

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

ЛОГИНОВ ЕГОР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ
ВСКРЫШИ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ ТИПА
ОБРАТНАЯ ЛОПАТА В
УГЛУБОЧНЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и
строительная)

**Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Научные руководители:

Г.А. Холодняков
доктор технических наук, профессор
С.П. Решетняк
доктор технических наук, ст. науч. сотр.

Санкт-Петербург – 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	9
1.1 Особенности применения фронтальных погрузчиков.....	12
1.2 Особенности применения карьерных тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата с канатным и реечным управлением напора	13
1.3 Анализ применения гидравлических экскаваторов	19
1.4 Выводы к главе 1	25
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ	28
2.1 Общие положения	28
2.2 Систематизация коэффициентов вскрыши	29
2.3 Классические методы усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на карьерах.....	32
2.4 Недостатки существующих методов усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши	37
2.5 Выводы к главе 2	37
ГЛАВА 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ШИРИНЫ РАБОЧЕЙ ПЛОЩАДКИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.....	39
3.1 Общие положения	39
3.2 Определение производительности одноковшовых экскаваторов типа механическая лопата	46
3.2.1 Характеристики и параметры экскаваторов	46
3.2.2 Характеристики и параметры автосамосвалов	51
3.3 Расчет ширины рабочей площадки при использовании тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата канатного или реечного напора	58
3.4 Расчет рабочей площадки при использовании гидравлических экскаваторов в комплекте с автомобильным транспортом	61
3.5 Уточнение метода определения минимальной ширины рабочей площадки.....	65
3.6 Использование программы для ЭВМ при расчете ширины рабочей площадки в углубочных системах разработки.....	74
3.7 Выводы к главе 3	76
ГЛАВА 4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МЕТОДА УСРЕДНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ.....	78

4.1 Общие сведения.....	78
4.2 Основные закономерности режима горных работ и эксплуатационного коэффициента вскрыши	79
4.3 Создание метода усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на основании математического моделирования	86
4.4 Применение метода управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата на примере Кировогорского карьера.....	94
4.5 Выводы к главе 4	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	106
Приложение	119

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Наиболее распространенное выемочно-погрузочное оборудование, применяемое на карьерах — экскаваторы типа механическая лопата. Анализ тенденции применения экскаваторов показал увеличение количества мощных карьерных гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная и прямая лопата в общей структуре экскаваторов типа механическая лопата на карьерах.

Карьерные гидравлические экскаваторы типа обратная лопата (в дальнейшем – ЭГО) позволяют осуществлять выемку пород верхним и нижним черпанием, выполнять погрузку в транспорт, стоящий как на горизонте установки экскаватора, так и выше или ниже его, отличаются высокой мобильностью и многофункциональностью.

Российские производители карьерных экскаваторов не могут конкурировать с иностранными производителями гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата. Широкое применение на карьерах и разрезах получили гидравлические экскаваторы четырех крупнейших компаний: Liebherr (Германия), Komatsu Ltd. (Япония), Caterpillar Inc. (США), Hitachi Group (Япония).

Степень разработанности темы исследования. Разработкой технологий ведения горных работ при использовании одноковшовых экскаваторов занимались многие ученые: В.В. Ржевский, К.Н. Трубецкой, Н.Н. Мельников, Д.Р. Каплунов, А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков, Ю.И. Анистратов, С.Е. Гавришев, С.П. Решетняк, С.И. Фомин, В.С. Хохряков, В.Г. Близнюков, В.В. Истомин, Р.Ю. Подэрни, В.Ф. Колесников, К.Ю. Анистратов, Н.В. Косенко, Д.Н. Лигоцкий, Т.В. Донченко, А.В. Стрельников, Д.Г. Холодняков и др. В своих работах исследователи уделяли внимание вопросам, связанным: с принципом действия рабочего оборудования, технологии разработки месторождений открытым способом, областью применения одноковшовых экскаваторов, объемами поставок оборудования на горнодобывающие предприятия. В ходе исследований были установлены: закономерности динамики режима горных работ, обоснованы методы усреднения во времени объемов вскрышных работ, зависимости

суммарных объемов вскрышных пород от объемов полезного ископаемого, методы определения рационального режима горных работ на крутопадающих, наклонных и горизонтальных месторождениях. Данные методы наиболее широко применялись для условий эксплуатации тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата канатного или реечного напора. Для обеспечения стабильной производительности карьера по горной массе А.И. Арсентьевым предложен метод определения и усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши за счет изменения ширины рабочих площадок. Вместе с тем, авторы обращают внимание на необходимость уточнения метода определения параметров технологии выемочно-погрузочных работ при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата.

Особую актуальность решение данных вопросов приобретает в связи с приоритетной государственной задачей по импортозамещению, созданием серийного производства и ввода в эксплуатацию отечественных моделей ЭГО.

Цель работы. Обоснование технологических схем применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата при углубочных системах разработки, обеспечивающих повышение эффективности управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

Основные задачи исследования:

1. Анализ и обобщение данных о параметрах и показателях использования на открытых горных работах гидравлических экскаваторов и тросовых экскаваторов типа механическая лопата, канатного или реечного напора.

2. Определение изменения динамики эксплуатационного коэффициента вскрыши и режима горных работ за срок отработки карьера при использовании карьерных тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата и гидравлических экскаваторов.

3. Обоснование рациональных значений ширины рабочей площадки, обеспечивающих эффективное управление эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

4. Обоснование метода усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на основе математического моделирования режима горных работ.

5. Обоснование метода управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата.

Идея работы. Эффективность управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата повышается за счет увеличения диапазона допустимых параметров систем разработки.

Научная новизна:

1. Установлены закономерности изменения минимальной ширины рабочей площадки для различных технологических схем погрузки горных пород в автосамосвалы от типа применяемых экскаваторов.

2. Разработан алгоритм определения ширины рабочей площадки в определенный период отработки карьера при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в углубочных системах разработки.

Основные защищаемые положения:

1. При углубочных системах разработки использование гидравлических экскаваторов типа обратная лопата обеспечивает минимальную ширину рабочей площадки по сравнению с использованием экскаваторов других типов с одинаковой вместимостью ковша.

2. Разработанный алгоритм определения ширины рабочей площадки для определенного периода отработки карьера при углубочных системах разработки позволяет снизить значение эксплуатационного коэффициента вскрыши на 10 %.

3. Разработанный метод управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата позволяет уменьшить объем вскрышных пород за весь период эксплуатации карьера.

Методы исследований: анализ и изучение литературы, теории и практики использования тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата и гидравлических экскаваторов на карьерах; аналитические методы расчета

минимальной ширины рабочей площадки и эксплуатационного коэффициента вскрыши; математическое моделирование.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением современных научных методов исследования, математического моделирования с использованием персональных компьютеров; привлечением материалов по работе отечественных и зарубежных карьеров; апробацией результатов исследований на международных и российских конференциях.

Практическая значимость работы:

- обоснована эффективность использования ЭГО на современных карьерах, за счет возможности работы по разным технологическим схемам;

- разработана компьютерная программа, позволяющая определить ширину рабочей площадки на момент подготовки каждого горизонта карьера. Полученный программный продукт может применяться на горнодобывающих предприятиях, в учебных учреждениях, научно-исследовательских и проектных организациях;

- обоснован метод усреднения и управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши на основе математического моделирования.

Апробация работы. Основные положения и результаты выполненных в работе исследований были представлены на международных конференциях в период 2014-2017 гг.: 55 Konferencija Studenckich Kol Naukowych Pionu Gorniczego 11 grudnia (Польша, г. Краков, AGH, 2014); 10-ая Международная конференция «Freiberg – St. Petersburg Colloquium of young scientists» (Германия, г. Фрайберг, TU Bergakademie Freiberg, 2015); Международная конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 2016); Международный VI форум вузов инженерно-технологического профиля «Глобальная энергетика: партнерство и устойчивое развитие стран и технологий» (Белоруссия, г. Минск, БНТУ, 2017).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, анализе и обобщении публикаций по теме исследований, получении и формулировке научных результатов, разработке метода усреднения и управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 работ, из них 3 в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 1 в зарубежном издательстве. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 123 страницы, 19 таблиц, 51 рисунок и список литературы из 130 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность и признательность научным руководителям – д.т.н., проф. Г.А. Холоднякову и д.т.н. С.П. Решетняку за идеи, которые послужили основой выполнения исследований, внимание, помощь и поддержку, оказанные в процессе выполнения работы; коллективу кафедры разработки месторождений полезных ископаемых за полезные замечания и ценные советы.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых преобладает как в мировой горной промышленности, так и в Российской Федерации. При помощи карьеров, угольных разрезов в Российской Федерации добывают более 70% всех твердых полезных ископаемых, при этом практически 100% – строительных материалов, 70% – угля, 80-93% – руд черных и цветных металлов [108].

В настоящее время открытые горные работы развиваются в определенном направлении, связанным с применением более совершенной техники, имеющей значительные линейные размеры, что в свою очередь приводит к увеличению параметров системы разработки.

Одним из основных технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом являются выемочно-погрузочные работы. При разработке горной массы наиболее распространенное оборудование, применяемое на карьерах – одноковшовые экскаваторы типа механическая лопата. Экскаваторы типа механическая лопата применяются в горно-геологических условиях, когда малоэффективно оборудование непрерывного действия. По исполнению рабочего органа данная техника делится на прямую и обратную механическую лопату [63].

Мировая тенденция показывает, что на горнодобывающих предприятиях доля применения тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата с канатным и реечным управлением напора снижается в пользу более активно развивающихся мощных гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная и прямая лопата.

Как правило, одноковшовые экскаваторы типа механическая лопата, применяемые при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, имеют похожую конструкцию, гусеничный ход и разделяются на карьерные и вскрышные, а также по виду привода на электрический или дизельный.

Вскрышные экскаваторы в основном разрабатывались во времена СССР. Данный вид техники имеет большие габаритные размеры и удлиненное рабочее оборудование, позволяющее производить перевалку, переэкскавацию горной массы в выработанное пространство [102].

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом доля применения автомобильного транспорта непрерывно увеличивается [24]. В карьерах США, Канады, Южной Америки с помощью автосамосвалов перевозится более 85% горной массы, а в Австралии – практически 99%. В России и странах СНГ доля автотранспорта на карьерах превышает 75% [98]. При стремительном развитии горнодобывающей техники прослеживается тенденция увеличения вместимости ковша экскаватора, что в свою очередь приводит к развитию транспортного оборудования. Стоит отметить, что комплекс добычного и транспортного оборудования (экскаватор – автосамосвал) развивается по определенной зависимости, развитие одного звена техники приводит к необходимости развития другого [107].

В последние годы горнодобывающие предприятия стремятся к обеспечению максимальной экономической эффективности выемки полезного ископаемого при стремлении минимизировать затраты на человеческий труд. Для обеспечения безопасности сотрудников все чаще выдвигаются теории применения роботизированной, беспилотной техники. Особенно это актуально в сложных экологических, климатических и горнотехнических условиях [42, 89].

В мировой практике имеются примеры создания и испытания беспилотной техники.

Японская компания Komatsu Ltd. в 2016 году на выставке в Лас-Вегасе представила беспилотный карьерный автосамосвал Komatsu Innovative Autonomous Haulage Vehicle (IAHV) грузоподъемностью 230 тонн (рисунок 1.1) [77].



Рисунок 1.1 – Беспилотный автосамосвал Komatsu IAHV

В апреле 2013 года ОАО «БелАЗ» и компании «ВИСТ Групп» представили широкой публике свою разработку – роботизированный самосвал «БелАЗ» грузоподъемностью 130 тонн. В феврале 2018 г. российская компания VIST Robotics, дочерняя структура «ВИСТ Групп», провела испытания беспилотного карьерного автосамосвала на базе «БелАЗа» в Марокко (рисунок 1.2) [78].



Рисунок 1.2 – Беспилотный карьерный автосамосвал на базе «БелАЗа»

Внедрение роботизированной техники существенно влияет на развитие открытых горных работ, применение данного оборудования повышает

безопасность, исключает человеческий фактор, особенно в сложных условиях ведения работ. Однако на данный момент все проекты находятся в процессе испытаний, в эксплуатацию введены лишь опытные образцы, ни один из рассмотренных вариантов не производится серийно.

1.1 Особенности применения фронтальных погрузчиков

В мировой практике при разработке карьеров иногда используются одноковшовые фронтальные пневмоколесные погрузчики.

Данное оборудование в основном применяется для выполнения вспомогательных технологических процессов, но также может быть использовано при основных операциях. Одноковшовые фронтальные погрузчики применяются на карьерах по добыче строительных материалов, при переэкскавации горной массы, на перегрузочных и усреднительных складах, иногда при разработке хорошо взорванных и раздробленных полезных ископаемых.

В таблице 1.1 представлены основные производители крупногабаритных моделей фронтальных погрузчиков.

Таблица 1.1 – Основные параметры и показатели крупногабаритных погрузчиков

Фирма производитель	Модель	Вместимость ковша, м ³	Высота черпания, м	Высота разгрузки, м	Глубина черпания, м	Масса, т
Le Tourneau	L-2350	40,52	13,3	7,3	0,25	262,2
Caterpillar	994K	24,5	11,7	8,8	0,23	240,02
Komatsu	WA1200-3	20	11,9	6,3	0,29	205,2

«Le Tourneau» – единственный в мире производитель фронтальных погрузчиков, который устанавливает современные электрические приводы на всех своих моделях. Каждое колесо с электроприводом полностью независимо от других, это единственная на рынке фронтальных погрузчиков система с независимым приводом на все 4 колеса.

Самым большим погрузчиком, применяемым в настоящий момент, является Le Tourneau L – 2350 (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Фронтальный погрузчик Le Tourneau L – 2350

Благодаря универсальности, высокой мобильности и маневренности, способности выполнять погрузочные и вспомогательные работы, возможности производить зачистку рабочих погрузочных площадок, одноковшовые фронтальные погрузчики могут эффективно применяться в комплексе с другими видами добычного оборудования.

Основными недостатками, ограничивающими широкое применение фронтальных погрузчиков на рудных карьерах, являются небольшие параметры рабочего оборудования, ограничивающие высоту разрабатываемых уступов и низкое сцепление с рабочей поверхностью. Изменение свойств грунта (увлажнение, обледенение, оттаивание) также ухудшает значение сцепления. Одноковшовые фронтальные погрузчики обладают недостаточным усилием отрыва по всей высоте забоя. Основное усилие отрыва наблюдается в нижней части забоя, что обусловлено особенностью схемы копания [60].

1.2 Особенности применения карьерных тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата с канатным и реечным управлением напора

Тремя единственными странами-производителями карьерных тросовых экскаваторов с канатным или реечным управлением напора являются США, Россия и Китай. Основные фирмы производители представлены на рисунке 1.4: Caterpillar Inc.; Komatsu Mining Corp (P&H); Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd. (ТҮНІ); ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» и ПАО «Уралмашзавод» (УЗТМ).



Рисунок 1.4 – Тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата: а) Caterpillar, б) P&H, в) ТУНІ, г) ИЗ-КАРТЭКС, д) УЗТМ

Анализ развития горной промышленности России показывает непрерывное увеличение объемов добычи полезных ископаемых при разработке месторождений открытым способом. Совершенствуются виды горного оборудования, методы извлечения, обогащения полезного ископаемого. Увеличиваются линейные размеры оборудования, параметры системы разработки, размеры карьерных полей, и соответственно территория, вовлекаемая в разработку [41, 98].

