

На правах рукописи



Нечаев Андрей Игоревич

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ БЕСТРАНСПОРТНОЙ
ПЕРЕВАЛКИ БЕЗУГОЛЬНОЙ ЗОНЫ ПОЛОГОПАДАЮЩЕЙ ЗАЛЕЖИ**

Специальность 2.8.8. «Геотехнология, горные машины»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово – 2026

Работа выполнена на кафедре «Открытые горные работы» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Научный руководитель:

Селюков Алексей Владимирович

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Открытые горные
работы» ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Официальные оппоненты:

Гавришев Сергей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, заведующей кафедрой «Разработка
месторождений полезных ископаемых» ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Резник Александр Владиславович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории
«Открытых горных работ» ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А.
Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук»

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный
федеральный университет им. М.К.
Аммосова»

Защита диссертации состоится «30» сентября 2026 г. в 11-00ч. на заседании
диссертационного совета 24.2.364.03, при ФГБОУ ВО «Российский
государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, зал диссертационных
советов (кабинет 4-73)

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте
Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23,
<http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «10» июля 2026г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



И.Н. Салахов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Согласно стратегии развития топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, основной прирост добычи каменного угля будет осуществляться за счет Кузнецкого угольного бассейна. На добычу угля открытым способом в Кузбассе приходится более 2/3 от общих извлекаемых объемов полезного ископаемого. Начиная с момента ввода в эксплуатацию первых угольных разрезов установилась следующая технологическая направленность. Практически повсеместно применяются системы открытой разработки, с подвиганием фронта горных работ по простиранию и падению свиты пластов. К недостаткам относятся: ограничение доли внутреннего отвалообразования в 10÷15 % от общего объема вскрыши; увеличение объемов, складываемых на внешние отвалы до 85÷90 % с ростом транспортных расходов в общем объеме затрат на добычу до 50÷80 %; удельная землеемкость 55÷60 Га/млн.т.; до 52 % площадей горных отводов приходится на внешние отвалы.

Вышеуказанные недостатки, частично устраняются при разработке пологопадающих залежей центральной и южной части Кузнецкого бассейна по комбинированной транспортно-бестранспортной технологии (углы падения залежи составляют 5÷18°). Породный слой над пластами разрабатывается шагающим экскаватором типа «драглайн» по бестранспортной технологии, а вышележащая породная толща с помощью автотранспортной технологии перемещается из забоев на поверхность внутреннего бестранспортного отвала. В существующих схемах экскавации (последовательность перевалки вскрыши из забоя в отвал) предусматривается формирование двух или трех ярусов бестранспортного отвала, что обуславливается организацией работы одного и того же драглайна, который осуществляет выемку естественно наклонных вскрышных уступов, с углами поворота экскаватора из забоя в отвал 105÷180°. Эти обстоятельства приводят к тому, что доля бестранспортной технологии составляет всего лишь 8÷15% от общих объемов вскрыши, оставшаяся часть приходится на весьма затратную автотранспортную вскрышу. Производственные затраты на разработку 1м³ вскрыши по бестранспортному способу в 2÷3 раза дешевле по отношению к транспортному. Такая же ситуация относится к вновь вводимым в эксплуатацию карьерным полям. Следует особо отметить, что в существующей технологии, при росте числа бестранспортных уступов более двух или трех, резко возрастает объем вторичной перевалки, существенно увеличивается число ходов экскаватора, как в забое, так и на отвале, усложняется организация производства в рабочей зоне. В конечном итоге, все это по совокупности, приводит к не эффективному использованию бестранспортной технологии и ограничению области ее применения при открытой угледобыче на пологопадающих месторождениях.

Повышение технико-экономической эффективности открытого способа добычи угля на пологих пластовых месторождениях можно достичь за счет отработки безугольной зоны карьерного поля горизонтальными уступами,

ориентированными перпендикулярно линии простирания полезного ископаемого и разделении организации производства работ вскрышного и отвального драглайнов, позволяющих увеличивать объемы бестранспортной перевалки вскрыши, что подчеркивает актуальность темы работы.

Степень разработанности. Изучением вопроса проектирования системы и технологий открытой разработки пологопадающих угольных месторождений занимались А.И. Арсентьев, М.М., Березняк, Е.И. Васильев, В.Ф. Воронков, Т.Н. Гвоздкова, А.В. Калинин, Б.Н. Лоханов, Н.В. Мельников, М.Г. Новожилов, В.Г. Проноза, В.В. Ржевский, В.И. Ческидов, Е.Ф. Шешко и многие др. Основным моментом в изучении указанного вопроса является с укрупненной позиции, усовершенствование организации производства, и следующих из этого параметров и показателей эффективности технологии. Все вышесказанное замыкается на ограничении области применения бестранспортной технологии на двух или трех рабочих уступах.

Степень разработанности темы позволила выделить, что в источниках научно-технической информации нет определяющего (доминирующего) способа упрощения организации работ вскрышного и отвального драглайнов и увеличения объемов бестранспортной вскрыши. Поэтому дополнительного изучения требует разработка карьерного поля с увеличением объемов вскрышных работ с менее затратной бестранспортной технологией, упрощение организации работ вскрышного и отвального драглайнов, снижение эффективности перевалки вскрыши при углублении горных работ (росте глубины карьерного поля).

Целью работы является обоснование и разработка метода оценки бестранспортной перевалки безугольной зоны пологопадающей залежи, повышающего объемы переэкскавируемой вскрыши.

Объектом исследования является бестранспортная перевалка вскрыши с горизонтальных уступов безугольной зоны и перпендикулярных простиранию пологопадающей залежи.

Предметом исследования являются графо-аналитические взаимосвязи конструкции рабочей зоны при выделении очередностей разработки карьерного поля.

Идея работы заключается в формировании выработки под внутренний отвал, конструктивно включающей технологию разработки безугольной и угленасыщенной зон карьерного поля.

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие взаимосвязанные **задачи**:

- обосновать очерёдность открытой разработки пологопадающей залежи с формированием комплексной графо-аналитической модели рабочей зоны карьерного поля;
- оценить зависимость параметров выработки под внутренний отвал от переноса бестранспортной технологии в безугольную зону карьерного поля, оценить параметры схемы экскавации;
- оценить объемы бестранспортной перевалки вскрыши и эффективность предлагаемого технологического решения.

Методы исследований. В работе использован комплекс взаимодополняемых методов, включающий: анализ и обобщение научно-практического опыта открытой разработки свиты пологих угольных пластов; графоаналитическое и математическое моделирование рабочей зоны карьерного поля; метод многокритериального анализа TOPSIS; метод конечных элементов с использованием САПР Plaxis 3D; технико-экономическое сравнение вариантов с использованием электронных таблиц.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- параметры фронта горных работ в карьерном поле пологопадающей залежи устанавливаются на основе многофакторной оценки, обеспечивающей бестранспортную перевалку вскрыши на внутренний отвал при сохранении постоянства пространственных размеров рабочей зоны, возможности оперативного регулирования режима горных работ и однотипности вскрышного и отвального оборудования;

- полином третьей степени взаимоувязывает минимальные и максимальные параметры выработки по дну и верху с глубиной черпания драглайна и высотой рабочей зоны;

- полином третьей степени определяет закономерность критерия «выхода» стрелы забойного драглайна в выработку под внутренний отвал, при ограничении угла порота на разгрузку не более 90° .

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждается: анализом и обобщением научно-практических данных, в части развития фронта горных работ; графического и математического моделирования параметров технологии разработки безугольной и угленасыщенной зон карьерного поля; технико-экономического расчета с использованием современных программных средств и статистической обработки полученных данных.

Научная новизна работы заключается в:

- разработке комплексной графоаналитической модели формирования очередности и технологии отработки карьерного поля, метода многокритериальной оценки объединённых параметров угленасыщенной и безугольной зон карьерного поля, выработки под внутренний отвал, рабочих параметров серийно изготавливаемых типов драглайнов;

- установленной аналитической зависимости длины выработки под внутренний отвал от глубины карьерного поля и рабочих параметров драглайна;

- теоретическом обосновании впервые разработанного критерия эффективного использования разгрузочного параметра забойного драглайна, связывающего максимальный радиус разгрузки, высотные отметки и устойчивые углы развала вскрышных пород, ширину хода, высоту уступа при работе экскаватора с нижним черпанием;

Научное значение работы заключается в разработке метода обоснования бестранспортной разработки безугольной зоны пологопадающей залежи; в обосновании метода выбора рациональных параметров выработки под внутренний отвал.

