parameters at open-pit mines in southern Kuzbass. In: *Prospects for the development of open-pit coal mining: Collection of scientific papers*. Kuzbass Polytechnic Institute, Kemerovo, 1985, pp. 73-79. [In Russ.].
19. Gvozdikova T.N. Justification of the structures of transportless schemes for the development of suites of three gentle coal seams: specialty 25.00.22 «Geotechnology (underground, open-pit, and construction)» : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Kemerovo, 2006, 192 p. [In Russ.].
20. Lokhanov B.N. Study of the parameters of a transport-free system for developing a suite of gentle strata. Author's abstract of dissertation ... Candidate of Technical Sciences. Moscow: Moscow Mining Institute, 1969, 23 p. [In Russ.].
21. Voronkov V.F., Vagorovsky V.S. Technology of overburden removal with the creation of dragline movement routes in the dumping zone, combined with the process of forming dumping tiers. In: *Open development of coal deposits: Collection of scientific works*. Kuzbass Polytechnic Institute, Kemerovo, pp. 110-114. [In Russ.].
22. Cheskodov V.I., Bobylsky A.S., Reznik A.V. Methodological basis for calculating the parameters of transport-free technological schemes for open development of gently dipping coal seams. *Physical and technical problems of mineral resource development*. 2017;2:95-101. [In Russ.].
23. Lokhanov B.N., Evstratenkov G.S. On the justification of the boundaries of a complex transport-free system for the development of flat-lying coal deposits. In: *Open-pit coal mining in Kuzbass*, Kemerovo, Kemerovo Book Publishing House, 1968, pp. 268-280. [In Russ.].
24. Vasilyev E.I., Lokhanov B.N. On the issue of determining the scope of application of transport-free schemes in open pits. In: *Technology and mechanization in open mining: Collection of articles*. Mining Institute of Siberian Branch of Soviet Academy of Sciences. Novosibirsk, 1971, pp. 43-46. [In Russ.].
25. Vasilyev E.I., Zvyagintsev Yu.I., Dukhnov A.P. Justification of overburden removal capacity using transportless technology. In: *Improvement of open-pit mining of mineral deposits: Collection of scientific papers*. Mining Institute of Siberian Branch of Soviet Academy of Sciences. Novosibirsk, 1973, pp. 43-49. [In Russ.].
26. Nazarov I.V. Numerical modeling of overburden transshipment technology using draglines. *Physical and technical problems of mineral resource development*. 2011;1:53–60. [In Russ.].
27. Reznik A.V. Optimization of parameters of transportless technology in open-pit mining of flat-lying coal deposits in Kuzbass. *Fundamental and applied issues of mining sciences*. 2018;5(2):160-167. [In Russ.].



28. Tyulenev M.A., Markov S.O., Suradeev N.S. [et al.] Study of excavation scheme structures during the filling of internal multi-tier transportless dumps. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2022;4(19):4-34. – DOI 10.26730/2618-7434-2022-4-4-34. [In Russ.].
29. Nazarov I.V., Pronoza V.G. Formation of technological schemes for transshipment of blasted rock using an optimization algorithm. *News of Higher Educational Institutions. Mining Journal*. 2000;5:38-49. [In Russ.].
30. Melnikov N.V., Arsentiev A.I., Gazizov M.S. [et al.]. Theory and practice of open-pit mining. Moscow, Nedra Publishing House, 1973, 636 p. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2025 The Authors. Published by T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Eugene V. Makridin, chief of the design department
e-mail: ev_makridin_razrez@mail.ru

Razrez Bogatyr LLC
633209, Russian Federation, Novosibirsk Region, Iskitim, 42 Komsomolskaya Street, Office 212

Sergey M. Miliy, chief of the audit and field supervision department
e-mail: sm_miliy@rambler.ru

SGP Engineering company
650066, Russian Federation, Kemerovo, 28b October av.

Andrew B. Efremenkov, Dr.Sc. (Tech.), Vice-Rector for Research and Innovation
e-mail: abe@novsu.ru

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,
173003, Russian Federation, Novgorod region, Veliky Novgorod, 41 B. Peterburgskaya st.

Alexey S. Yakovlev, student of the GOs-201 group, Open Pit Mining Department
e-mail: yakovlevas@kuzstu.ru

Sergey O. Markov, PhD. (Eng.), Associate Professor of the Surveying and Geology Department
e-mail: markovso@kuzstu.ru

Maxim A. Tyulenev, PhD. (Eng.), Associate Professor, Head of the Open Pit Mining Department
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
650000, Russian Federation, Kemerovo, 28 Vesennaya St.