Однако на карьерах часто применяется добычное оборудование устаревшей конструкции, иногда срок использования оборудования превышает свое эксплуатационное время применения. Особенно явно данная тенденция прослеживается при использовании экскаваторов с вместимостью ковша 5-12 м³.

Основа парка выемочного оборудования была сформирована в России в период 1980-92 гг., в данный период было изготовлено более 500 экскаваторов типа прямая механическая лопата. На перспективы развития горного машиностроения России сильно повлиял переходный период 1992-2000 гг. Данный период обусловлен снижением объемов добываемого сырья, и

соответственно переизбытком выемочно-погрузочного оборудования на горнодобывающих предприятиях. Российская промышленность пережила явный спад производства. Результатом спада промышленности в области разработки горнодобывающей техники является то, что в России до 2010 г. не было произведено ни одного экскаватора вместимостью ковша более 15 м^3 . Большинство крупных предприятий, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых открытым способом, были спроектированы на использование экскаваторов с вместимостью ковша до 15 м^3 .

В данный период активно развивалась зарубежная горно-машиностроительная промышленность. В США, Японии, Германии активно разрабатывались и внедрялись в серийное производство образцы новой карьерной техники. В серийное производство запущены широкие типоразмерные ряды активно развивающейся техники – карьерные гидравлические экскаваторы типа обратная и прямая лопата.

В период 1999-2015 гг. отечественные производители изготовили 409 карьерных тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата с вместимостью ковша $5\text{-}32 \text{ м}^3$. За тот же период иностранные производители поставили в Россию 1130 карьерных экскаваторов с вместимостью ковша $4\text{-}50 \text{ м}^3$ (1090 единиц гидравлических экскаваторов типоразмерного ряда $4\text{-}36 \text{ м}^3$). С 1999 г. доля применения на российских карьерах отечественных экскаваторов снижается и уже не превышает 20% [56].

На горнодобывающих предприятиях России при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом самым распространенным выемочно-погрузочным оборудованием до сих пор остаются электрические тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата с канатным или реечным управлением напора. Отечественный и мировой опыт показывает, что на данном оборудовании с большой вместимостью ковша чаще применяется двухбалочная рукоять. Схема с реечным напором обеспечивает концентрированное усилие копания. Жесткая сцепка рабочего оборудования позволяет исключить поворот ковша при внедрении рабочего органа в горную породу. Канатный механизм

напора позволяет сократить массу рабочего оборудования при равных геометрических размерах за счет движения рукояти при помощи лебедок с тросовыми системами, располагающимися на поворотной платформе [43, 120].

ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» производит унифицированные экскаваторы, по желанию заказчика возможна установка реечного или канатного напорного механизма [97].

Экскаваторы ЭКГ-10 и ЭКГ-15 с ковшами вместимостью 8-15 м³ являются основой парка карьерных экскаваторов на крупных горнодобывающих предприятиях России, благодаря организованной системе ремонтных и обслуживающих работ. Данное горное оборудование применяется в тяжелых горно-геологических и климатических условиях.

В 2010-2011 гг. были введены в эксплуатацию два экскаватора ЭКГ-18Р на угольном разрезе «Талдинский». Карьерный экскаватор ЭКГ-18Р стал прорывом в российской промышленности, так как был первым российским экскаватором, полностью спроектированным при помощи компьютерных технологий (3D моделирование) [7, 39, 57].

Следующим этапом развития стал выпуск ЭКГ-32Р (рисунок 1.5), самого мощного карьерного экскаватора в истории российского машиностроения (до марта 2018 г.).



Рисунок 1.5 – ЭКГ-32Р на угольном разрезе «Краснобродский»

Экскаватор ЭКГ-32Р был введен в эксплуатацию в 2011 г. на «Краснобродском» угольном разрезе, с момента проектирования и до выхода в забой потребовалось всего 3 года. В 2016 г. на угольном разрезе «Междуреченский» начал работу ЭКГ-32Р №3.

ПАО «Уралмашзавод» выпускает карьерные тросовые экскаваторы с реечным напором, в 1996 г. был выпущен экскаватор ЭКГ-12 с вместимостью ковша, варьирующейся в диапазоне 12-14 м³. ЭКГ-12 №1 был введен в эксплуатацию в 1996 г. в Костомукшском карьере АО «Карельский Окамыш».

ПАО «Уралмашзавод» с 2011 г. поставляет на горные предприятия экскаваторы ЭКГ-18. Усиленная металлоконструкция стрелы и рукояти, привод переменного тока с частотным регулированием, новая конструкция ковша обеспечивают высокую конкурентоспособность этой машины. В 2013 году на угольном разрезе «Красногорский» был запущен в эксплуатацию экскаватор ЭКГ-18 №2 (рисунок 1.6) [124].



Рисунок 1.6 – Экскаватор ЭКГ-18 №2 на разрезе «Красногорский»

В настоящее время ПАО «Уралмашзавод» развивает производство электрических тросовых экскаваторов с реечным напором с вместимостью ковша 12-35 м³.

На данный момент в ПАО «Уралмашзавод» проектируется новый экскаватор ЭКГ-25. Привод повышенной мощности, жесткий реечный напор,

усиленные двухбалочная рукоять и стрела, усиленный износостойкими материалами ковш могут обеспечивать эффективную работы в тяжелых горно-геологических условиях карьеров [45].

Разработан мощный тросовый экскаватор типа прямая механическая лопата с реечным напором ЭКГ-35. Рабочая масса данного оборудования составляет 1200 тонн, экскаватор может быть оборудован ковшом в диапазоне 26-40 м³.

В марте 2018 г. введен в опытно-промышленную эксплуатацию на «Краснобродском угольном разрезе» УК «Кузбассразрезуголь» самый мощный российский экскаватор ЭКГ-35 №1 (рисунок 1.7). В течение 6 месяцев экскаватор пройдет испытания в промышленных условиях на открытых горных работах. Вместимость ковша – рекордные для российского машиностроения – 40 м³ [99].



Рисунок 1.7 – Карьерный тросовый экскаватор ЭКГ-35 №1 в работе на «Краснобродском угольном разрезе»

Карьерные тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата имеют простую конструкцию, что в свою очередь снижает затраты на обслуживание и появляется возможность ремонта непосредственно в забое. Основной отличительной особенностью при использовании данной техники является срок

эксплуатации, который составляет 15-20 лет, в то время как эксплуатационный срок использования гидравлических экскаваторов не превышает 10 лет. Однако в мировой истории имеются примеры более долгого применения гидравлических экскаваторов: в Колумбии на железорудных карьерах «Драмонд» и в Чили на меднорудном карьере «Чукикамата» – до 20-25 лет эффективной эксплуатации [32].

1.3 Анализ применения гидравлических экскаваторов

Анализ тенденции применения экскаваторов на карьерах показал увеличение количества мощных карьерных гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная и прямая лопата в общей структуре экскаваторов типа механическая лопата. В ходе исследования объемов поставок карьерных гидравлических экскаваторов на российский рынок были проанализированы данные открытой печати и специализированная литература.

Н.Н. Мельников один из первых начал изучать принцип действия и область применения карьерных гидравлических экскаваторов. В своих трудах он выделил основные технологические схемы, принципы работы, основные достоинства и недостатки данного оборудования [71].

В своих трудах Р.Ю. Подэрни обозначил направления развития горнодобывающей техники для подземных и открытых горных работ, в его трудах были определены основные фирмы производители и поставщики горнодобывающей техники [81-86].

К.Ю. Анистратов в своих трудах [3-7] определил тенденцию развития выемочно-погрузочной техники в России и странах СНГ, рассматривал область ее применения и объемы поставок.

Доля применения гидравлических экскаваторов на карьерах постоянно увеличивается. В начале 2000 г. многие горнодобывающие предприятия скептически относились к возможности применения гидравлических экскаваторов на карьерах. Однако опыт иностранных карьеров и спад в отечественном машиностроении определил вектор развития в сторону использования гидравлических экскаваторов иностранного производства. В работе [3] было

отмечено что в 2011 г. гидравлические экскаваторы в общих объемах поставок практически вытеснили тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата с вместимостью ковша до 5 м³.

В 2015 г. доля поставок на карьеры гидравлических экскаваторов составила 84%. Причем и в классе с вместимостью ковша до 12 м³ гидравлические экскаваторы оказались доминирующими [6].

Анализ мирового рынка карьерных экскаваторов показал увеличение области и доли применения гидравлических экскаваторов, что обусловлено постоянной модернизацией конструкции для снижения эксплуатационных расходов.

При разработке новых месторождений со сроком отработки менее 20 лет, даже при наличии инфраструктуры, учитывая высокую производительность карьерных гидравлических экскаваторов и относительную экономичность в первые три года, горнодобывающие предприятия делают выбор в пользу гидравлических экскаваторов.

На данный момент при разработке угольных разрезов часто применяются экскаваторно-автомобильные комплексы с гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата (ЭГО) с вместимостью ковша 4-15 м³. Данная техника позволяет уменьшить потери угля при добыче за счет схемы копания и траектории движения ковша. Карьерные гидравлические экскаваторы типа обратная лопата применяются на российских угольных, железорудных, строительных, полиметаллических, золотодобывающих горных предприятиях. Аналогичная ситуация наблюдается и на горнодобывающих предприятиях Украины, Казахстана, Узбекистана и других стран.

Серийное производство карьерных гидравлических экскаваторов в мире было освоено в конце 1960 г.

Широкое применение на карьерах и угольных разрезах получили мощные гидравлических экскаваторы (с вместимостью ковша 5-42 м³) четырех крупнейших компаний: Liebherr (Германия), Komatsu Ltd. (Япония), Caterpillar Inc. (США), Hitachi Group (Япония) (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Основные фирмы производители карьерных экскаваторов типа обратная лопата: а – Liebherr; б – Komatsu; в – Caterpillar; г – Hitachi

В ходе исследования была составлена таблица 1.2, в которой представлены основные модели карьерных гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, эксплуатируемых на российских карьерах [63].

Таблица 1.2 – Основные модели карьерных гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, представленные на российском рынке

Вместимость ковша, м ³	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-42
Liebherr	R 9150 8,3 м ³	R 9250 15 м ³	R 9350 18 м ³	R 9400 22 м ³	R 9950 26,5 м ³	R 996-B 36 м ³ , R 9800 42 м ³
Komatsu	PC-1250 5-6,5 м ³	PC-2000 11-12 м ³	PC-3000 15 м ³	PC 4000 22 м ³	PC 5500 28 м ³	PC 8000 38-42 м ³
Caterpillar	6015 8,1 м ³	6020 12 м ³	6030 17 м ³	6040 22 м ³	6050 28 м ³	6060 34 м ³
Hitachi	EX-1200 5-6,5 м ³	EX 1900 12 м ³	EX-2600 15 м ³	EX-3600 22 м ³	EX-5600 29 м ³	EX-800 40 м ³

Одним из основных факторов широкого применения гидравлических экскаваторов иностранного производства на карьерах и угольных разрезах России является наличие сети официальных дистрибьютеров и квалифицированного сервисного обслуживания, обеспечивающих высокую надежность работы

гидравлических экскаваторов.

В истории отечественного машиностроения, начиная с 1977 года, в течение почти сорока лет имели место пять попыток освоения производства карьерных гидравлических экскаваторов [80].

В рамках одной из приоритетных государственных программ по импортозамещению [56], актуальной задачей является изучение, создание, серийное производство и ввод в эксплуатацию отечественных моделей гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием прямая и обратная лопата, способных конкурировать с моделями иностранного производства.

В 2016 г. ПАО «Уралмашзавод» (УЗТМ) закончил проектирование российского гидравлического экскаватора УГЭ-300 с рабочим оборудованием обратная лопата и вместимостью ковша 16 м^3 (рисунок 1.9 а).

Планируется, что в 2018 году, по завершению сборки, УГЭ-300 отправится на угледобывающее предприятие компании «Стройсервис» – разрез «Березовский». В 2018 г. собран опытный образец карьерного гидравлического экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата УГЭ-300 (рисунок 1.9 б). В таблице 1.3 представлены его основные технические характеристики [56].

Таблица 1.3 – Технические характеристика УГЭ-300 в исполнении прямая лопата

Рабочий вес, т	Вместимость ковша, м^3	Радиус копания, м	Высота подъема ковша, м	Высота разгрузки, м	Глубина копания, м
300	16	14	15,9	11,2	2,6



Рисунок 1.9 – Проект российского гидравлического экскаватора УГЭ-300

Анализ основных показателей работы и опыта применения экскаваторной техники показал, что для сокращения парка устаревшего выемочно-погрузочного оборудования целесообразно использование гидравлических экскаваторов типа обратная лопата в сочетании с автотранспортом, при общем увеличении производительности и темпов добычи [49, 96].

Карьерные гидравлические экскаваторы типа обратная лопата имеют ряд преимуществ, обусловленных конструктивными особенностями, кинематикой рабочего оборудования, механизмом взаимодействия исполнительного органа с массивом горных пород. Данные особенности обеспечивают расширение сферы применения в сложных горно-геологических и климатических условиях, возможность работы на техногенных месторождениях, в стесненных условиях забоя и при селективной выемке полезных ископаемых, с наиболее полным извлечением минерального сырья [1, 33, 44, 51, 79].

ЭГО эффективно используются в обводненных условиях, при вскрытии новых горизонтов и проходке разрезной траншеи [53].

Гидравлические экскаваторы типа обратная лопата благодаря трем степеням свободы рабочего органа могут эффективно применяться при разработке в мягких породах крепостью до 10 по шкале профессора М.М. Протодяконова и в хорошо взорванных породах, как выше уровня стояния экскаватора, так и ниже [72].

Отличительной особенностью ЭГО является возможность ведения горных работ нижним черпанием. Средняя глубина черпания основных моделей ЭГО составляет от 4-х до 18 метров [50] (рисунок 1.10).