Практическая ценность работы состоит в том, что ее результаты позволяют: обосновано выбирать параметры и технологию сооружения выработки под внутренний отвал; конструировать новую схему экскавации, позволяющую при углублении рабочей зоны сбрасывать вниз вскрышную породу и снижать трудоемкость процесса перевалки пород, усовершенствовать организацию работы забойного и отвального драглайнов.

Личный вклад автора заключается в постановке целей и задач исследования, в обосновании параметров технологического решения, повышении эффективности применения бестранспортный перевалки вскрыши при отработке безугольной зоны карьерного поля.

Реализация результатов работы. Основные научно-практические положения диссертации: одобрены к внедрению при проектировании разработки угольных месторождений открытым способом; в учебном процессе по дисциплине: «Ресурсосберегающие технологии» по специальности 21.05.04 – Горное дело, специализации «Открытые горные работы» КузГТУ. Эффективность разработанных технологических решений подтверждается соответствующим патентом на изобретение.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на научно-практических конференциях: XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» (2022, Кемерово); XV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» (2023, Кемерово); XVI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» (2024, Кемерово); XVII Международной научной конференции «Инновации в технологиях и образовании» (2024, Белово); XIII Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» (2024, Междуреченск); IX Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (2024, Прокопьевск); на Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (2024, Новокузнецк); XX Международной научно-практической конференции Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2024 (Кемерово, 2024); на XIII Инновационном конвенте (Кемерово, 2025).

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 17 научных работах, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 13 в прочих изданиях, получен 1 патент РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и трех приложений, изложенных на 175 страницах машинописного текста, содержащих 39 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 183 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, охарактеризована степень ее разработанности, определена цель и взаимосвязанные задачи для ее достижения, сформулирована научная новизна, описана теоретическая и практическая значимость.

В первой главе рассмотрены горно-геологические и горно-технические условия разработки свиты пологопадающих залежей восточной части Центрального и Южного Кузбасса. Условия формируют исходные данные для последующих расчетов.

Проанализирована научно-методическая база, рассматривающая вопросы вскрытия и отработки карьерных полей, бестранспортной технологии при пологом залегании свиты пластов и отраженная в трудах Е.Е. Шешко, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, М.Г. Новожилова, В.С. Хохрякова, А.И. Арсентьева, Е.И. Васильева, А.В. Калинина, Б. Н. Лоханова, В.Г. Пронозы, В.Ф. Колесникова, П.И. Томакова, С.Е. Гавришева, И.А. Пыталева, А.В. Глебова, Д.В. Доможирова, Б.Н. Заровняева, Ю.И. Лель, В.С. Коваленко, О.Б. Кортелева, В.И. Ческидова, П.П. Меньшонка, М.И. Щадова, В.Ф. Воронкова, Т.Н. Гвоздковой, Б.Л. Тальгамера, С.И. Фомина, А.В. Селюкова, А.В. Резника и многих других.

Сдерживающим фактором при разработке новых бестранспортных технологических схем является отсутствие научно-технологических и научно-методических наработок направленных на: отвязку естественно-наклонных бестранспортных уступов от угла падения пластов свиты; организацию работы одного и того же драглайна в забое и отвале; разнонаправленное подвигание фронта работ в безугольной зоне карьерного поля. Таким образом, выявленные системные недостатки препятствуют расширению области применения бестранспортной перевалки вскрыши.

Во второй главе обоснована очерёдность открытой разработки пологопадающей залежи с формированием комплексной графо-аналитической модели рабочей зоны карьерного поля.

Согласно патенту 2830623 РФ предусматривается разработка карьерного поля в два очереди (этапа): первая, формирование выработки под внутренний отвал, с размещением вскрыши на внешнем отвале; вторая, отработка безугольной зоны карьерного поля горизонтальными бестранспортными уступами, расположенными перпендикулярно линии простирания залежи и отработка угленасыщенной зоны с продольным фронтом работ (Рисунок 1). На рисунке 1 приведены следующие параметры: H_k , H_{kA} , H_{kB} , H_{kC} - соответственно, глубина карьерного поля и на очередях А, В, С; L_{kv} , L_{vA} , L_{vB} , L_{vC} - соответственно, длина карьерного поля по верху и на этапах А, В, С; B_{kv} , B_{vA} , B_{vB} , B_{vC} - соответственно, ширина карьерного поля по верху и на этапах А, В, С; B_{kd} , B_{kA} , B_{kB} , B_{kC} - соответственно, ширина карьерного поля по низу и на этапах А, В, С; γ_n - угол наклона борта, град. Черными сплошными стрелками показано направление подвигания, а пунктирными углубление фронта работ.

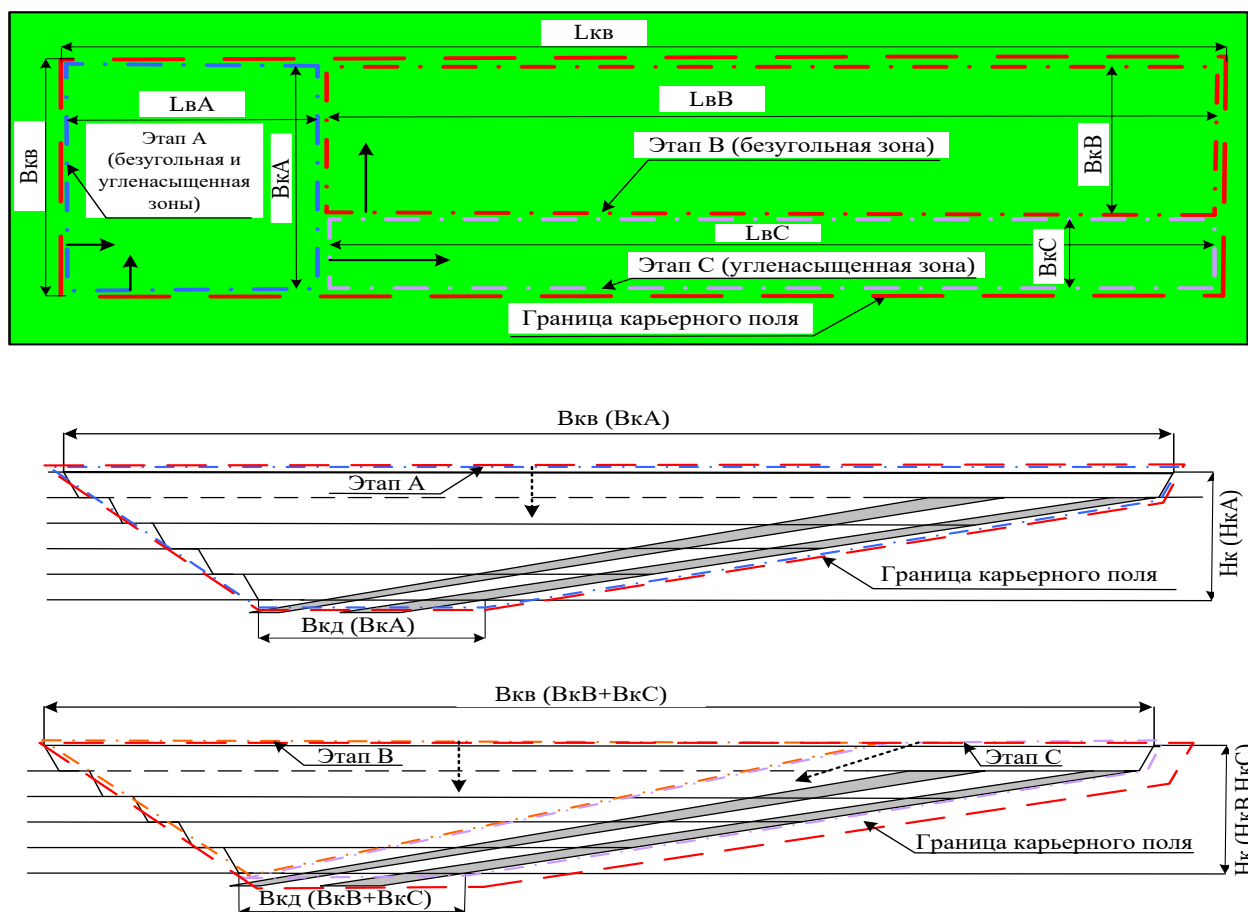


Рисунок 1 – Обще принципиальная схема формирования очередностей (этапов) во взаимосвязи с главными параметрами карьерного поля

Для оценки наилучшего варианта рассматриваются следующие сценарно-концентрационные варианты производства работ в карьерном поле: 1) существующее технологическое решение с комбинированной транспортно-бестранспортной технологией и продольным фронтом работ (обозначим, как вариант А1); 2) предлагаемое технологическое решение, при последовательной разработке этапов $A \rightarrow B \rightarrow C$ (А2); 3) при последовательной и затем параллельной разработке этапов $A \rightarrow B, C$ (А3); 4) то же при последовательной разработке этапов $A \rightarrow C \rightarrow B$ (А4). Предлагаются следующие критерии оценки: доля перемещения вскрышных пород на внешний или внутренний отвал (обозначим, как критерий К1); объемы вскрышных пород (К2); объемы добычи (К3); стабильность пространственных размеров рабочей зоны (К4); регулирование режима горных работ (К5); однотипность вскрышного и отвального оборудования (К6); технология перемещения вскрышных пород из забоя в отвал (К7). При каждом решении А1, А2, А3, А4 рассматриваем их сравнение по выбранным критериям, основой критериев служит матрица оценки по шкале в десять баллов. Ранги критериев представлены в виде коэффициентов веса и отражены в виде матрицы (Таблица 1), затем переводятся в безразмерный вид (Таблица 2), находятся нормированные оценки альтернатив (Таблица 3) и выбирается решение (Таблица 4).

Таблица 1 – Оценки критериев по десятибалльной шкале

Критерии	Оценки критериев			
	вариант А1	вариант А2	вариант А3	вариант А4
К1	6	4	7	9
К2	8	5	8	7
К3	7	6	8	6
К4	9	5	6	8
К5	3	3	4	6
К6	5	7	4	8
К7	4	2	5	6

Таблица 2 – Перевод исходной матрицы в безразмерный вид

Критерии	Значения x_{ij}^2				$\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij}^2)}$
	вариант А1	вариант А2	вариант А3	вариант А4	
К1	54	38	66	82	12,466
К2	76	49	71	80	9,065
К3	65	72	83	59	12,608
К4	84	47	66	77	11,530
К5	24	35	51	58	13,258
К6	36	69	28	69	10,189
К7	31	15	44	70	12,540

Таблица 3 – Взвешенные нормированные оценки альтернатив

Критерии	Вес	Произведение веса и критерия на оценку			
		вариант А1	вариант А2	вариант А3	вариант А4
К1	0,260	0,158	0,077	0,012	0,082
К2	0,210	0,129	0,064	0,089	0,094
К3	0,177	0,076	0,041	0,092	0,096
К4	0,158	0,062	0,043	0,019	0,077
К5	0,135	0,069	0,058	0,044	0,051
К6	0,128	0,088	0,060	0,052	0,058
К7	0,169	0,068	0,046	0,084	0,062

Таблица 4 – Нахождение относительной близости к идеально-позитивному решению

Критерий	Альтернативы			
	вариант А1	вариант А2	вариант А3	вариант А4
P^+	0,226	0,557	0,689	0,432
Ранг	4	2	1	3

Согласно значению P^+ приоритет отдается в порядке значимости вариантов: А3, А2, А4 и А1. По результатам вычислений наибольшую близость к идеальному решению имеет вариант А3 с рангом 1, последовательная и затем параллельная разработка этапов $A \rightarrow B, C$.

Проверив соответствие технологического решения в многокритериальном анализе, рассматривается формирование аналитической модели, включающей полный перечень из 39 формул, далее выборочно представлены основные из них.

По простиранию залежи этапы ограничиваются следующей группой величин, определяемых суммированием и вычитанием длин по каждому этапу разработки

$$\begin{aligned} L_{KB} &= L_{BA} + L_{BB}; L_{KD} = L_{DA} + L_{DB} \\ L_{BA} &= L_{KB} - L_{BB}; L_{DA} = L_{KD} - L_{DB} \\ L_{BB} &= L_K - L_{BA}; L_{DB} = L_K - L_{DA} \\ L_{BC} &= L_{BB}; L_{DC} = L_{DB} \end{aligned} \quad (1)$$

Максимальная длина первоначальной емкости по дну L_{BA}^{max} согласно организации производства работ в пределах этапа В, определится исходя из размещения породы в одноярусный внутренний отвал и устанавливается из условия обеспечения размещения вскрышной породы из забойной стороны

$$L_{BA}^{max} = \sum_{i=1}^n (A \cdot K_p) \quad (2)$$

где n - количество горизонтальных уступов безугольной зоны (этапа В) разрабатываемых по бестранспортной технологии, шт.; A - ширина бестранспортной заходки этапа В, м; K_p - коэффициент разрыхления вскрышных пород.

Минимальная длина первоначальной емкости по дну L_{BA}^{min} определится размещением вскрышных пород в многоярусный внутренний отвал и укладываемый на наклонном основании почвы стратиграфически нижнего пласта свиты

$$L_{BA}^{min} = H_K \cdot (\operatorname{ctg} \gamma_0^{бтр} - \operatorname{ctg} \gamma_{\Pi}) \quad (3)$$

где $\operatorname{ctg} \gamma_0^{бтр}$ - генеральный угол откоса внутреннего бестранспортного отвала, град.; γ_{Π} - угол погашения торцевого борта карьера ограничивающего размещение внутреннего бестранспортного отвала по длине первоначальной емкости, град.

Условие выбора длины первоначальной емкости по дну L_{BA}^{min} должна ограничиваться обеспечением минимального коэффициента переэкскавации при работе отвального драглайна

$$K_{пэ}^{min} = f(L_{BA}^{min}) \quad (4)$$

где $K_{пэ}^{min}$ - минимальный коэффициент переэкскавации вскрышных пород.

Окончательно глубина карьерного поля H_K определится условием выбора между максимальной и минимальной длиной первоначальной емкости по дну

$$n^{бтр} \cdot H_y^{бтр} \leq (L_{BA}^{max}, L_{BA}^{min}) \leq K_{пэ}^{min} \quad (5)$$

Ширина заходки приравняется к ширине отвального яруса. Ширина бестранспортной заходки (А) определится, как функция от максимального радиуса черпания R_q^{max} , и определится $0,4 \div 0,6 R_q^{max}$; ЭШ 11.75, $30 \div 35$ м; ЭШ 20.90, $35 \div 45$ м; ЭШ 15.100, $40 \div 45$ м; ЭШ 25.90, $35 \div 45$ м; ЭШ 24.95, $40 \div 45$ м; ЭШ 40.100, $45 \div 55$ м.

При работе вскрышного драглайна на забойной стороне этапе В высота уступа $H_y^{бтр}$ определяется глубиной черпания забойного драглайна

$$H_y^{бтр} \leq H_q^{max} \quad (6)$$

Приняв равенство конечной глубины карьерного поля H_k и количества горизонтальных уступов, отрабатываемых по бестранспортной технологии $n^{бтр}$, определяем максимальное количество уступов отрабатываемых по бестранспортной технологии

$$n^{бтр} = H_k \quad (7)$$

где H_k - глубина карьерного поля, м.

В свою очередь ширина карьерного поля определится следующим образом.