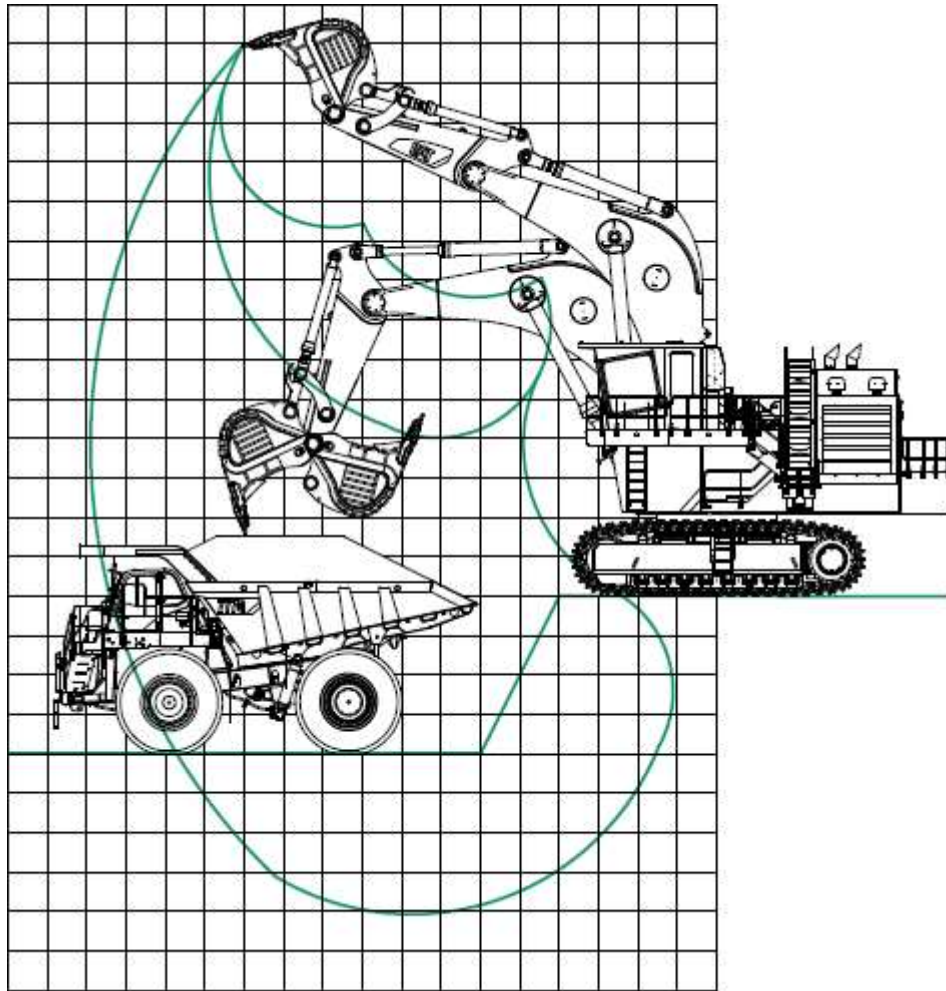


Рисунок 1.10 – Принципиальная схема копания ЭГО

Гидравлические экскаваторы типа обратная лопата при выемке породы ниже уровня стояния имеют возможность создания необходимого угла наклона съезда, без применения вспомогательного оборудования для перехода на нижележащий горизонт [104].

В работе [32] было выявлено, что у гидравлических экскаваторов типа обратная лопата за один год эксплуатации в реальных условиях, производительность больше на 29%, чем у тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата и себестоимость выемки горной массы меньше на 15%.

Гидравлические экскаваторы выпускаются с силовым агрегатом на базе дизельного или электрического двигателя.

Электрические гидравлические экскаваторы, обладают целым рядом преимуществ, в числе которых улучшенная управляемость системами,

надежность, ремонтпригодность, а также низкие эксплуатационные затраты. Электрический экскаватор представляет собой экономически эффективную альтернативу экскаватору с дизельным приводом [49].

В состав электрических экскаваторов входят проверенные устройства, обеспечивающие надежное обслуживание. Используемые гидравлические системы, ходовая часть и навесное оборудование свойственны и дизельным экскаваторам. Электродвигатели поддерживают не менее эффективную карьерную работу, чем дизельные. Электрические экскаваторы не требуют дорогостоящих расходных материалов, таких как масла, фильтры, охлаждающая жидкость, приводные ремни. Конструкция экскаватора на базе электрического двигателя снижает расходы на обслуживание [40].

Мировой опыт применения гидравлических экскаваторов свидетельствует, что чаще всего применяется дизельный привод. Данное оборудование увеличивает мобильность, скорость перемещения и дает автономность от центрального электроснабжения [128]. Однако при этом возрастают эксплуатационные расходы по сравнению с применением электрического привода.

Гидравлические экскаваторы имеют меньшие габаритные размеры по сравнению с тросовыми экскаваторами типа прямая механическая лопата, при этом не уступая в производительности.

1.4 Выводы к главе 1

Анализ тенденции применения экскаваторов показал увеличение количества мощных карьерных гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная и прямая лопата в общей структуре одноковшовых экскаваторов типа механическая лопата на карьерах.

Карьерные тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата при обеспечении равных параметров забоя и вместимости ковша, почти в 2 раза превышают по массе и габаритным размерам гидравлические экскаваторы.

Отличительной особенностью ЭГО является возможность ведения горных работ верхним и нижним черпанием. Производительность данного оборудования больше на 29%, чем у тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата и себестоимость выемки горной массы меньше на 15%.

Работа гидравлических экскаваторов типа обратная лопата ведется по трем основным технологическим схемам. При использовании первой схемы ЭГО располагаются на кровле добычного уступа, используя нижнее черпание. При ведении работ по второй схеме, ЭГО располагается на нижней площадке, используя верхнее черпание. Комбинированная схема – ЭГО располагается на подуступе, используя верхнее и нижнее черпание.

По сравнению с тросовыми экскаваторами типа прямая механическая лопата с реечным или канатным механизмом напора гидравлические экскаваторы имеют ряд преимуществ:

- использование дополнительного оборудования (разные виды ковшей, рыхлитель, гидромолот) на базе гидравлических экскаваторов (чаще применяется при использовании экскаваторов с вместимостью ковша до 5 м³.);
- расширенная траектория движения ковша;
- эффективное наполнение ковша, особенно при разработке уступов небольшой высоты;
- при селективной выемке обеспечивается возможность более полного извлечения полезного ископаемого;
- минимальная продолжительность рабочего цикла.

Данная техника применяется в сложных горнотехнических условиях и на техногенных месторождениях.

Гидравлические экскаваторы имеют и свои недостатки по сравнению с тросовыми экскаваторами типа прямая механическая лопата:

- срок службы гидравлических экскаваторов примерно в 2 раза меньше срока службы тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата;
- при увеличении габаритов гидравлических экскаваторов, снижается мобильность оборудования;

– техническое обслуживание дорожке, чем у тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата.

Дизельные гидравлические экскаваторы целесообразно применять на стадии строительства карьера и на предприятиях, где отсутствует центральное электроснабжение.

Гидравлические экскаваторы типа обратная лопата и тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата имеют свои преимущества и недостатки, но грамотное использование горнодобывающей техники позволит достичь наибольшей производительности экскаваторного парка карьера.

Гидравлические экскаваторы никогда полностью не вытеснят с рынка тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата, однако они уже завоевали свою нишу на производстве.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ

2.1 Общие положения

Система разработки, направление развития горных работ и способ вскрытия месторождения формируют рабочую зону карьера. Рабочая зона карьера представляет собой перемещающуюся и изменяющуюся во времени и пространстве часть поверхности карьера, в которой выполняются основные технологические процессы [36, 38].

Эффективность открытой разработки месторождений полезных ископаемых зависит от строения и размеров рабочей зоны карьера, направления и скорости ее перемещения. Объемы добычи полезного ископаемого и вскрышных пород влияют на получение прибыли при эксплуатации карьера [8, 9, 112, 113, 123].

В своих трудах А.И. Арсентьев и В.В. Ржевский [12-23, 90-94] разработали и выделили основы проведения горно-геометрического анализа карьерных полей.

Основной задачей горно-геометрического анализа является: определение объемов полезного ископаемого, вскрышных пород в контурах карьерного поля, выявление динамики развития фронта горных работ и распределение объемов добычных и вскрышных работ по периодам отработки карьера [95].

По завершению горно-геометрического анализа составляется календарный план разработки месторождения. Результатом календарного планирования является определение системы разработки и вида добычной и вскрышной техники, рациональной глубины и конечных контуров карьера, производительности по полезному ископаемому и вскрышным породам, срока службы, способа вскрытия и вида технологического транспорта [74, 75].

Выбор рационального режима горных работ определяет экономическую эффективность разработки месторождения полезных ископаемых открытым способом. Эксплуатационный коэффициент вскрыши является одним из основных факторов при правильном выборе рационального режима горных работ.

Управление эксплуатационным коэффициентом осуществляется за счет изменения угла наклона рабочего борта карьера в определенный период отработки, за счет соответствующего изменения ширины рабочих площадок. Проектные размеры рабочих площадок являются величинами расчетными, регламентируются нормативными документами и устанавливаются проектом индивидуально, усредненными по длине фронта горных работ. В реальной практике ширина рабочих площадок имеет усредненное значение по длине фронта горных работ и имеет два крайних значения: максимально возможная и минимальная рабочая площадка.

Угол откоса рабочего борта карьера формируется как угол между условной поверхностью, проведенной через нижние бровки рабочих уступов, и горизонтальной плоскостью.

Следует отметить, что при решении задачи управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши авторы ранее выполненных исследований не дают рекомендаций по практическому воплощению выбранного режима горных работ в реальную деятельность карьера и не предлагают метода определения меняющейся ширины рабочей площадки на протяжении всего срока его эксплуатации.

Изменение годовых объемов вскрышных пород при эксплуатации карьера определяет изменение в широких пределах его производительности по горной массе, что создает технологические и организационные трудности и обуславливает величину текущих затрат на горные работы.

2.2 Систематизация коэффициентов вскрыши

Как известно, при открытой разработке месторождений полезных ископаемых объем текущих удаляемых из карьера покрывающих и вмещающих вскрышных пород, как правило, в несколько раз превосходит объем добычи полезного ископаемого [61, 69]. Так как вмещающие породы, составляющие основную часть вскрышных пород, по физико-механическим свойствам, трудозатратам на выемку, а, значит, и по себестоимости разработки близки к полезному ископаемому, то полная себестоимость добычи формируется, в

значительной степени, из затрат на вскрышные работы. Поэтому определение производительности карьера по вскрыше – весьма важная задача [100, 101].

Коэффициент вскрыши – это понятие, которое употребляется только при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. Данное определение – международное, общепринятое и используется долгое время.

Коэффициент вскрыши (КВ) – это отношение объема или массы вскрышных пород к объему или массе добываемого полезного ископаемого. Другими словами, коэффициент вскрыши показывает, какое количество вскрышных пород необходимо удалить и переместить в отвалы для того, чтобы добыть единицу массы или объема полезного ископаемого. Термин «коэффициент вскрыши» применяется в России и странах СНГ. В англоязычной литературе данный показатель называется «stripping ratio» [129, 130].

В угольной промышленности под коэффициентом вскрыши понимают число кубометров породы, перемещаемое при добыче 1 т угля, и измеряют его в $\text{м}^3/\text{т}$. Этой размерностью пользуются также в некоторых других отраслях горной промышленности, но, например, на меднорудных карьерах часто применяют объемный коэффициент вскрыши, представляющий собой отношение объема пустых пород к объему полезного ископаемого и измеряемый в $\text{м}^3/\text{м}^3$. На железорудных карьерах и карьерах строительных материалов используют коэффициент вскрыши, определяемый как отношение массы пустых пород к массе полезного ископаемого ($\text{т}/\text{т}$) [36].

Коэффициент вскрыши является одним из главных показателей эффективной работы современного карьера. В данной главе проанализированы существующие систематизации коэффициентов вскрыши [15, 8, 70, 92, 109]. Составлена таблица 2.1, в которой указаны коэффициенты вскрыши, использовавшиеся выдающимися учеными в области открытой горной науки. Одной из проблем в изучении данного вопроса является отсутствие единой, общепринятой классификации коэффициентов вскрыши. В разных источниках литературы авторы приводят схожие по смыслу, но отличающиеся по терминологии определения коэффициента вскрыши. Если рассматривать результаты исследований разных ученых, можно сделать вывод, что только

средний, граничный и плановый коэффициенты вскрыши употребляются всеми без исключения.

Таблица 2.1 – Систематизация коэффициентов вскрыши

Название	Арсентьев А.И., 1995 г.	Анистратов Ю.И., 2011 г.	Мельников Н.В., 1982 г.	Ржевский В.В., 1985 г.	Справочник Открытые горные работы, 1994 г.
Средний	Средний	Средний	Средний	Средний	Средний
Граничный	Граничный	Граничный	Граничный (предельный, допустимый)	Граничный	Граничный
Контурный	Контурный	Контурный	Контурный, погоризонтный	–	Контурный
Текущий	Текущий	Текущий, рабочий	Текущий	Текущий	Текущий
Эксплуата- ционный	Эксплуата- ционный	–	–	–	Эксплуатацион- ный
Средний эксплуата- ционный	Средний эксплуата- ционный	Средний эксплуата- ционный	Эксплуатацион- ный	Среднеэкс- плуатац- ионный	Средний эксплуатацион- ный
Слоевой	Слоевой	–	Слоевой	–	Слоевой
Перво- начальный	Перво- начальный	–	–	–	Перво- начальный
Плановый	Плановый	Плановый	Плановый	Плановый	Плановый

На основе таблицы 2.1 можно сделать вывод, что не существует однозначных определений текущего, эксплуатационного и среднего эксплуатационного коэффициента вскрыши. Многие специалисты упускают взаимосвязь между текущим и эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

Данную закономерность отметил к. т. н. Билин А.Л. [25].

Отличительной особенностью среднего эксплуатационного коэффициента вскрыши является то, что он рассчитывается за весь период эксплуатационных работ на карьере, но не учитывает период строительства карьера.

На основе анализа публикаций – можно сделать вывод, что авторы иногда называют эксплуатационный коэффициент текущим и наоборот. В данной терминологии нет четких отличий, и каждый автор руководствуется собственным восприятием данного вопроса.

Из справочника «Открытые горные работы» [109]: текущий коэффициент вскрыши – отношение объема вскрышных пород (m^3), фактически перемещаемых из массива в отвалы за какой-либо период времени (месяц, квартал, год), к фактически добываемому за этот же период времени объему полезного ископаемого (m^3). Эксплуатационный коэффициент вскрыши – расчетное отношение объема вскрышных пород к объему полезного ископаемого за определенный период эксплуатационных работ в карьере или на его участке. Если учесть объемы за весь период эксплуатации карьера, то этому соответствует средний эксплуатационный коэффициент вскрыши.

В своих трудах [15, 16] А.И. Арсентьев давал такое определение: эксплуатационный коэффициент вскрыши – расчетное значение коэффициента вскрыши за определенный период работы карьера. Если взять весь период эксплуатации карьера, то получим средний эксплуатационный коэффициент вскрыши. Фактическое соотношение добываемых объемов пород и руды является текущим коэффициентом вскрыши.

Получается, что это один и тот же коэффициент вскрыши (КВ), но представленный двумя разновидностями. Принципиальное различие заключается в том, что эксплуатационный КВ – расчетный, а текущий КВ – фактический. Термин «текущий» не раскрывает всю сущность и смысл понятия, а лишь только дает его характеристику. Значительно точнее этот коэффициент вскрыши определяется как «эксплуатационный» по предложенной классификации А.И. Арсентьева. Данное определение отражает и раскрывает производственную сущность процесса.

2.3 Классические методы усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на карьерах

Управление эксплуатационным коэффициентом вскрыши является одной из важных задач при отработке месторождений полезных ископаемых углубочными системами разработки. Главная идея управления заключается в изменении

ширины рабочей площадки. Рассмотрим более детально методы усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши.

Рациональное значение и усреднение эксплуатационного коэффициента производится главным образом для обеспечения стабильной производительности по вскрышным породам [111]. А.И. Арсентьевым [21] был предложен метод определения и усреднения на основе составления графиков нарастающих объемов вскрышных пород в зависимости от нарастающих объемов полезного ископаемого $V = f(P)$.

Согласно данному методу, усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши осуществляется за счет изменения ширины рабочих площадок. Рабочая площадка в процессе разработки карьера имеет два крайних значения [125-127, 67]:

- минимальная ширина рабочей площадки применяется на максимально возможном количестве рабочих уступов. При разработке с минимальной шириной рабочей площадки, угол рабочего борта карьера стремится к своему максимальному значению $\varphi_{\max} = \text{const}$ (рисунок 2.1);

- максимальная ширина рабочей площадки достигается при работе на одном рабочем уступе до полной его отработки, после этого происходит переход на заранее подготовленный нижележащий горизонт. Угол откоса рабочего борта стремится к нулевому значению $\varphi_0 \rightarrow 0$ (рисунок 2.1). Работа с максимальной шириной рабочей площадки чаще применяется при разработке горизонтальных месторождений. При разработке крутопадающих месторождений практически не используется, т.к. горная масса удаляется практически послойно (поуступно).

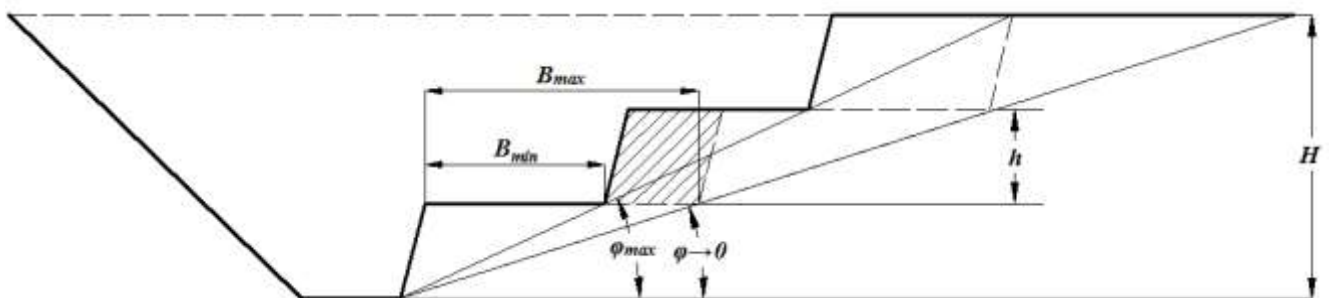


Рисунок 2.1 – Разработка с минимальными и максимальными рабочими площадками

Для определения и усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши необходимо построить положения горных работ для каждого горизонта при разработке с минимальной $B = B_{\min}$ при $\varphi = \varphi_{\max}$ и максимальной $B = B_{\max}$ при $\varphi \rightarrow 0$ шириной рабочей площадки [31]. Для каждого горизонта рассчитываются объемы вскрышных пород и полезного ископаемого. Далее рассчитываются нарастающие объемы вскрышных пород и полезного ископаемого в целом за период эксплуатации карьера. На основе произведенных необходимых расчетов строятся графики нарастающих объемов $V = f(P)$ для двух крайних значениях отработки карьера.

Построенные кривые являются предельными вариантами ведения горных работ по двум крайним значениям ширины рабочих площадок, значит, все остальные варианты ведения горных работ будут находиться в области, ограниченной данными кривыми. Существует большое количество вариантов ведения горных работ, однако линии режима горных работ на графике $V = f(P)$ не должны выходить за пределы двух крайних значений. Для усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши проводится прямая, характеризующая работу карьера со стабильным (усредненным) значением эксплуатационного коэффициента вскрыши, определяемому как тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс.

Для реализации методики необходимо знать систему разработки, схему вскрытия и направление углубки в карьерном пространстве, иметь поперечные разрезы или погоризонтные планы с нанесенными границами карьера на конец отработки.

На рисунке 2.2 для примера приведен график $V = f(P)$ для условного карьера. Коэффициент вскрыши может определяться, как тангенс угла наклона касательной к кривой $V = f(P)$ относительно горизонтали (оси абсцисс). Значение усредненного коэффициента вскрыши на графике показано прямой линией.

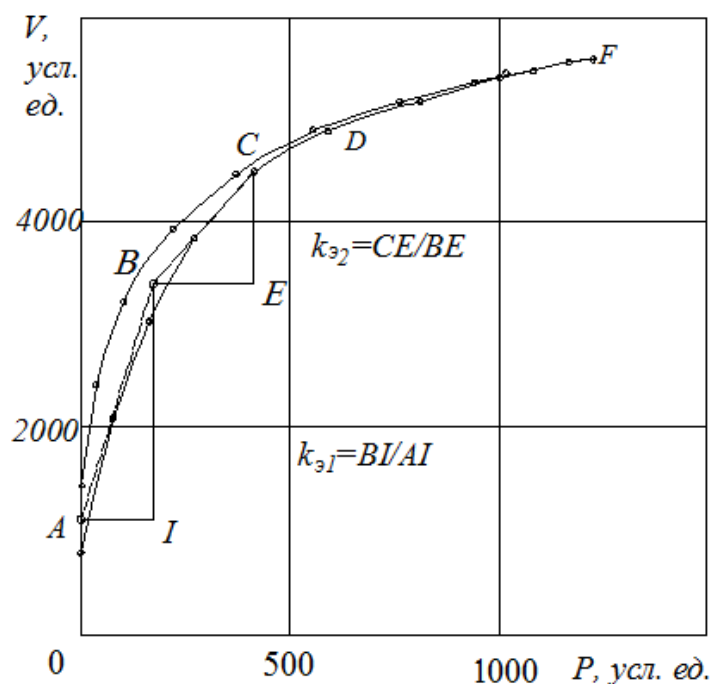


Рисунок 2.2 – График $V = f(P)$ нарастающих объемов вскрышных пород в зависимости от нарастающих объемов полезного ископаемого

Графический метод заключается в том, что не обязательно замерять угол наклона касательной на графике $V = f(P)$. Эксплуатационный коэффициент вскрыши можно вычислить как $\Delta V / \Delta P$, определив при этом разность координат.

Начало кривых $V = f(P)$ на оси ординат не в нулевой точке указывает, что в начальный период работы карьера добыча полезного ископаемого отсутствует, а выемка вскрышных пород происходит.

Конечные точки кривых должны совпадать (точка F на рисунке 2.2), так как при любом варианте работ из карьера извлекаются одни и те же объемы полезного ископаемого и вскрышных пород.

Значит, усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши, отражаемое прямыми в области между кривыми $V = f(P)$ для $\varphi_{\max}$ и φ_0 , будет заключаться в перераспределении объемов вскрыши за счет изменения ширины рабочих площадок.

Однако при этом необходимо всегда учитывать следующее:

1. При усреднении (проведении линии усреднения) следует приближаться к кривой $\varphi_{\max}$, т.е. стремиться к сохранению минимальной ширины рабочих

площадок, максимальному числу рабочих уступов и, следовательно, стремиться к максимальному углу откоса рабочего борта;

2. Распределять породы за весь период отработки лучше таким образом, чтобы пиковые объемы были отнесены на более поздний период, т.е. следует стремиться выглаживать прямые первого периода усреднения на графике, но помнить, что при этом могут увеличиваться объемы горно-капитальных работ, особенно при большой мощности наносов, а также учитывать, что в перспективе придется увеличивать эксплуатационный коэффициент вскрыши, чтобы не пересечь предельную кривую $V = f(P)$ для $\varphi_{\max}$;

3. Необходимо стремиться к тому, чтобы длительность периодов усреднения была значительной.

В соответствии с этими принципами на рисунке 2.2 выделены два эксплуатационных периода с коэффициентами вскрыши $k_{\varphi 1}$ и $k_{\varphi 2}$.

Начиная с окончания подготовки горизонта точка D, изменение объемов по обеим прямым сходно, область между ними практически отсутствует, поэтому нет необходимости усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши. Дальнейшее развитие карьера пойдет по кривой $V = f(P)$ при $\varphi = \varphi_{\max}$.

В тех случаях, когда возможны несколько вариантов усреднения и преимущества каждого из них неочевидны, необходимо проводить технико-экономические расчеты, сравнивая приведенные затраты за весь период отработки.

Установленные по графику $V = f(P)$ значения усредненного коэффициента вскрыши увязываются по возможности в пространстве и времени с развитием производительности по полезному ископаемому.

Расположение этих кривых подтверждает вывод исследования, что наибольшей производительности карьера по руде можно достичь при работе с минимальной шириной рабочей площадки в условиях, когда вся площадь полезного ископаемого вовлечена в эксплуатацию.

Иногда в практике ведения горных работ применяется метод стабилизации объемов вскрышных пород за счет формирования временно нерабочих бортов, а также изменения высоты уступа [8].

Следует учитывать, что применение временно нерабочих бортов позволяет получить даже более низкое положение графика $V = f(P)$, чем для кривой при $\varphi_{\max}$, однако при этом в перспективе годовые объемы вскрышных пород придется увеличивать, чтобы вернуться к упомянутой кривой с приемлемым эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

2.4 Недостатки существующих методов усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши

Горно-геометрический анализ карьерного поля остается одним из главных методов для календарного планирования и определения рационального режима горных работ. Однако стоит отметить, что данный метод имеет некоторые недостатки:

- высокую трудоемкость, требуются точные начальные данные;
- в данном методе нет определенных указаний первоначального положения горных работ;
- при изменении направления углубки необходимо отстраивать новую кривую $V = f(P)$ при $\varphi_{\max}$ и $B = B_{\min}$;
- в случае, когда кривые для $\varphi = \max$ и $\varphi = 0^\circ$ располагаются слишком близко друг к другу, появляется неопределенность конечных результатов.

Данный метод широко применяется на практике, однако при его реализации проявляются вышеуказанные недостатки, избежать которые возможно при описании данного метода в математической форме.

2.5 Выводы к главе 2

Усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши достигается варьированием во времени угла наклона рабочего борта карьера за счет соответствующего изменения ширины рабочих площадок.

Для усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши с использованием существующих методик пока не разработаны конкретные рекомендации по воплощению выбранного режима горных работ в практическое планирование горных работ на карьере, чаще всего связанные с определением меняющейся ширины рабочей площадки на протяжении всего срока эксплуатации месторождения открытым способом.

Для реализации методики необходимо знать систему разработки, схему вскрытия и направление углубки в карьерном пространстве, иметь поперечные разрезы или погоризонтные планы с нанесенными границами карьера на конец отработки.

Для каждого графика $V = f(P)$ с минимальными или максимальными площадками характерно относительное постоянство их ширины, в то время как для усредненного эксплуатационного коэффициента вскрыши, т.е. для прямой в области между вышеуказанными вариантами, ширина площадок будет изменяться. Усреднение эксплуатационного коэффициента вскрыши, отражаемое прямыми в области между кривыми $V = f(P)$ для $\varphi_{\max}$ и φ_0 , будет заключаться в перераспределении объемов вскрыши во времени за счет изменения ширины рабочих площадок.

Данный метод широко применяется на практике, однако при его реализации проявляются вышеуказанные недостатки, избежать которых возможно путем математического моделирования процесса оптимизации режима горных работ по выбранным критериям.

ГЛАВА 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ШИРИНЫ РАБОЧЕЙ ПЛОЩАДКИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

3.1 Общие положения

Одним из условий нормальной работы современного карьера является сохранение в течение всего периода его работы достаточной ширины рабочих площадок. Одним из основных документов для открытых горных работ являются «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (приказ Ростехнадзора от 11 декабря 2013 г. № 599). Согласно пункту № 533 «Ширина рабочих площадок объекта открытых горных работ с учетом их назначения, а также расположения на них горного и транспортного оборудования, транспортных коммуникаций, линий электроснабжения и связи определяется проектом» [87].

Проектные размеры рабочих площадок являются величинами расчетными, усредненными по длине фронта работ и в определенной степени зависят от интенсивности подвигания рабочих уступов и принятой обеспеченности карьера готовыми к выемке запасами горной массы. В реальной практике ширина рабочих площадок по длине фронта варьируется вокруг средних значений в силу дискретности технологических процессов.

Существует два крайних значения ширины рабочей площадки. Минимальная ширина рабочей площадки служит критерием, ограничивающим сокращение рабочих площадок. Она устанавливается проектом индивидуально, является расчетным критерием и регламентируется нормативными документами. Максимальная ширина рабочей площадки, при которой разработка месторождения производится практически послойно, определяется размерами карьерного поля в плане, однако ведение горных работ в углубочных системах разработки с максимальными рабочими площадками практически невозможно, также существует проблема подготовки нижележащего горизонта к выемке.

В ходе исследования были изучены разные методы определения ширины

рабочей площадки. Стоит отметить, что для определения этого параметра существует большое количество различных методов и методик.

В ходе исследования были систематизированы методы определения ширины рабочей площадки (рисунок 3.1):

1) метод расчета в скальных породах с применением буровзрывного способа подготовки горной массы к выемке (основной показатель: В – ширина развала уступа после взрыва);

2) метод расчета для рыхлых, мягких пород, добываемых без предварительного рыхления (основной показатель: А – ширина заходки).



Рисунок 3.1 – Схема систематизации методов определения ширины рабочей площадки

В свою очередь данные методы можно разделить на подразделы:

а) геометрический способ (главный показатель – угол откоса рабочего борта карьера (φ));

б) способ, учитывающий параметры выемочного-погрузочного оборудования (главные показатели – параметры одноковшового экскаватора);

в) способ, учитывающий параметры транспортного оборудования (главные показатели – параметры автотранспорта).

При работе погрузочного оборудования выделяют несколько типов экскаваторных забоев: торцевой, тупиковый, фронтальный (рисунок 3.2). Самым распространенным можно считать торцевой экскаваторный забой. При работе по данной схеме обеспечиваются: высокая производительность экскаватора; минимальные простои оборудования; удобная подача автотранспорта под погрузку; угол поворота экскаватора на разгрузку не превышает 90 градусов.

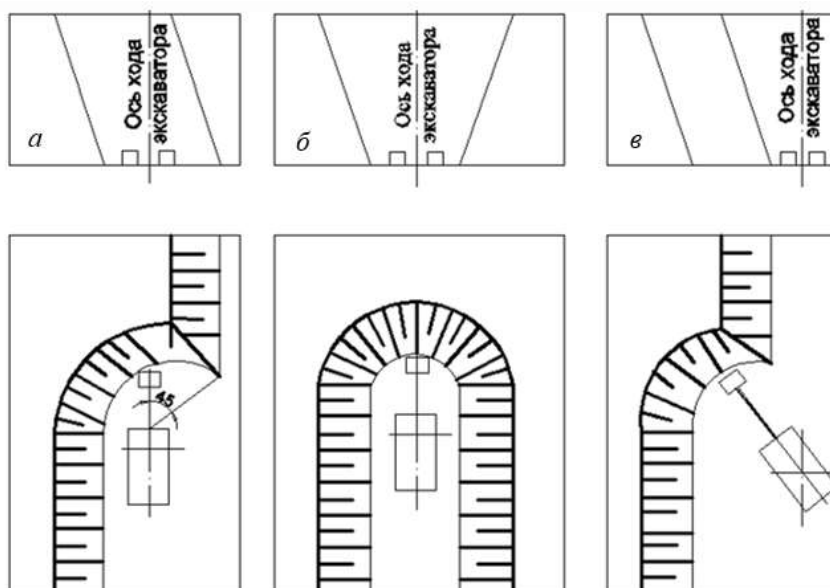


Рисунок 3.2 – Типы экскаваторных забоев: а – торцевой; б – тупиковый; в – фронтальный

Для канатных и реечных механических лопат радиусы и высоты черпания и разгрузки варьируются с изменением угла наклона стрелы, которая, как правило, устанавливается под углом 45 градусов. Габариты определяются по максимально выступающим частям экскаватора.

Рабочие параметры экскаватора обуславливают параметры забоя и технологическую схему его работы. При установлении ширины забоя экскаватора типа прямая механическая лопата определяющим является радиус черпания на уровне стояния ($R_{ч.у.}$) (рисунок 3.3). Максимальная производительность экскаватора достигается при минимуме передвижек в забое и возможно меньшем среднем угле поворота экскаватора от места черпания к пункту разгрузки [8].