На этапе А, В, С по верху и низу их ширина составит

$$\begin{aligned} B_{кв} &= B_{вА} = B_{вВ} + B_{вС} \\ B_{кд} &= B_{дА} = B_{дВ} + B_{дС} \end{aligned} \quad (8)$$

Минимальная ширина дна определяется в свою очередь схемой вскрытия нижнего горизонта и мощностью отрабатываемой свиты пластов

$$B_{кд} = B_{дА} = B_{дВ} + B_{дС} = A_э + T + \left(\sum_{i=1}^n m_{yi} + \sum_{j=1}^k m_{nj} \right) \quad (9)$$

где $A_э$ - ширина экскаваторной заходки, м., T - ширина транспортной полосы, м., m_{yi} - горизонтальная мощность i -го угольного пласта свиты, м., n - количество угольных пластов свиты, m_{nj} - мощность j -го породного междупластья, м., k - количество породных междупластьев.

$$B_{кв} = B_{вА} = B_{вВ} + B_{вС} = B_{кд} + 2 \cdot H_k (\text{ctg} \gamma_{п} + \text{ctg} \alpha) \quad (10)$$

где α - угол падения свиты пластов, град.

Глубина карьерного поля (H_k) определится следующим равенством $H_k = H_{кА} = H_{кВ} = H_{кС} = 300$ м.

Объем породы, вывозимый на внешние отвалы ($V_{п.внеш}$) при разработке этапа А составит

$$V_{п.внеш} = V_{вА} - V_{зА} \cdot (1 - K_{п}) \quad (11)$$

Ширина дна карьерного поля должна минимально обеспечивать вращение драглайна, а также размещение бермы на борту карьера со стороны висячего бока залежи, тогда

$$B_{кд} = 2 \cdot R_q^{max} + B \quad (13)$$

$$S_{дВ} = B_{дВ} \cdot L_{дВ} \quad (14)$$

где B - ширина бермы, размещаемой на борту карьера на последнем рабочем горизонте карьерного поля на этапе В, м.

Ширина карьерного поля по верху на этапе В

$$B_{вВ} = B_{кд} + 2 \cdot H_{кВ} (\text{ctg} \gamma_{п} + \text{ctg} \alpha) \quad (15)$$

$$S_{\text{ВВ}} = B_{\text{ВВ}} \cdot L_{\text{ВВ}} \quad (16)$$

$$V_{\text{ВВ}} = \frac{([2 \cdot R_{\text{ч}}^{\text{max}} + B] \cdot L_{\text{ДВ}}) + ([B_{\text{кд}} + 2 \cdot H_{\text{кВ}}(\text{ctg}\gamma_{\text{п}} + \text{ctg}\alpha)] \cdot L_{\text{ВВ}})}{2} \cdot H_{\text{кВ}} \quad (17)$$

Изложенные выше данные позволяют сформулировать первое научное положение.

В третьей главе производится оценка параметров выработки под внутренний отвал и схемы экскавации.

Как уже отмечалось ранее, суммарно параметры этапа А будут складываться из двух составляющих: в первую очередь, параметры угленасыщенной зоны; во вторую очередь, параметры безугольной зоны. Многовариантные результаты расчетов представлены в виде зависимостей (Рисунок 2). Анализ данных рисунка 2 показывает следующие взаимосвязи. Минимальная значение ширины дна этапов А и Б по дну составит 180÷250 м (Рисунок 2а) со степенной полиномиальной зависимостью от модели драглайна и радиуса его черпания при полноповоротном его вращении на дне карьерного поля. На ширину по верху этапов А и В (Рисунок 2б) изменяющееся в пределах 100÷720 м оказывает влияние угол наклона борта карьера со стороны его висячего бока залежи и изменяющегося в диапазоне 20÷45° и глубины карьерного поля 50÷300 м, взаимосвязь представлена степенным полиномом. Минимальная длина по дну этапа А (Рисунок 2в) изменяется в пределах 16÷180м, зависит от генерального угла внутреннего отвала 15÷30°, взаимосвязь параметров описывается степенными полиномами. Максимальная длина этапа А по дну 50÷400 м зависит от размещения породы в одноярусный отвал, глубин карьерного поля в диапазоне от 50 до 300 м и черпания различных моделей драглайнов, взаимосвязаны параметры опять же степенными полиномами (Рисунок 2г). Максимальная длина по верху этапа А (Рисунок 2д) от 100 до 1000 м зависит от глубины черпания различных моделей драглайнов от 38 до 50 м и связанных с глубиной карьерного поля степенным полиномом.

Параметры горизонтальных бестранспортных уступов, включают следующее: ранее обоснованная высота уступа, высота отвального яруса; ширина заходки и отвального яруса; углы откосов уступа и отвальных ярусов; генеральный угол откоса внутреннего отвала; количество рабочих уступов и отвальных ярусов. Все эти данные объединены в единое целое в виде схемы экскавации. Высота отвального яруса принимается не больше максимальной высоты разгрузки отвального драглайна. Угол откоса вскрышного уступа, отвального яруса и генеральный угол откоса внутреннего отвала принимается согласно рекомендациям действующей нормативно-технической документации для угольных разрезов.

Полученные выводы позволяют сформулировать второе научное положение.

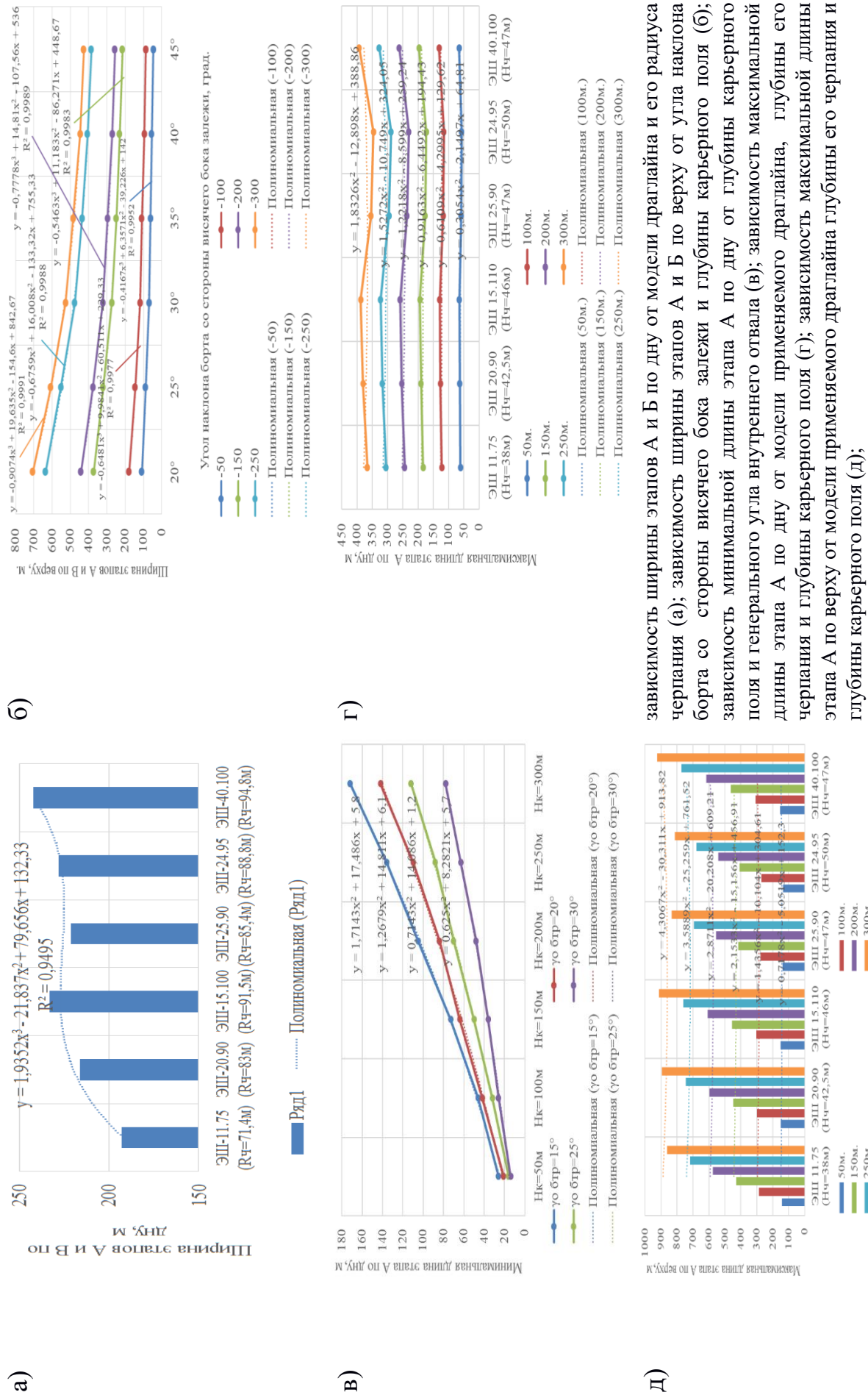


Рисунок 2 – Аналитические взаимозависимости параметров этапов А и В

Важным параметром схемы экскавации являются величина так называемого «выхода» стрелы в выработанное пространство, обозначим этот параметр, как « $e_{др}$ » и рассчитывается он по моделям драглайнов для производства сброса породы с уступа (Рисунок 3).