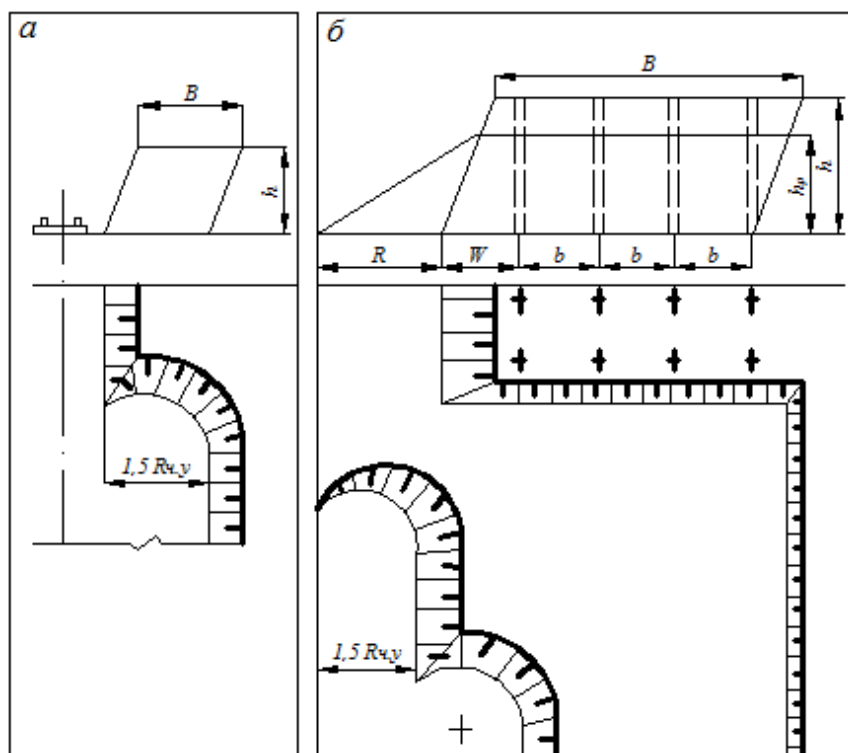


Рисунок 3.3 – Определение ширины заходки

Ширина торцевого забоя определяется как $1,5R_{q,y}$ (рисунок 3.3 а). Ширина заходки экскаватора в породах, разрабатываемых без предварительного рыхления, соответствует ширине забоя.

В крепких породах с рыхлением буровзрывным способом ширина заходки B по целику определяется по формуле 3.1 параметрами буровзрывных работ (рисунок 3.3 б):

$$B = W + (n - 1)b, \text{ м}, \quad (3.1)$$

или технологическими условиями по формуле 3.2:

$$B = 1.5 \cdot R_{q,y} \cdot N - R, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где W – линия сопротивления по подошве, м;

n – количество рядов скважин во взрывном блоке;

b – расстояние между рядами, м;

$R_{q,y}$ – радиус черпания экскаватора на уровне стояния, м;

N – количество заходов экскаватора для экскавации развала горной массы после взрыва массива, принимается по технологическим или транспортным условиям;

R – величина развала горной массы после взрыва, м.

Высота уступа определяется допустимой высотой развала горной массы после взрыва и коэффициентом разрыхления горной породы в развале k_p . При $k_p = 1,3$ максимальная высота уступа вычисляется по формуле 3.3:

$$H_p = \frac{1.5 \cdot H_q}{k_p} = 1.1 \cdot H_q, \text{ м.} \quad (3.3)$$

Исходя из представленной систематизации можно сделать вывод, что основное разделение при расчете ширины рабочей площадки заключается в производстве работ в разных горных породах, одним из основных показателей – ширина заходки и ширина развала (при БВР).

В настоящее время при развитии методов ведения буровзрывных работ, существует возможность уменьшения развала горной массы после взрыва и возможности отработки развала за минимальное количество заходов экскаватора. Можно выделить несколько методов уменьшения развала горной массы.

Один из главных методов – это применение многорядного короткозамедленного взрывания. Данный вид инициирования зарядов обеспечивает высокие технико-экономические показатели взрывных работ, а также качественное разрыхление горной породы.

В своих трудах Кутузов Б.Н. предлагал применять диагональную схему, при котором основная взорванная масса породы перемещается вдоль фронта уступа в сторону взорванного первым заряда, а широкий навал образуется в определенном углу блока. Также автор предлагает применять порядную поперечную обычную или врубовую схему для минимизации ширины развала горной массы [58].

В трудах Анистратова Ю.И. представлен другой метод минимизации ширины развала [8]. В составляющие ширины рабочей площадки входят: ширина заходки по целику B , величина развала горной массы R_1 , зазор безопасности между развалом горной массы и транспортной полосой Z_1 , ширина транспортной полосы T и берма безопасности C_1 (см. рисунок 3.4).

Величина Z_1 и C_1 определяется правилами безопасности. B , R_1 и T зависят от параметров горного оборудования и технологии горных работ на горизонте.

Расчет ширины развала при однорядном расположении скважин производится по формуле 3.4:

$$R = \frac{2 \cdot (c + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (k_p \cdot h - h_p)}{h_p}, \text{ м}, \quad (3.4)$$

где R – ширина развала взорванной горной массы от нижней бровки уступа, м;

c – расстояние от верхней бровки уступа до ряда скважин, м;

h – высота уступа, м;

α – угол откоса уступа, град.;

k_p – коэффициент разрыхления породы в развале;

h_p – безопасная высота развала взорванной горной массы, м; $h_p = (1 - 1.5) \cdot h_q$;

h_q – высота черпания экскаватора, м.

При многорядном взрывании рассчитываются следующие значения.

Ширина заходки по целику определяется по формуле 3.5:

$$A = b \cdot (n - 1) + c + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м}. \quad (3.5)$$

Величина развала горной массы после взрыва – по формуле 3.6:

$$A = \frac{2(b \cdot (n - 1) + c + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (h \cdot k_p - h_p)}{h_p}, \text{ м}, \quad (3.6)$$

где n – количество рядов скважин;

b – расстояние между рядами скважин.

Ширина развала зависит от свойств горных пород и массива уступа, а также от всех параметров БВР.

Эмпирически по данным треста «Союзвзрывпром» ширина развала может быть определена по формуле 3.7:

$$R = 5 \cdot q \sqrt{W \cdot h}, \text{ м}, \quad (3.7)$$

где q – удельный расход ВВ кг/м³;

w – линия сопротивления по подошве.

Практически получаем, что ширина развала определяется по формуле (3.8)

$$R = (0,5 - 0,6) h. \quad (3.8)$$

Сокращение развала может быть достигнуто взрыванием на «подпорную» стенку, т.е. на оставленную часть объема взорванной горной массы от предыдущего цикла подготовки горной массы к выемке или изменением направления развала горной массы относительно фронта работ с поперечного на продольный (рисунок 3.4).

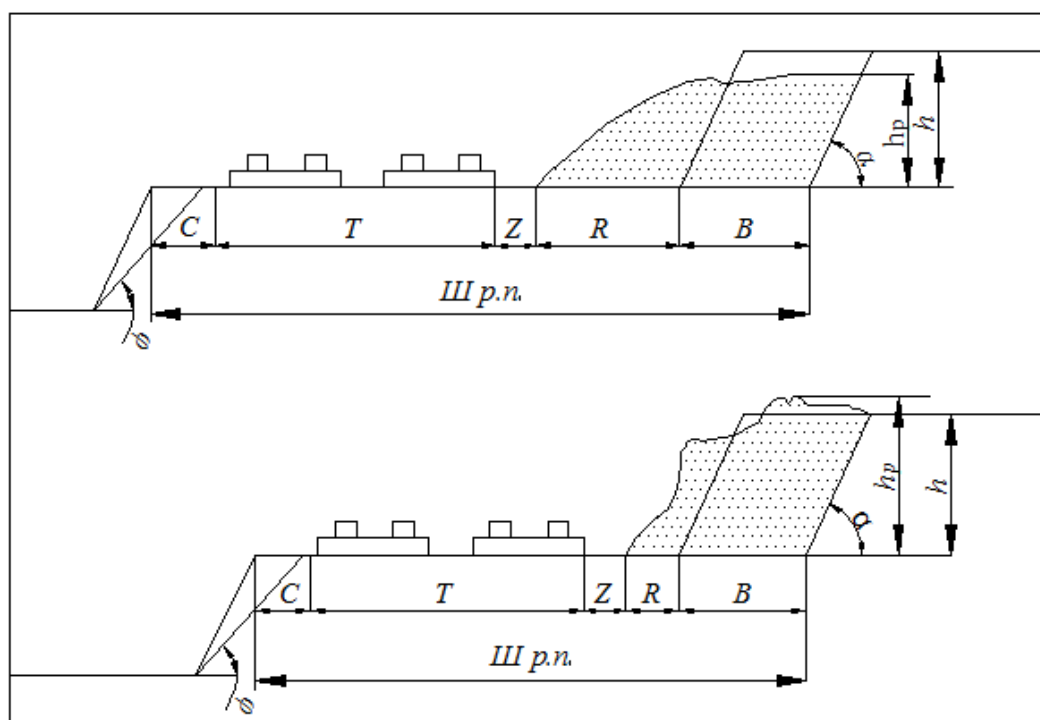


Рисунок 3.4 – Уменьшение ширины развала на рабочей площадке взрыванием массива на «подпорную стенку»

В этом случае развал горной массы размещается внутри заходки с незначительным, обычно не более $1/3$ высоты уступа, развалом в сторону от откоса уступа, а ширина заходки по целику А увеличивается до размеров, необходимых по технологическим условиям взрывных и экскавационных работ.

Таким образом, в современных условиях развития горной промышленности и буровзрывных работ, улучшения методов и схем взрывания, появляется возможность снизить ширину развала горной массы и приблизить ее к необходимой возможной расчетной ширине заходки экскаватора. В свою очередь это приводит к возможности отработки развала за минимальное количество

проходов экскаватора и привязке методики расчета ширины рабочей площадки к параметрам выемочно-погрузочного и транспортного оборудования.

Следовательно, можно отойти от метода расчета ширины рабочей площадки, жестко привязанного ранее к параметрам буровзрывных работ, за счет уменьшения ширины развала горной массы, и привязать его к условиям, учитывающим параметры экскаватора и транспорта, как для мягких, так и для скальных пород. Соответственно, главными факторами становятся характеристики и параметры добычного и транспортного оборудования.

3.2 Определение производительности одноковшовых экскаваторов типа механическая лопата

Одним из основных требований к современному карьеру является определение и сохранение высокой производительности выемочно-погрузочного оборудования за весь период ведения горных работ.

Для начала необходимо определить факторы, которые влияют на производительность одноковшовых экскаваторов. Для этого были проанализированы труды Анистратова Ю.И. [8] и Трубецкого К.Н. [109]. В работах данных ученых в разные годы были представлены схожие методы для расчета производительности экскаваторов и рекомендации по определению данного показателя.

3.2.1 Характеристики и параметры экскаваторов

При определении производительности одноковшовых экскаваторов типа механическая лопата следует учитывать ряд факторов (рисунок 3.5):

- тип экскаватора;
- вместимость ковша (тип ковша: общего назначения; для тяжелых условий эксплуатации; для условий эксплуатации повышенной тяжести; для крайне тяжелых условий эксплуатации.);
- высоту черпания H_q – вертикальное расстояние от горизонта установки экскаватора до режущей кромки ковша;
- глубину черпания I_q ;

- высоту разгрузки H_p – вертикальное расстояние от горизонта установки экскаватора до нижней кромки днища открытого ковша при разгрузке;
- максимальный радиус черпания $R_{ч\ max}$;
- радиус черпания $R_{ч}$ – горизонтальное расстояние от оси вращения экскаватора до режущей кромки ковша при черпании;

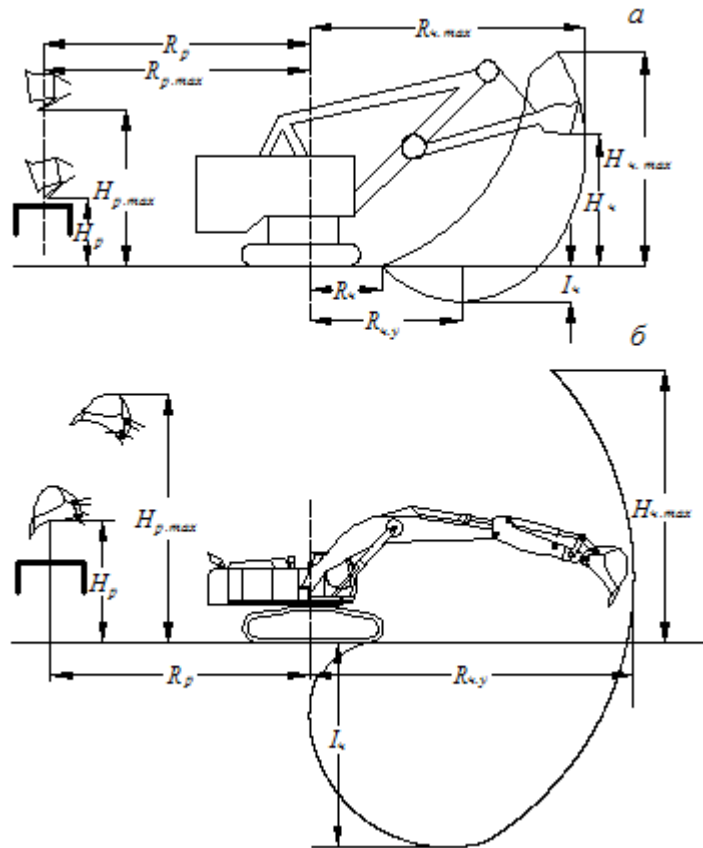


Рисунок 3.5 Основные параметры одноковшовых экскаваторов

- радиус черпания на уровне стояния $R_{ч.у.}$;
- радиус разгрузки R_p – горизонтальное расстояние от оси вращения экскаватора до центра ковша в момент разгрузки горной массы, максимальный радиус разгрузки;
- продолжительность рабочего цикла $t_{ц.}$;
- угол поворота экскаватора от оси его хода в сторону целика уступа φ_1 ;
- угол поворота экскаватора от оси его хода в сторону выработанного пространства карьера φ_2 .

В ходе исследования были рассмотрены разные виды ковшей, применяемых на гидравлических экскаваторах типа обратная лопата. Особенность данных экскаваторов – это возможность работы с разным рабочим оборудованием.

Большинство гидравлических экскаваторов, рассмотренных в ходе исследования, выпускаются с заменяемым рабочим оборудованием, покупатель может выбрать вид ковша определенной конфигурации. Виды ковша могут различаться геометрически, широкие применяются для хорошо взорванных и сыпучих пород. Более узкие обычно применяются в крепких породах. Длина ковша также влияет на добычу разрабатываемой породы, иногда применяются укороченные и удлиненные зубья (рисунок 3.6).