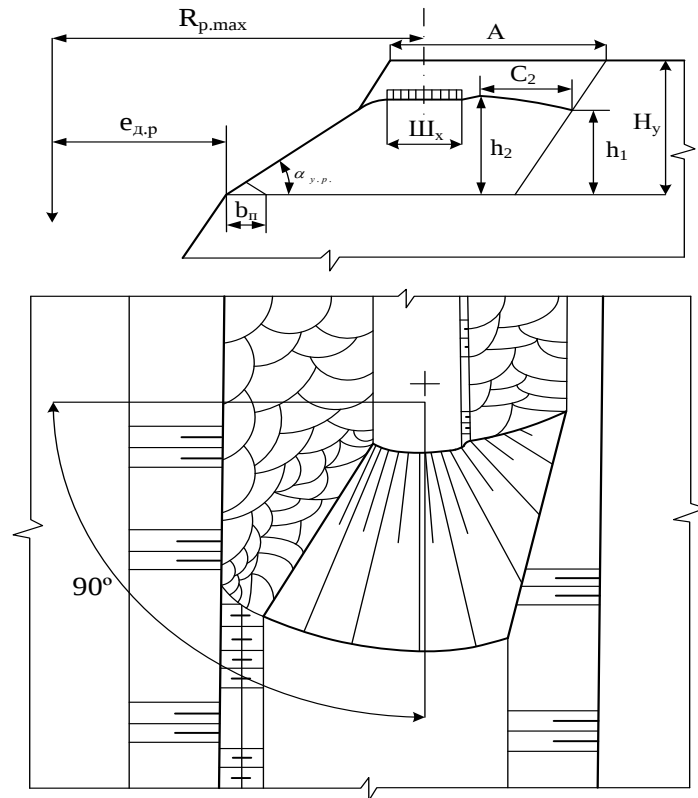


Рисунок 3 – Технологическая схема разработки породного развала уступа драглайном со сбросом породы в выработанное пространство

По этому параметру можно оценить эффективность использования разгрузочного параметра экскаватора при сбросе забойным драглайном вскрышной породы в выработанное пространство этапа А.

При установке забойного драглайна на развале вскрышных пород

$$e_{др} = R_{p,max} - K_{сн} \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{y.p} - 0,5 \cdot Ш_x \quad (18)$$

где b_n – ширина призмы возможного обрушения, м; $K_{сн}$ – коэффициент характеризующий отношение величины развала к высоте уступа в массиве ($K_{сн}=0,7$); $\alpha_{y.p}$ – устойчивый угол откоса при установке драглайна на развале, град., $Ш_x$ – ширина хода драглайна, м.

Параметры развала C_2 , h_1 , h_2 рассчитываются по рекомендациям д.т.н. Репина Н.Я. Расчетное значение $e_{др}$ приведено на рисунке 4.

Данные рисунка 4 показывают, что «выход» стрелы при работе драглайнов достаточен для осуществления сброса породы с уступа.

Согласно общей практике комплектования звеньев, с позиции равнозначности производительности каждого из них, следует выбирать модели техники с близкими показателями работы. Тогда принимаем допущение, что одна

и та же модель производит выемку и перевалку породы, например, по схеме один плюс один (ЭШ-11.75+ ЭШ-11.75).

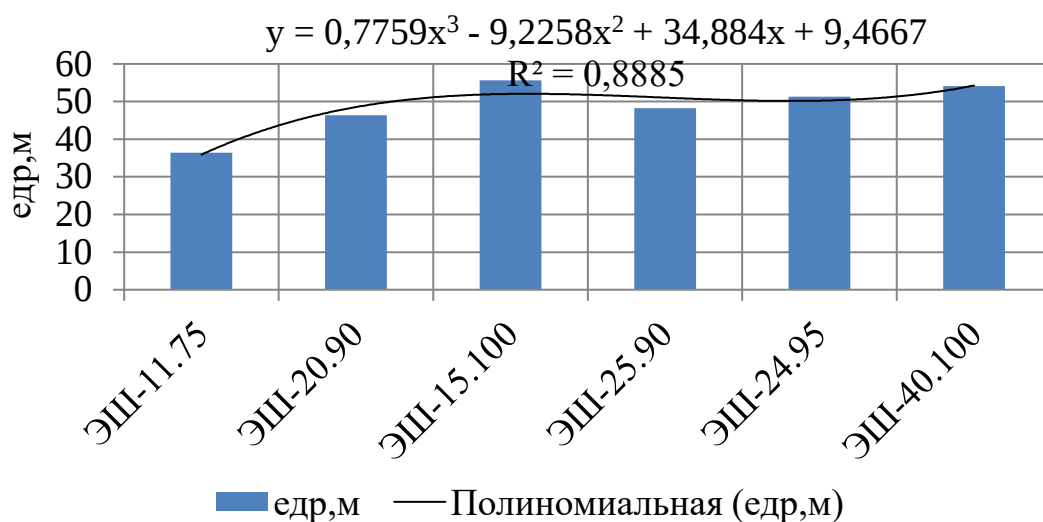


Рисунок 4 – Зависимость величины «выхода» стрелы в выработанное пространство от модели забойного драглайна

В качестве графического примера, рассмотрим общую организацию работ (схему экскавации) при разработке нескольких горизонтальных уступов шагающим экскаватором ЭШ-11.75 (Рисунок 5).