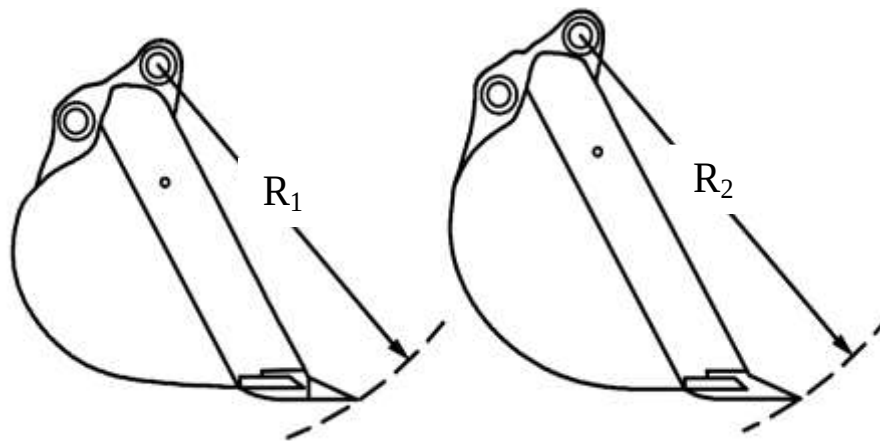


Рисунок 3.6 – Радиус вращения ковша до кончика зуба R_1 – укороченный радиус;
 R_2 – удлиненный радиус

Ковши экскаватора классифицируются следующим образом: общего назначения, для тяжелых условий эксплуатации, для условий эксплуатации повышенной тяжести, для крайне тяжелых условий эксплуатации.

Экскаваторные ковши общего назначения предназначены для выемки рыхлого низкоабразивной породы, например, песок и суглинок.

Ковши общего назначения обычно более крупные, выпускаются во всех стандартных размерах и используются при массовых экскаваторных работах на участках в низкоабразивных породах (рисунок 3.7). Отличительными характеристиками ковшей данного типа являются: более легкая конструкция, ускоряющая загрузку и увеличивающая грузоподъемность ковша; стандартные

переходники и наконечники, боковые брусья с заводскими отверстиями для крепления дополнительных боковых резцов и защитных элементов.

Экскаваторные ковши для тяжелых условий эксплуатации являются самой распространенной конструкцией. Данный тип ковша хорошо справляется с самыми различными ударными нагрузками и абразивными условиями, включая смешанную глину и камни.

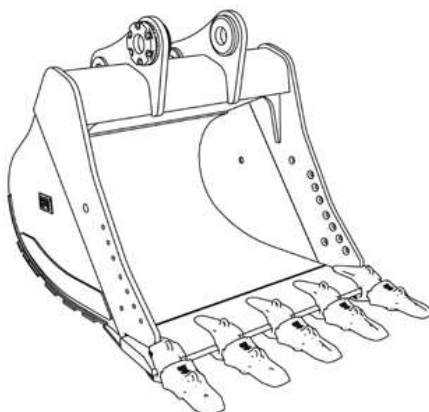


Рисунок 3.7 – Экскаваторный ковш общего назначения

Ковши для тяжелых условий характеризуются: более массивным нижним краем и боковыми изнашиваемыми пластинами, которые делают ковш более долговечным в сравнении с ковшами общего назначения; увеличенными переходниками и наконечниками для повышения производительности и долговечности; боковыми брусьями с заводскими отверстиями для крепления дополнительных боковых резцов и защитных элементов (рисунок 3.8).

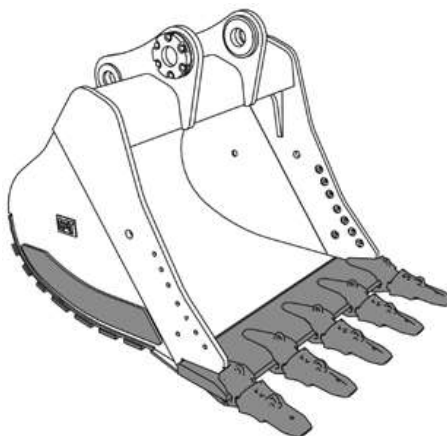


Рисунок 3.8 – Экскаваторный ковш для тяжелых условий эксплуатации

Экскаваторные ковши для условий эксплуатации повышенной тяжести предназначены для более абразивных пород, например, гранит и песчаник. Этот тип ковша характеризуется тем, что нижние изнашиваемые пластины на 50% толще, чем у ковшей для тяжелых условий эксплуатации; боковые изнашиваемые пластины на 40% шире, чем у ковшей для тяжелых условий эксплуатации с целью дополнительной защиты от абразивного износа и истирания; в ковшах для сложных и тяжелых условий эксплуатации применяются адаптеры одного размера; переходники выбраны в соответствии с условиями высокого абразивного износа; наконечники увеличены (по сравнению с ковшом общего назначения) для повышения производительности и долговечности; боковые брусья с заводскими отверстиями для крепления дополнительных боковых резцов и защитных элементов (рисунок 3.9).

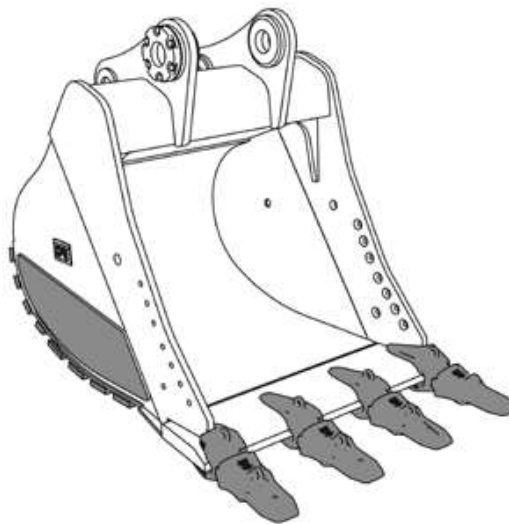


Рисунок 3.9 – Экскаваторный ковш для условий эксплуатации повышенной тяжести

Экскаваторные ковши для крайне тяжелых условий эксплуатации предназначены для высокоабразивных пород, включая гранит с высоким содержанием кварцита. Ковш характеризуется тем, что защищен накладками угла (пяты), защитой торца базовой кромки, сегментом базовой кромки, футеровкой и износными пластинами с механическим креплением; увеличенными боковыми изнашиваемыми пластинами; добавленными защитными боковыми брусьями для противодействия абразивному износу и истиранию; переходниками, выбранными

в соответствии с условиями высокого абразивного износа; увеличенными наконечниками (по сравнению с ковшом общего назначения) для повышения производительности и долговечности (рисунок 3.10).

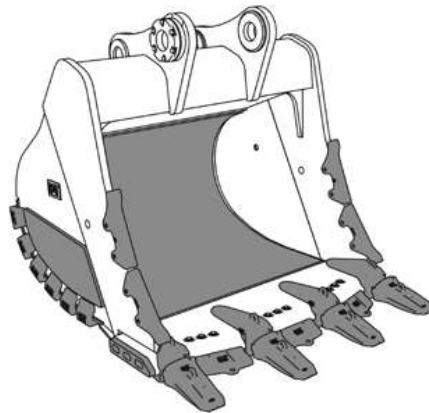


Рисунок 3.10 – Экскаваторный ковш для крайне тяжелых условий эксплуатации

3.2.2 Характеристики и параметры автосамосвалов

Основными параметрами автомобильного транспорта являются следующие: Q_a – грузоподъемность автосамосвала; V – вместимость кузова; n , $a \times b$ – количество колес, колесная формула; $r_{нов}$ – минимальный радиус поворота; габариты автотранспорта (длина, ширина); $h_{a.c.}$ – высота транспортного средства; a – расстояние между верхом кузова автосамосвала и ковшом экскаватора; v_{max} – максимальная скорость движения; l – дальность транспортирования; схема подачи автосамосвала под погрузку.

Стоит отметить, что работа звена экскаватор-автосамосвал идет взаимосвязано. От грамотного размещения транспортного средства под погрузку зависит и производительность экскаватора, что в свою очередь приводит к уменьшению простоев.

Различают несколько схем подачи автотранспорта под погрузку: сквозная; с петлевым и тупиковым разворотом (рисунок 3.11).

Сквозная подача применяется при одностороннем движении автосамосвалов на уступе, движение производится поточно.

Подача с петлевым разворотом автосамосвалов осуществляется при встречном движении. Основное преимущество данной схемы заключается в том,

что обеспечивается высокая степень использования экскаваторно-автомобильного комплекса, и нет необходимости сложного маневрирования автотранспорта.

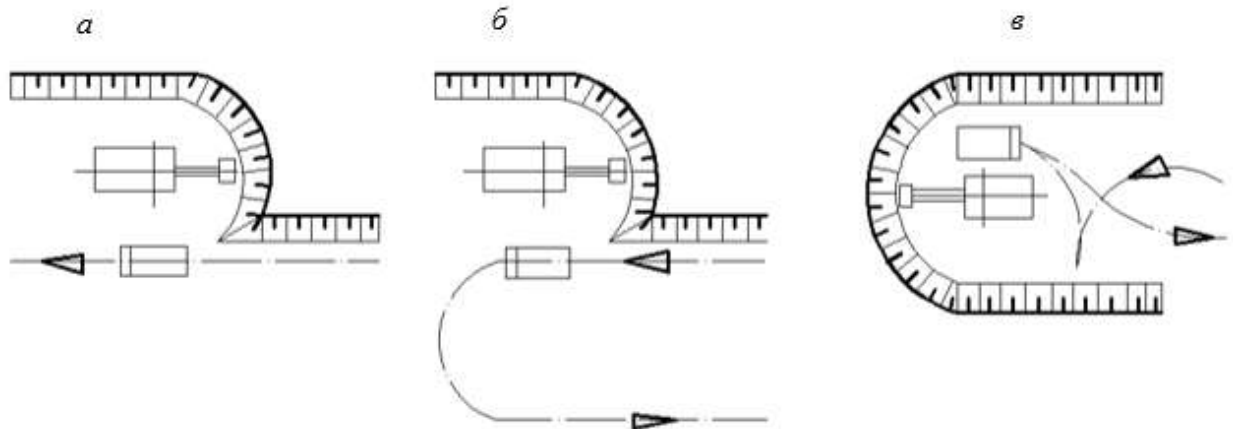


Рисунок 3.11 – Схемы подачи транспортных средств под погрузку: а – сквозная; б – с петлевым разворотом; в – с тупиковым разворотом

В условиях, когда нет возможности применения петлевой схемы разворота, применяется тупиковая схема подачи. Данная схема обычно применяется при проходке траншей и при работе в сложных, стесненных условиях. [59].

Производительность экскаватора в значительной мере зависит от количества автосамосвалов, ожидающих погрузку и находящихся одновременно под погрузкой. В ходе опыта использования экскаваторно-автомобильного комплекса выделяют одиночную или спаренную установку под погрузку (рисунок 3.12).

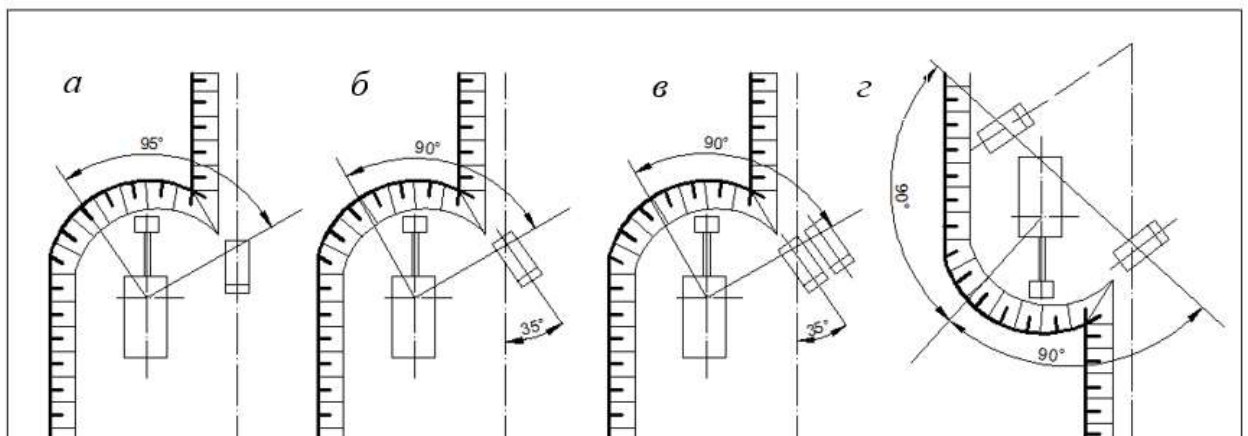


Рисунок 3.12 – Схемы установки автотранспорта под погрузкой: а, б – одиночная; в, г – спаренная

Стоит отметить, что правильно выбранная схема подъезда и размещения под погрузкой позволяет грамотно рассчитать грузооборот карьера.

Также стоит учитывать свойства разрабатываемых горных пород (коэффициент экскавации, коэффициент разрыхления, коэффициент наполнения ковша).

Анистратов Ю.И., как и другие специалисты в области выемочно-погрузочных работ, выделял в своих трудах теоретическую, техническую, эксплуатационную, сменную и годовую производительности экскаваторов [8-10].

Эксплуатационная производительность экскаваторов зависит от организации транспортного обслуживания.

Расчетные формулы производительности одноковшовых экскаваторов имеют следующий вид: теоретической (3.9) и технической (3.10).

$$Q_{tt} = E \cdot n_u, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (3.9)$$

$$Q_m = Q_{tt} \cdot k_9, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3.10)$$

Эксплуатационная производительность соответственно за смену и за год (3.11):

$$Q_{см} = Q_t \cdot T \cdot k_u, \text{ м}^3/\text{см}; \quad Q_г = Q_{см} \cdot n \cdot N, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.11)$$

где E – вместимость ковша, м^3 ;

n_u – число рабочих циклов в час ($n_u = \frac{3600}{t_u}$);

t_u – длительность рабочего цикла экскаватора, с;

k_9 – коэффициент экскавации ($k_9 = \frac{k_n}{k_p}$);

k_n, k_p – коэффициенты наполнения ковша и разрыхления породы в ковше соответственно;

T – длительность смены, ч;

k_u – коэффициент использования экскаватора в течение смены;

n – число рабочих смен в сутки;

N – число рабочих дней экскаватора в году с учетом плановых простоев на ремонт.

Коэффициент наполнения ковша экскаватора типа механическая лопата k_n составляет:

- в легких влажных песках и суглинках $k_n = 1 - 1,1$;
- в песчано-глинистых породах средней плотности $k_n = 0,6 - 0,8$;
- в плотных песчано-глинистых породах с галькой и валунами $k_n = 0,6 - 0,7$;
- во взорванных скальных породах $k_n = 0,6 - 0,75$;
- в плохо взорванных скальных породах $k_n = 0,4 - 0,6$.

Коэффициент разрыхления породы в ковше k_p :

для мягких пород $k_p = 1,2 - 1,4$,

для скальных $k_p = 1,4 - 1,6$.

Коэффициент использования экскаватора в течение смены определяется по формуле (3.12)

$$k_u = \frac{t_p}{T}, \quad (3.12)$$

где t_p – чистое время работы экскаватора в течение смены, ч.

При работе экскаватора с автомобильным транспортом с учетом организации подачи самосвалов под погрузку $k_u = 0,65 - 0,75$.

Метод определения производительности одноковшового экскаватора типа механическая лопата, представленный в справочнике «Открытые горные работы» [109]:

1. Теоретическая производительность рассчитывается по формуле (3.13) ($Q_{теор}$) – это объем породы, вырабатываемый при непрерывной работе экскаватора в единицу времени (обычно за 1 час). При этом коэффициент наполнения ковша k_n и разрыхления породы k_p приняты равными единице, угол поворота ковша на выгрузку – 90° , для экскаваторов типа механическая лопата:

$$Q_{теор} = 3600 \cdot V \cdot t^{-1}, \quad (3.13)$$

где V – вместимость ковша экскаватора, m^3 ;

t – время цикла, с.

2. Техническая производительность ($Q_{\text{тех}}$) – это максимальная производительность для данного экскаватора при непрерывной экскавации пород с конкретными физико-механическими свойствами, рассчитывается по формуле (3.14):

$$Q_{\text{тех}} = Q_{\text{теор}} \cdot k_{\text{э}} \cdot \frac{t_p}{t_p + t_n} = 3600 \cdot \frac{V}{t} \cdot \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot k_{\text{э}}, \quad (3.14)$$

где $k_{\text{э}}$ – коэффициент экскавации, $k_{\text{э}} = k_{\text{э}} \cdot k_p^{-1}$;

t_p – время непрерывной работы на одном месте, с;

t_n – время передвижки экскавации на другое место, с.

3. Эксплуатационная производительность ($Q_{\text{э}}$) – действительный объем пород, обрабатываемый за определенный период эксплуатации (3.15):

$$Q_{\text{э}} = Q_{\text{тех}} \cdot T \cdot k_{\text{исп}}, \quad (3.15)$$

где T – продолжительность смены, ч;

$k_{\text{исп}}$ – коэффициент использования сменного времени экскаватора. При погрузке в автотранспорт и на конвейер $k_{\text{исп}} = 0,8 - 0,9$.

4. Годовая производительность ($m^3/\text{год}$) определяется по формуле (3.16):

$$Q_{\text{г}} = Q_{\text{э}} \cdot T_{\text{г}}, \quad (3.16)$$

где $T_{\text{г}}$ – число рабочих смен в году.

Проанализировав методы расчета производительности, можно сделать вывод, что при использовании экскаваторов одного типоразмерного ряда (одинаковая вместимость ковша E), одинакового транспортного оборудования и при одинаковых физико-механических свойствах горных пород, основным показателем, влияющим на производительность, является время рабочего цикла экскаватора. Различные виды экскаваторов имеют различное время рабочего цикла, при увеличении габаритов экскаваторов соответственно увеличивается время рабочего цикла.

При уменьшении рабочего цикла можно повысить производительность экскаватора [106].

Продолжительность рабочего цикла t_u (3.17) одноковшового экскаватора при условии совмещения операций складывается из времени черпания t_u , времени поворота к месту разгрузки и обратно в забой t_n и времени разгрузки ковша t_p :

$$t_u = t_u + t_n + t_p, \text{ с.} \quad (3.17)$$

При экскавации плохо взорванной горной массы увеличивается время черпания и снижается степень использования ковша. Кроме того, требуются дополнительные затраты времени на выемку и укладку позади экскаватора негабаритных кусков. Увеличивается время черпания и общее время на экскавацию при разработке сложных забоев, т.е. сложенных разными сортами руд или руды и породы.

Данные методы были разработаны на основе тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата, для условий использования гидравлических экскаваторов были рассмотрены не в полной мере, однако, за счет своих преимуществ: мобильности, меньших размеров, различных схем копания, существует возможность уменьшения времени рабочего цикла и, следовательно, увеличения производительности.

Таким образом, уменьшить продолжительность цикла можно следующими способами:

- 1) поворот экскаватора к месту разгрузки и обратно в забой обычно выполняется на максимальных скоростях. Сокращение времени поворота возможно только при уменьшении угла поворота;
- 2) совмещать поворот к месту разгрузки с приведением в действие напорной гидравлики; при этом рукоять выдвигается на такую длину, чтобы ковш к моменту окончания поворота оказался над местом разгрузки;
- 3) разгрузку ковша производят плавно на ходу, то есть совмещая разгрузку ковша и поворот к забою.

Для сокращения времени рабочего цикла экскаватора типа обратная лопата и увеличения его производительности, необходимо производить подачу

автосамосвала под погрузку на расстояние, равное расстоянию от оси экскаватора до крайней линии зоны разгрузки.

Рекомендуемая установка автосамосвала под погрузку (рисунок 3.13) позволит снизить себестоимость добычи за счет увеличения производительности экскаватора типа обратная лопата.

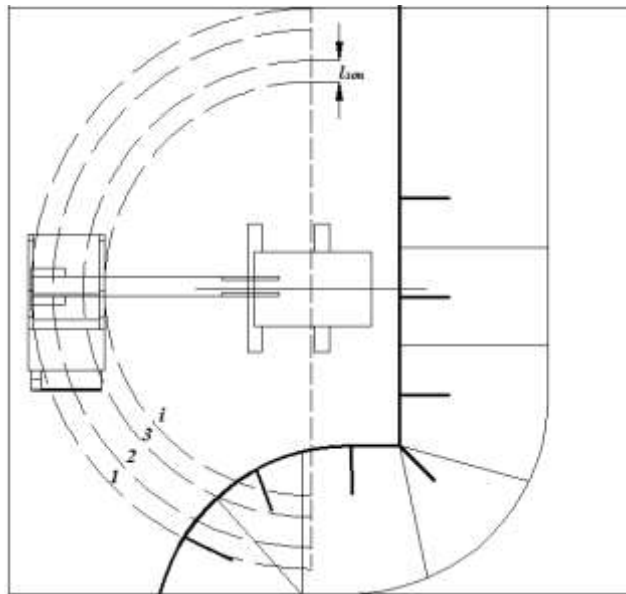


Рисунок 3.13 – Схема установки автосамосвала под погрузку с использованием гидравлического экскаватора типа обратная лопата:

1, 2, 3, i – зоны разгрузки ЭГО, $l_{зон}$ – расстояние между зонами разгрузки, м

При этой схеме установки расстояние транспортирования увеличится на расстояние (3.18) $l_{зон}^{общ.}$:

$$l_{зон}^{общ.} = l_{зон} \cdot n_{зон}, \quad (3.18)$$

где $n_{зон}$ – количество обрабатываемых зон без изменения местоположения экскаватора типа обратная лопата, ед. [11].

Совершенствование организации работ и методов экскавации на карьерах позволяет увеличить годовую производительность экскаваторов на 5-8%.

3.3 Расчет ширины рабочей площадки при использовании тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата канатного или реечного напора

При расчете ширины рабочей площадки необходимо исходить из того, чтобы обеспечить необходимые параметры забоя и стабильную производительность, стремиться к ведению работ с максимальным углом откоса рабочего борта, соответственно, с минимальной шириной рабочей площадки. Исходя из представленной систематизации методов расчета ширины рабочих площадок, наиболее существенные различия имеют место при работе в мягких или скальных породах.

Проектные размеры рабочих площадок являются величинами расчетными, усредненными по длине фронта работ, и в определенной степени, зависят от интенсивности подвигания рабочих уступов и принятой обеспеченности карьера готовыми к выемке запасами горной массы. В реальной практике ширина рабочих площадок по длине фронта варьируется вокруг средних значений в силу дискретности технологических процессов.

Обоснование предельных значений ширины площадок, обеспечивающих размещение соответствующего оборудования, сооружений и зазоров без учета готовых к выемке запасов выполнено для технологической схемы с использованием одноковшовых экскаваторов в сочетании с автомобильным транспортом.

Полученные значения служат ограничениями при необходимости сокращения рабочих площадок в процессе эксплуатации карьера.

В ходе исследования были изучены разные методы измерения ширины рабочей площадки.

Метод, предложенный Арсентьевым А.И. [19]. Ширина рабочей площадки рассчитывается исходя из размещения необходимого оборудования, подъездных путей, линий электропередач, а также обеспечения резерва готовых к выемке запасов.

Средняя необходимая ширина рабочей площадки добычного уступа определяется по формуле 3.19:

$$B = B_{\min} + \frac{\mu A_p}{L_p h}, \text{ м}, \quad (3.19)$$

где $B_{\min}$ – минимальная ширина рабочей площадки, учитывающая ширину развала горной массы после взрыва, размещение железнодорожных путей, автодорог, бурового и добычного оборудования и линий электропередач, м; μ – резерв готовых к выемке запасов руды, лет; A_p – производительность карьера по руде, м³/год; L_p – длина рудного фронта в карьере, м; h – высота уступа, м.

При разработке скальных пород с погрузкой в железнодорожный транспорт рекомендуется ширина площадок 75-93 м, а с погрузкой в автомобильный транспорт – 75-80 м. При однорядном взрывании она может быть уменьшена до 50-70 м.

В процессе работы карьера величина угла откоса рабочего борта и ширина рабочих площадок непрерывно изменяются.

В.В. Ржевский [91] определил интервал возможных значений ширины рабочей площадки $Ш_{pn}$ пределами:

$$B + 1,7 R_{ч.у.} > Ш_{pn} > B + B_1, \quad (3.20)$$

где B – ширина площадки между верхней бровкой добычного уступа и нижней бровкой вскрышного уступа, м; $R_{ч.у.}$ – радиус черпания экскаватора на уровне стояния, м; B_1 – ширина хода экскаватора, м.

Метод, предложенный в книге «Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах» [103] (рисунок 3.14).

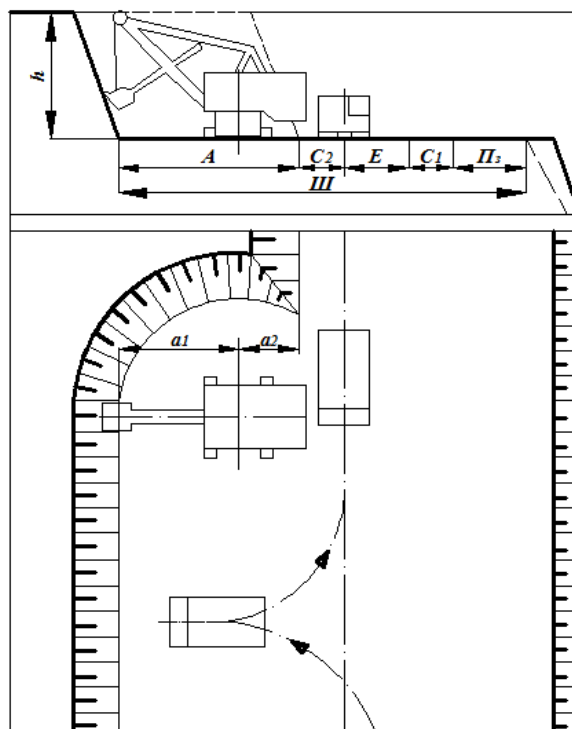


Рисунок 3.14 – Технология разработки уступа без предварительного рыхления

На рисунке 3.14 обозначены: ширина заходки по целику A , м; расстояние от оси хода экскаватора до нижней бровки экскаваторной заходки, внутренней – a_1 , внешней – a_2 , м; расстояние от оси дороги до нижней бровки уступа C_2 , м, до полосы электроснабжения C_1 , м; расстояние между осями автодорог E , м; ширина полосы размещения устройств электроснабжения $П_з$, м; $Ш$ – минимальная ширина рабочей площадки, м.

$$Ш = A + c_2 + E + c_1 + П_з, \text{ м.} \quad (3.21)$$

Ширина рабочей площадки должна обеспечивать возможность производительной работы выемочного и транспортного оборудования.

А.И. Арсентьев в [12] предложил метод расчета ширины рабочей площадки, в которой было две основных составляющих – минимальная ширина рабочей площадки и резерв готовых к выемке запасов. Соответственно, при работе экскаваторов на нескольких горизонтах, работа с минимальной шириной рабочей площадки ведется только на одном горизонте. Для безопасной работы на другом

горизонте, необходимо добавить резерв готовых к выемке запасов, потому что пределом снижения ширины рабочей площадки является минимальная расчетная ширина площадки. Ведение горных работ с показателем меньше расчетного нарушает требования безопасности и параметры обеспечения работ. Для эффективной работы необходимо иметь резерв ширины рабочей площадки, чтобы не нарушать правила ведения горных работ и обеспечивать стабильно высокую производительность.

Уменьшения минимальной ширины рабочей площадки, не нарушая правил безопасности, можно достичь при использовании другого типа выемочного оборудования. Однако не стоит забывать о необходимости сохранения одинаковых параметров забоя и производительности. Гидравлические экскаваторы типа прямая и обратная лопата могут обеспечить такие же параметры, как тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата. Гидравлические экскаваторы типа обратная лопата имеют ряд преимуществ, описанных в главе 1, по сравнению с тросовыми экскаваторами типа прямая механическая лопата.

Так как практически все методы расчета ширины рабочей площадки для одноковшовых экскаваторов основаны на методе расчета при использовании тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата, необходимо рассмотреть метод расчета ширины рабочей площадки, которые подходят для гидравлических экскаваторов. Для эффективной работы выемочно-погрузочного оборудования необходимо, соблюдая технику безопасности, учитывать особенности ведения горных работ при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата.

3.4 Расчет рабочей площадки при использовании гидравлических экскаваторов в комплекте с автомобильным транспортом

На данный момент не существует общепринятой, единой системы для определения ширины рабочей площадки. Каждая организация выбирает одну из существующих систем расчета. Открытые горные работы ведутся в соответствии

с общими нормативными документами и правилами безопасности. Однако стоит заметить, что тросовые экскаваторы типа прямая механическая лопата и гидравлические экскаваторы имеет свои особенности. Габариты гидравлических экскаваторы практически в 2 раза меньше габаритов тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата одного типоразмерного ряда при обеспечении одинаковых параметров забоя и поддержании стабильной производительности.

При предложенной систематизации существует несколько методов расчета ширины рабочей площадки, некоторые основаны на параметрах добычного оборудования, другие привязаны к параметрам транспортного оборудования. В данном разделе будут рассмотрены несколько видов расчета ширины рабочей площадки, применимых к гидравлическим экскаваторам.

В книге «Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах» [103] предложен метод расчета ширины рабочей площадки при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата по формуле (3.22), в данном методе основным является показатель – параметры работы выемочно-погрузочного оборудования (рисунок 3.15).

$$a) Ш_{p.n.} = A + e_n + C_1 + E + C_3 + П_э, \text{ м}; \quad (3.22)$$

$$б) Ш_{p.n.} = X + e_n + C_1 + E + C_3 + П_э, \text{ м},$$

где: A – ширина заходки по целику; X – ширина развала; e_n – ширина полосы безопасности (берма безопасности); C_3 – расстояние от оси автодороги до полосы безопасности; C_1 – расстояние от оси автодороги до полосы электроснабжения; E – расстояние между осями автодорог; $П_э$ – ширина полосы размещения устройств электроснабжения.