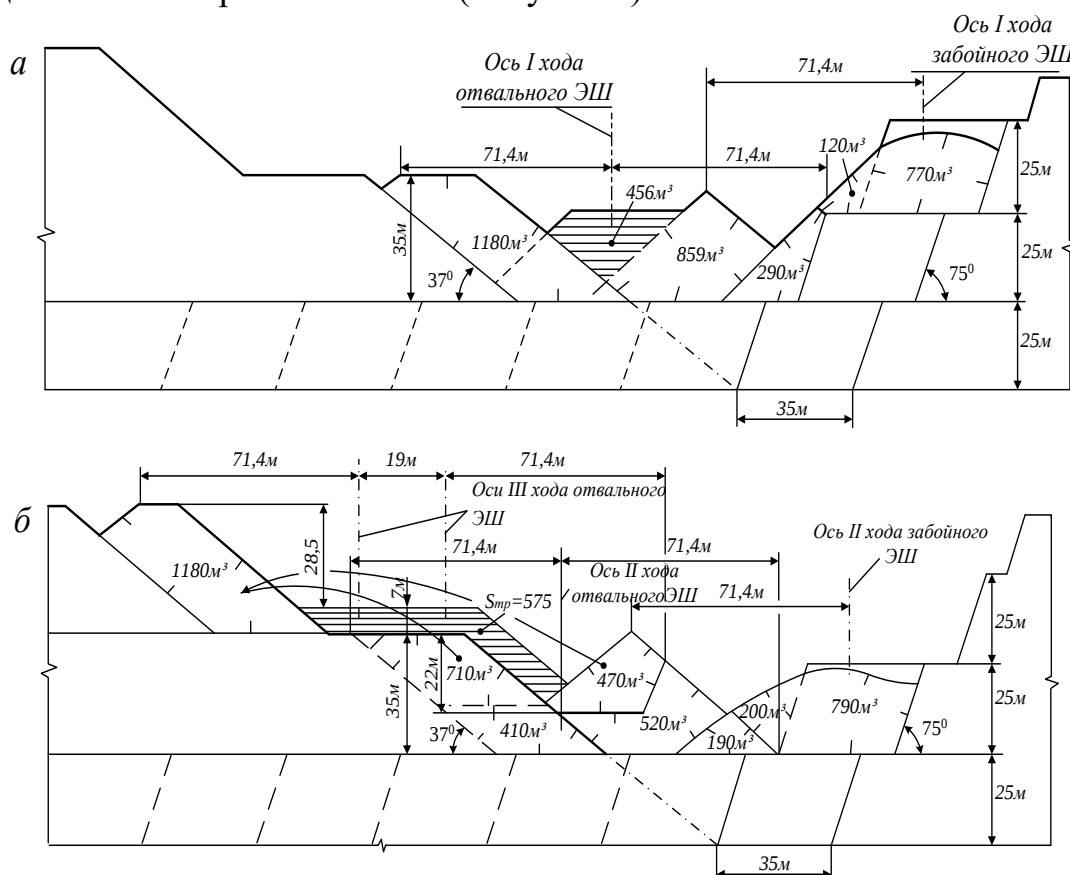


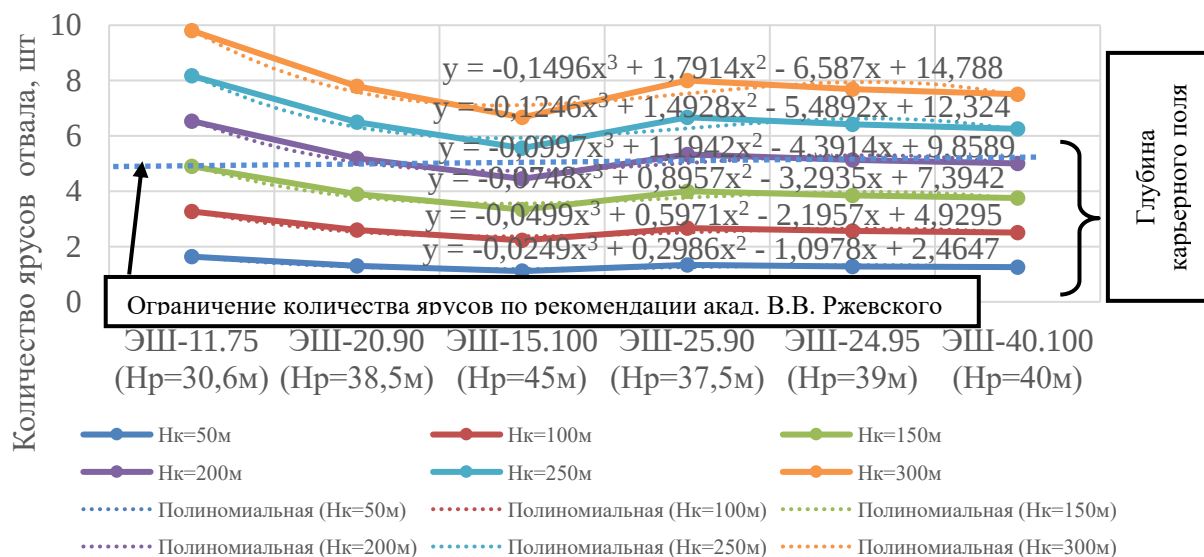
Рисунок 5– Графический пример схемы экскавации на этапе В при эффективной организации работы драглайна ЭШ-11.75

На схемах экскавации показывается основной процесс: производство вскрышных работ и перевалки навалов.

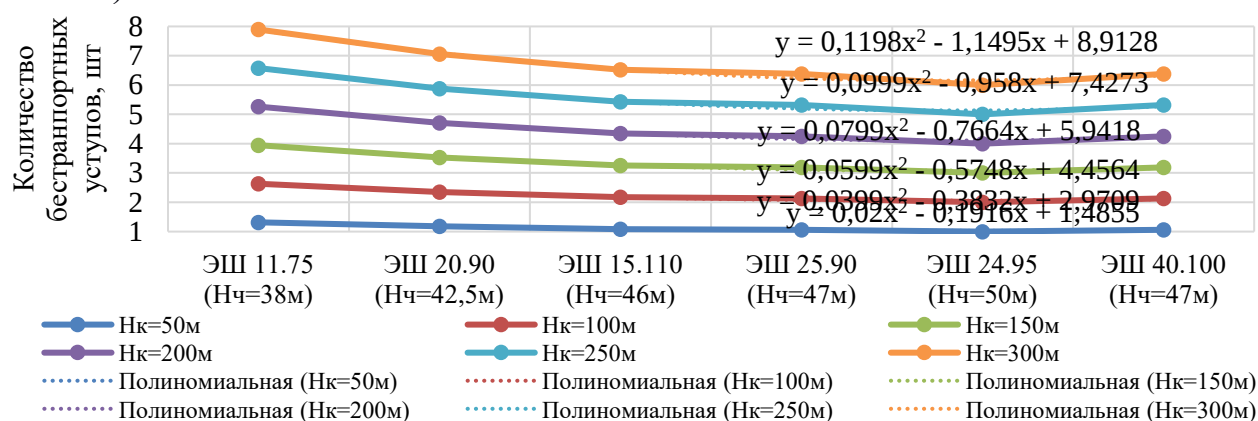
Согласно рекомендациям, принятым при проектировании бестранспортных схем, количество ярусов внутреннего отвала целесообразно ограничивать не более 5 шт., что поясняется усложнением работы отвального оборудования и снижением эффективности работы связанной с ростом количества рабочих ходов и создания дополнительных трасс.

Тогда основываясь на максимальной высоте разгрузки отвального драглайна, определяем взаимосвязь количества отвальных ярусов при росте глубины горных работ. Из взаимосвязи параметров определяется следующее. При росте высоты разгрузки драглайна от 30,6 до 45 м количество ярусов от 2 до 5 шт. (Рисунок 6) связано с глубиной карьерного поля степенной полиномиальной зависимостью.

а)



б)



зависимость количества ярусов отвала от высоты разгрузки драглайна и глубины горных работ (а); зависимость количества бестранспортных уступов от глубины черпания драглайна и глубины карьерного поля (б)

Рисунок 6 – Зависимости количества ярусов и уступов от параметров драглайна и глубины горных работ

Из графической зависимости (Рисунок 6а) следует сделать основополагающий вывод, что при отсыпке не более 5 ярусов отвала, глубина карьерного поля для предлагаемой схемы экскавации будет составлять не более 150÷200 м, а количество уступов рабочей зоны не более 8 (Рисунок 6б), что связано с параметрами драглайна и ростом глубины горных работ степенной полиномиальной зависимостью.

Полученные в ходе исследования выводы позволяют сформулировать третье научное положение.

В четвертой главе предлагаются оценка объемов бестранспортной перевалки вскрыши и эффективность предлагаемого технологического решения.

Особенностью применения экскаваторов при разработке свит пологопадающих угольных пластов в Кузбассе является разработка взорванных полускальных и скальных пород III-IV категории по трудности экскавации требующих буровзрывную подготовку к выемке. Поэтому расчёты следует производить по методике, учитывающей технологические характеристики взорванной горной массы. В том числе рассматривающую и производительность при разработке взорванного массива осадочных пород. В исследовании рассматривается породы средне и крупноблочные при среднем диаметре естественной отдельности 1,2 м (Рисунок 7).

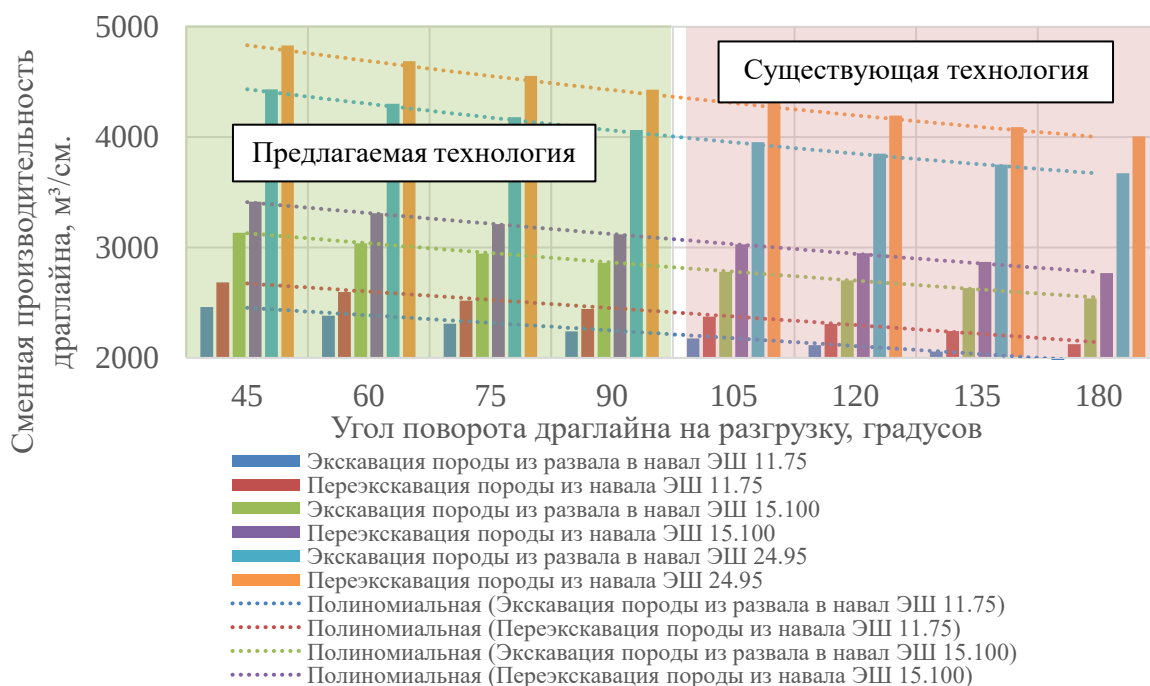


Рисунок 7 – Зависимости производительности драглайна от угла поворота на разгрузку

Установив параметры схемы экскавации, произведем оценку эффективности организации работ, через критерий, выраженный коэффициентом перезэкскавации (Рисунок 8).

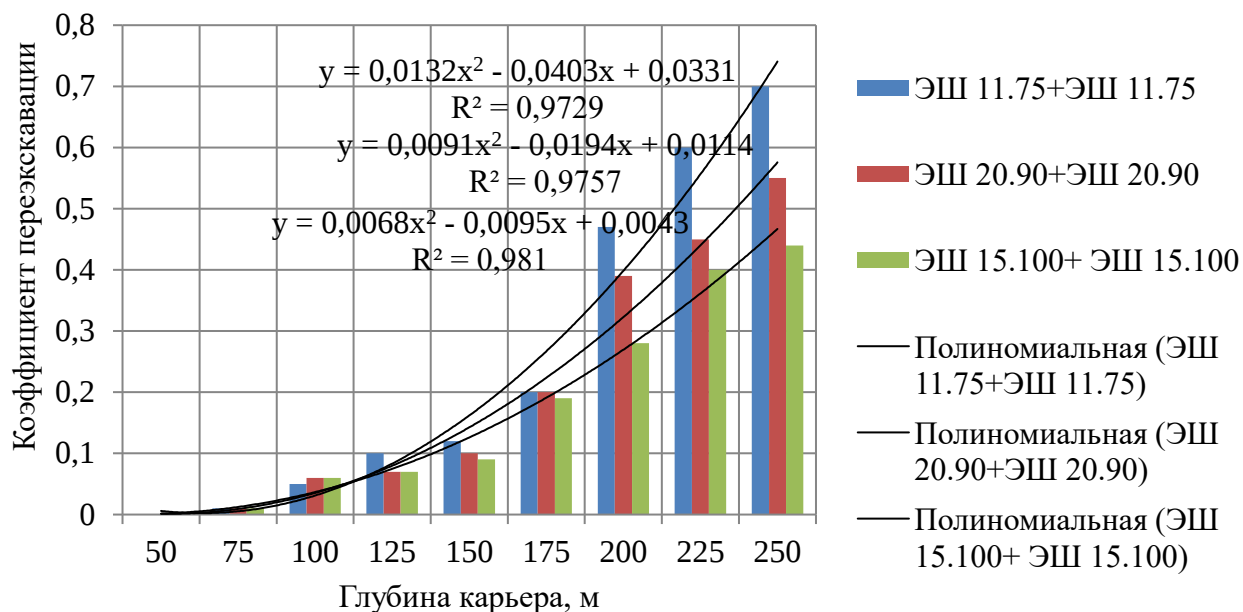


Рисунок 8 – Зависимость профильного коэффициента переексплуатации от глубины карьерного поля и модели забойного и отвального драглайнов

Анализ данных изменения коэффициента переексплуатации показывает его низкое значение не более 0,8, при рекомендуемых значениях кратности перевалки не более четырех.

Это обстоятельство поясняется тем, что идет четкое разграничение работ между забойным и отвальным драглайном. Тогда, справедливо сделать окончательный вывод, что безугольную зону можно отработать по всей глубине карьерного поля серийно изготавливаемыми драглайнами горизонтальными уступами.

Анализ данных показывает, что преобладающую часть существующего варианта технологии занимает транспортная вскрыша с ее долевым участием $0,85 \div 0,9$ д.е., а бестранспортная вскрыша составляет всего лишь только $0,1 \div 0,15$ д.е. Это обстоятельство подчеркивает то, что низкая эффективность существующих схем экскавации напрямую определяется организационно-техническими признаками технологических схем. При сооружении емкости под внутренний отвал доля транспортной вскрыши достигает до 100% в связи с необходимостью перемещения вскрыши за пределы карьерного поля. При переходе на внутреннее отвалообразование объем бестранспортной вскрыши достигает своего расчетного максимума $85 \div 90\%$.

Окончательным критерием эффективности выступает чистый дисконтированный доход, для существующего варианта составит 1280 млн.р, при выделении очередности (этапов) разработки 1650 млн.р.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, предложено новое научно обоснованное технологическое решение, заключающееся в разработке основ,

определяющих рациональные параметры схемы экскавации, с позиции критериев эффективной организации бестранспортной перевалки вскрышных пород безугольной зоны, которое вносит вклад в создании новой разновидности открытой геотехнологии и имеющее существенное значение для развития Российской Федерации.

Основные выводы, научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключается в следующем.

1) При открытой разработке свит пологих пластов Кузнецкого бассейна и с углом падения залежи обычно не более $10 \div 12^\circ$, редко до $15 \div 18^\circ$; применяется основной вид технологии - это комбинированная транспортно-бестранспортная. При мощности вскрыши $15 \div 20$ м возможно применение простой бестранспортной технологии с однократной перевалкой, при увеличении мощности до $30 \div 40$ м применяется усложненная многократная перевалка. Мощность вскрыши отрабатываемой по бестранспортной технологии ограничивается техническими возможностями драглайна и применяемой схемой экскавации. При этом затраты на бестранспортную вскрышу в $2 \div 3$ раза дешевле относительно транспортной технологии, однако укрупненная доля технологии с перевалкой пород составляет в настоящее время не более $10 \div 15\%$ от объема вскрыши в карьерном поле.

2) Многокритериальным анализом установлено, что карьерное поле необходимо разделить следующими этапами разработки: первый с внешним отвалообразованием - это сооружение первоначальной выработки, как последующей емкости под внутренний отвал с вывозкой автотранспортом вскрышной породы на внешний отвал - этап разработки А; второй с внутренним отвалообразованием - это параллельная разработка безугольной зоны карьерного поля по бестранспортной технологии этап разработки - В и угленасыщенной зоны (свита пластов и породные междупластья) по транспортной технологии - этап разработки С.

3) Разработана комплексная графо-аналитическая модель отработки карьерного поля этапами. При отработке угленасыщенной зоны экскаватором типа «ЭГО» возможность применения той или другой схемы оценивается сравнением рабочей глубины черпания с параметром, представляющим разность отметок (высоту) между трассой рабочего хода экскаватора и транспортной полосой, формируемой на почве пласта. Угольные пласты могут разрабатываться одним слоем, при его мощности до 7 м включительно, двумя слоями при мощности от 8 м до 12 м., тремя слоями до 16 м, четырьмя до 22 м., пятью до 29 м. включительно. Минимальное значение ширины дна этапов А и В по дну составит от 180 до 250 м со степенной полиномиальной зависимостью от модели драглайна и радиуса его черпания при полноповоротном его вращении на дне карьерного поля. На ширину по верху этапов А и В определяемые диапазоном от 100 до 720 м оказывает влияние угол наклона борта карьера со стороны висячего бока залежи изменяющегося в диапазоне от 20 до 45° и глубина карьерного поля от 50 до 300 м. взаимосвязь представлена степенным полиномом. Минимальная длина по дну этапа А изменяется в пределах $16 \div 180$ м, зависит от генерального угла внутреннего отвала $15 \div 30^\circ$, взаимосвязь параметров описывается полиномами второй степени. Можно отсыпать от 2 до 5 ярусов

внутреннего отвала с суммарной высотой отвала до 210 м, полученные взаимосвязи между параметрами определяются полиномами второй степени.

4) Введена величина, так называемого «выхода» стрелы в выработанное пространство, оценивающая эффективность использования разгрузочного параметра экскаватора при сбросе забойным драглайном вскрышной породы. Эффективностью организации работ в схеме экскавации является производительность и коэффициент переэкскавации. Обеспечение высоко производительной работы ЭШ достигается углом поворота на разгрузку не более 90° , а коэффициент переэкскавации не превышает значения 0,8 при существующих рекомендациях кратности перевалки не более 4.

5) При сооружении емкости под внутренний отвал доля транспортной вскрыши достигает до 100% в связи с необходимостью перемещения вскрыши за пределы карьерного поля. При переходе на внутреннее отвалообразование объем бестранспортной вскрыши достигает своего расчетного максимума $85 \div 90\%$.

6) Экономическая оценка в виде критерия чистого дисконтированного дохода (ЧДД), показывает, что для существующего технологического варианта составляет: $\text{ЧДД} = 1280$ млн. р, при выделении этапов разработки $\text{ЧДД} = 1650$ млн.р.

7) Согласно нормативным отраслевым документам оценку устойчивости откосов и определение максимальных параметров бортов, уступов и отвалов производят с помощью расчета коэффициента запаса устойчивости, с диапазоном $1,1 \div 1,5$. Для численного моделирования и оценки устойчивости применяем метод конечных элементов, для следующих условий формирующих: борта погашения на этапах А, В и С; рабочий борт на этапе В; внутренний отвал; рабочий борт на этапе С. Сравнительный анализ расчетных значений коэффициента запаса устойчивости и его нормативных значений, показывает, что при новом технологическом решении обеспечивается геомеханическая устойчивость.

8) Основная технологическая задача этапа С заключается в обеспечении расчетной величины производственной мощности, определяемой запасами полезного ископаемого. Тогда величина годовой добычи зависит от параметров свиты пластов, а именно от мощности пластов и объема запасов. Расчетами установлен объем запасов этапа, при мощности пластов 30м и длине фронта работ 1км - 20млн.т. и максимальной при мощности 120м, длине фронта 4 км. - 82 млн.т. С учетом суммарной мощности пластов свиты от 30 до 120 метров и годовом уровне добычи угля от 1 до 6 млн. т. требуется длина добычного фронта работ от 3300 до 4750 м.

Дальнейшие исследования планируется вести в следующих направлениях:

1) Разработка графоаналитических моделей строительства первоначальной емкости с использованием бестранспортной технологии.

2) Определение параметров и показателей строительства первоначальной выработки по бестранспортному способу: объемов горно-строительных работ; сроков строительства и периода освоения производственной мощности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих научных трудах:

Издания, рекомендованные ВАК РФ

1. Селюков, А. В. Результаты математического моделирования разработки безугольной зоны пологопадающих месторождений горизонтальными бестранспортными уступами / А. В. Селюков, **А. И. Нечаев** // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – № 1. – С. 569-584.
2. Селюков, А. В. Режим горных работ в задаче выбора этапов разработки пологопадающих угольных месторождений / А. В. Селюков, **А. И. Нечаев** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 2(168). – С. 111-119.
3. Селюков, А. В. Обоснование подготовки емкости под внутренний бестранспортный отвал на основе закономерностей залегания свиты пологопадающих пластов и главных параметров карьерного поля / А. В. Селюков, **А. И. Нечаев** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 4(170). – С. 184-193.

Материалы конференции, сборники научных трудов

4. **Нечаев, А. И.** Анализ недостатков открытой разработки свиты пологопадающих пластов месторождений Южного Кузбасса / А. И. Нечаев // Россия молодая: Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 19–21 апреля 2022 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 106021-106025.
5. **Нечаев, А. И.** Корректировка параметров транспортной рабочей зоны разреза "Междуречье" при производстве вскрышных работ экскаватором Р&Н-2800 / А. И. Нечаев // Россия молодая: Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 10705.1-10705.5.
6. **Нечаев, А. И.** К оптимизации параметров бестранспортной технологической схемы разработки пологопадающих угольных пластов / А. И. Нечаев, Д. В. Кошкин // Россия молодая: Сборник материалов XVI всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, Кемерово, 16–19 апреля 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 10709.1-10709.8.
7. **Нечаев, А. И.** Технологические направления развития открытого способа при разработке пологих пластов / А. И. Нечаев // Инновации в технологиях и образовании: Сборник статей XVII Международной научной конференции,

Белово, 19 апреля 2024 года. Том 3. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 136-140.

8. **Нечаев, А. И.** Энергоемкость выемки и перемещения вскрышной породы по бестранспортной и транспортной технологиям / А. И. Нечаев // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы XIII международной научно-технической конференции, Междуреченск, 24 апреля 2024 года. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2024.

9. **Нечаев, А. И.** Поэтапная разработка пологопадающих угольных залежей открытым способом / А. И. Нечаев // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 25–26 апреля 2024 года. – Прокопьевск: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 83-87.

10. **Нечаев, А. И.** Определение параметров отработки угленасыщенной зоны пологопадающих пластов обратной гидравлической лопатой / А. И. Нечаев // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2024. – № 10. – С. 51-56.

11. **Нечаев, А. И.** Формирование структурных схем очередности отработки карьерных полей / А. И. Нечаев, Е. И. Барешова // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС 2024: Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19–21 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 108.1-108.8.

12. **Нечаев, А. И.** Дисконтированная оценка разнонаправленного фронта горных работ при открытой разработке угольных месторождений / А. И. Нечаев, А. Ф. Латфулина // Материалы VIII Международного молодежного экологического форума: Материалы форума, Кемерово, 13–14 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 414.1-414.5.

13. **Нечаев, А. И.** Эффективность горнотехнического этапа рекультивации на примере разрезов Центрального Кузбасса / А. И. Нечаев, А. Ф. Латфулина // Экология и безопасность жизнедеятельности : сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции студентов и школьников, Кемерово, 20 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 412.1-412.5.

14. **Нечаев, А. И.** Обоснование параметров отвальной емкости при разработке пологопадающих залежей продольно-поперечным фронтом / А. И. Нечаев // XIII Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации", посвященный 80-й годовщине победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов: Сборник тезисов докладов. В 2-х частях, Кемерово, 14 февраля 2025 года. Часть 1. Секции 3-11. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2025. – С. 35-38.

15. **Нечаев, А. И.** Расчет величины выхода стрелы драглайна при сбросе породы с горизонтального бестранспортного уступа / А. И. Нечаев, В. Н. Почечуй // Россия молодая: Сборник материалов XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 22 апреля 2025 года 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 10306.1-10306.6.

Патент на изобретение

16. Патент № 2830623 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/00, E21C 41/28. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых: № 2024111866: заявл. 02.05.2024: опубл. 25.11.2024 / **А. И. Нечаев**, А. В. Селюков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева".

Учебное издание

17. Селюков А.В., **Нечаев А.И.**, Терентьев Д.Д. Ресурсосберегающие технологии: конспект лекций для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело. Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. - Кемерово. 2025. 102с.

Подписано в печать 08.07.2026г. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 834.

Отпечатано в типографии ООО «ВВС-А»

65000, г. Кемерово, ул. Д.Бедного,1