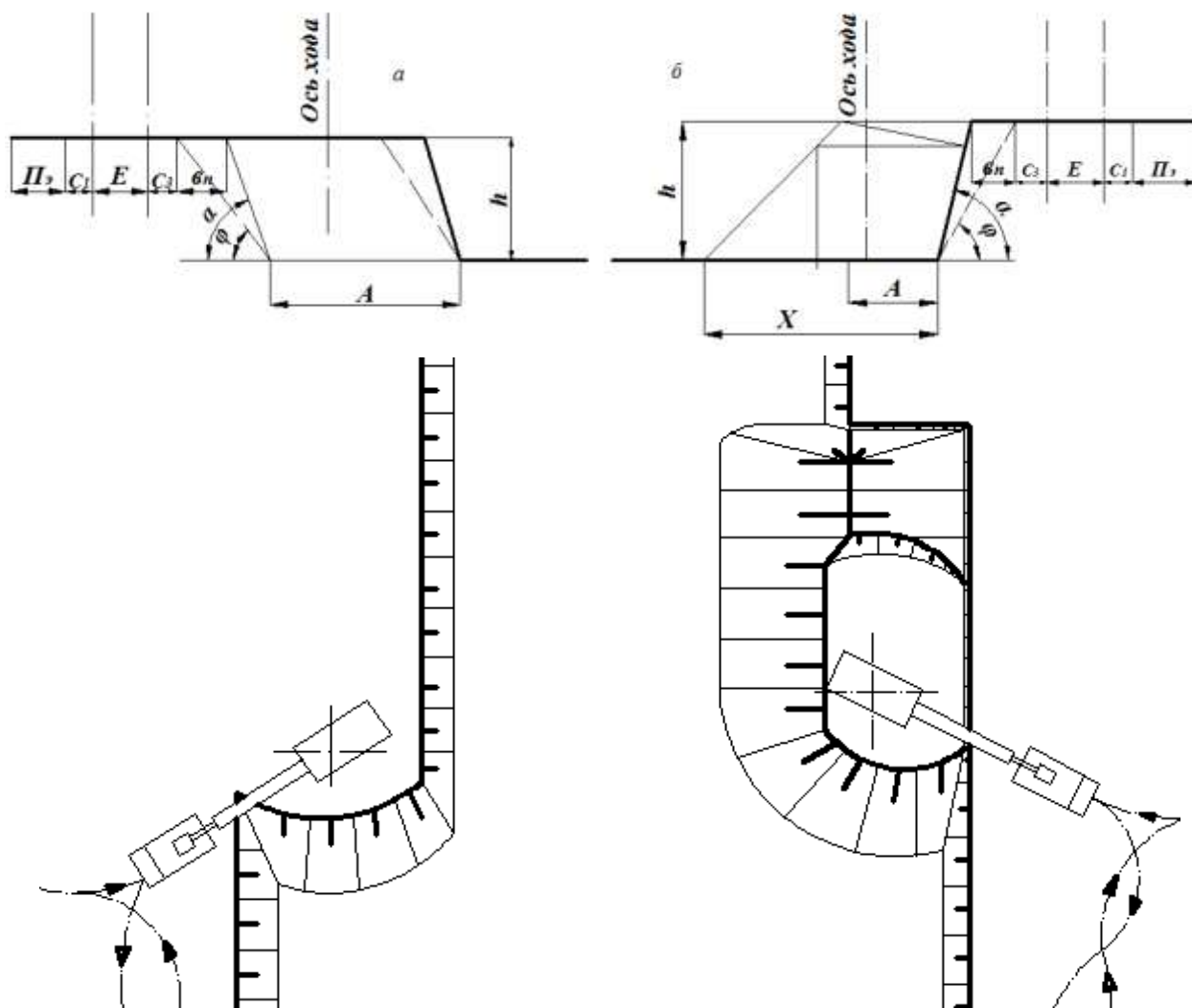


Рисунок 3.15 – Расчет рабочей площадки гидравлического экскаватора

Для карьеров нерудных материалов [76] методика определения ширины площадки для прямой лопаты подробно изложена в «Нормах технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов» и определяется для мягких пород по формуле (рисунок 3.16) (3.23):

$$Ш_p = A + П_m + П_o, \text{ м}, \quad (3.23)$$

где A – ширина экскаваторной заходки по целику, м, применяется в зависимости от конкретного экскаватора; $П_m$ – ширина транспортной полосы, м:

$$П_m = П_o + П_n + П_o', \text{ м}, \quad (3.24)$$

где $П_o$ – ширина обочины с нагорной стороны – со стороны вышележащего уступа, м; $П_o = 1,5$ м (принимается по табл. 7.9 СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт» и

таблице П.2 НТП-77); Π_n – ширина проезжей части призабойных автодорог, м (принимается в зависимости от ширины расчетного автосамосвала по табл. 7.9 СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт»); Π'_o – ширина обочины с низовой стороны (со стороны нижележащего уступа) для рыхлых пород, $\Pi'_o = 6,5$ м (принимается по табл. П.2 НТП-77) [88].

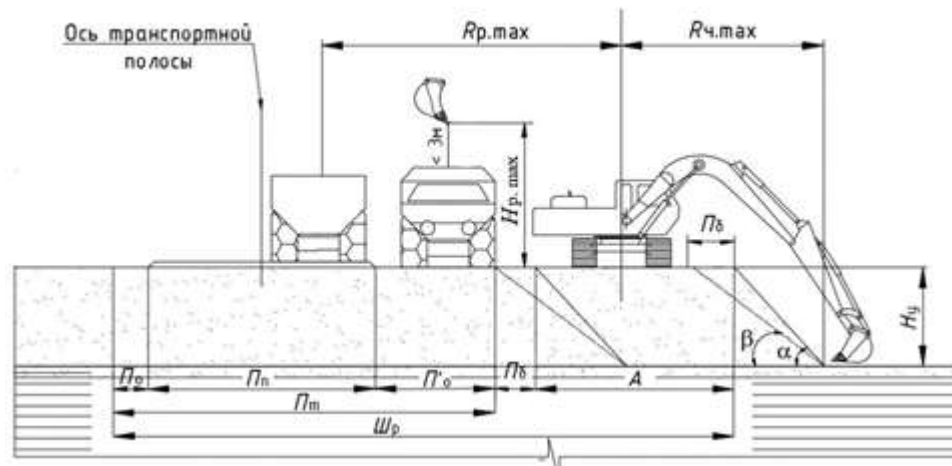


Рисунок 3.16 – Расчет ширины рабочей площадки при использовании гидравлических экскаваторов с нижним черпанием

Для обратной лопаты при нижнем черпании формула аналогична (рисунок 3.16), только ширина заходки определяется по формуле 3.25:

$$A \leq (R_ч + R_p) - (C + H_y \cdot \text{ctg}\alpha), \text{ м}, \quad (3.25)$$

где $R_ч$ – рабочий радиус черпания экскаватора, м; R_p – рабочий радиус разгрузки экскаватора, м; C – минимальное расстояние от оси транспортного средства до полосы безопасности, м; H_y – глубина черпания, м.

Ширина рабочей площадки устанавливается проектом индивидуально, следовательно, для каждого месторождения или участка горных работ данный параметр может изменяться в определенных пределах и во времени. В силу дискретности данного параметра, возникает возможность работы с переменной шириной рабочей площадки. В соответствии с этим при использовании машин одного типоразмерного ряда можно достичь одинаковых параметров работы, но при этом иметь меньшую ширину рабочей площадки, сохраняя все необходимые показатели забоя и не снижая производительности карьера.

3.5 Уточнение метода определения минимальной ширины рабочей площадки

Одним из основных условий нормальной работы современного карьера является обеспечение безопасности на производстве. Увеличение габаритов горнодобывающей техники приводит к повышению вероятности аварийных ситуаций на производстве. Для снижения данной тенденции необходимо, чтобы работы выполнялись согласно проекту ведения горных работ. Минимальная ширина рабочих площадок определяется в соответствии с расстановкой выемочно-погрузочного оборудования и схемой подъезда автосамосвалов под погрузку [52] и определяется по формуле (3.26):

$$B = A + b_a + 2C + z, \text{ м}, \quad (3.26)$$

где A – ширина заходки, м; b_a – ширина автосамосвала, м; C – безопасное расстояние, м; z – ширина призмы возможного обрушения, м.

Ширина рабочей площадки должна обеспечивать возможность производительной работы выемочного и транспортного оборудования.

Для конкретных производственных ситуаций указан необходимый набор элементов, определяющих значения ширины рабочей площадки в зоне действующего карьера. Минимальные размеры ширины рабочей площадки определяются в зависимости от технических параметров оборудования используемого технологического комплекса (экскаватор – автосамосвал). При определении минимальной ширины рабочей площадки с использованием гидравлических экскаваторов типа обратная лопата необходимо учитывать преимущества данного оборудования.

Существует несколько видов технологических схем [2, 54, 71] по которым ведется открытая разработка месторождений полезных ископаемых при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата. В ходе исследования были выявлены три основные схемы [62]. При использовании первой схемы (рисунок 3.17 а), гидравлический экскаватор располагается на кровле добычного уступа и осуществляет работу при помощи нижнего черпания. При работе по второй схеме (рисунок 3.17 б), экскаватор располагается на нижней площадке уступа, наполнение ковша производится верхним черпанием.

Существует и третий вид ведения горных работ (рисунок 3.17 в), который можно считать комбинированным, экскаватор располагается на подступе, сочетая преимущества верхнего и нижнего черпания.

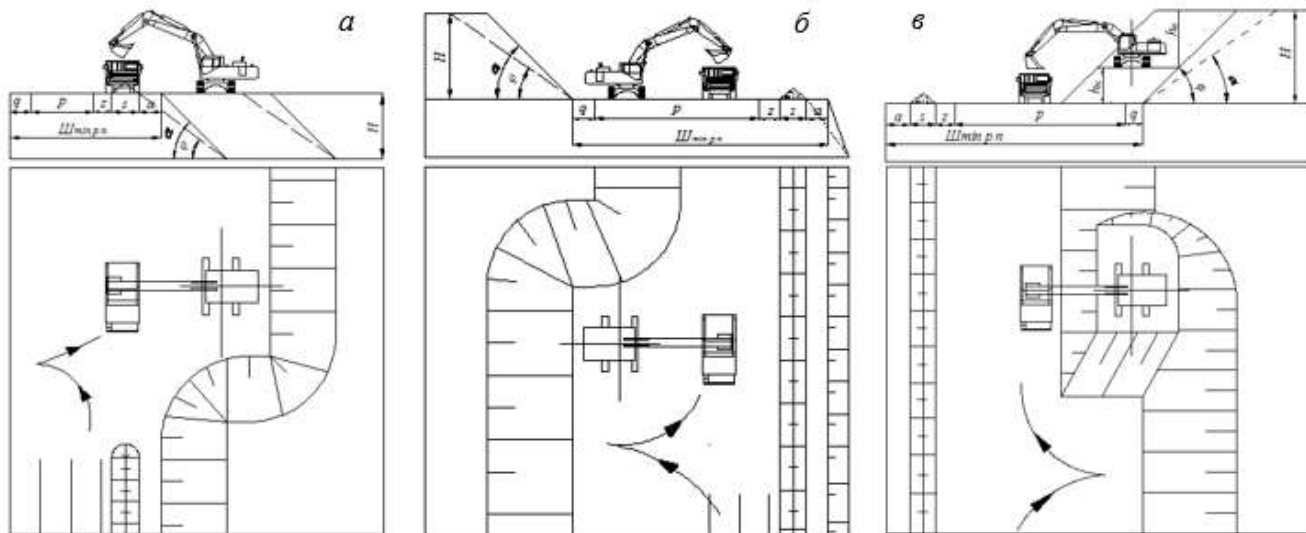


Рисунок 3.17 – Технологические схемы при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата

При определении ширины рабочей площадки используют метод представленный в книге [109]. Ширина рабочей площадки при автомобильном транспорте (по данным «Центрогипрошахта») $Ш_{р.п.}$ (м) определяется по формуле 3.27:

$$Ш_{р.п.} = A + C_2 + E + П_1 + c_1 + b_n, \text{ м}, \quad (3.27)$$

где A – ширина заходки экскаватора, м; C_2 – расстояние от оси дороги до нижней бровки уступа или развала, м; E – расстояние между осями движения на двухполосной автодороге, м; $П_1$ – полоса для размещения дополнительного оборудования, м; c_1 – расстояние между полосой для размещения дополнительного оборудования и полосой безопасности, м; b_n – ширина полосы безопасности, м (рисунок 3.18).

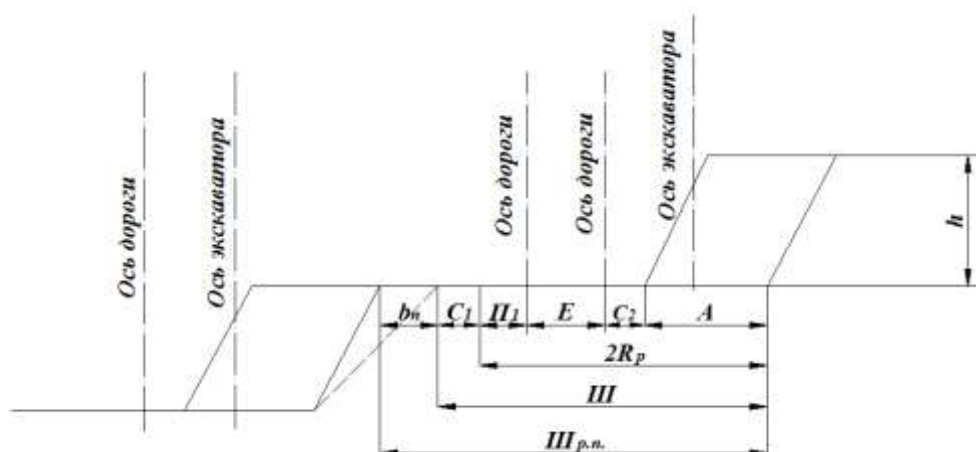


Рисунок 3.18 – Схема расчета рабочей площадки

Параметры составляющих ширины рабочей площадки приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры составляющих ширины рабочей площадки [109]

Экскаватор	c_2	E	Π_1	c_1
ЭКГ-5А; ЭКГ-4,6Б; ЭКГ-8И	3	4,5-5	3	3
ЭКГ-8И; ЭКГ-6,3Ус; ЭГ-12	3-4	5	3	3-3,5
ЭКГ-12,5; ЭКГ-15; ЭКГ-8Ус; ЭКГ-10Ус; ЭКГ-20	3,5-4	6-6,5	3	3,5-4,5

Принципиальное отличие в определении ширины рабочей площадки при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата является параметр A – ширина заходки экскаватора. Классический метод определения ширины заходки для тросовых экскаваторов $A=(1,5-1,7)R_{ч.у.}$. Для гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, при нижнем черпании, данный параметр определяется по формуле 3.28 [109]:

$$A=1,7(B_x+3)+I_{ч} \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м}, \quad (3.28)$$

где $R_{ч.у.}$ – радиус черпания на уровне стояния, м; B_x – ширина хода экскаватора, м; $I_{ч}$ – глубина нижнего черпания, м; α – угол откоса рабочего уступа, град.

Произведя все необходимые расчеты по формуле 3.21, получаем значение ширины рабочей площадки для гидравлического экскаватора типа обратная лопата САТ 6020В, при работе по определенным технологическим схемам (см. рисунок 3.18). Основные технические характеристики приведены в таблице 3.2:

а) САТ 6020В $\text{III}_{\text{р.п.}} = A + C_2 + E + \Pi_1 + c_1 + b_{\text{п}} = 39,4 \text{ м};$

б) САТ 6020В $\text{III}_{\text{р.п.}} = A + C_2 + E + \Pi_1 + c_1 + b_{\text{п}} = 45 \text{ м};$

в) САТ 6020В Ш_{р.п.} = A + C₂ + E + П₁ + с₁ + b_п = 39 м.

Определяем ширину рабочей площадки для тросового экскаватора типа прямая механическая лопата ЭКГ-12. Основные технические характеристики приведены в таблице 3.3.

ЭКГ-12 Ш_{р.п.} = A + C₂ + E + П₁ + с₁ + b_п = 42,3 м.

Таблица 3.2 – Основные технические характеристики гидравлических экскаваторов типа обратная лопата фирмы Caterpillar

Экскаватор	E, м ³	R _ч ^{max} , м	I _ч , м	R _р ^{max} , м	H _ч ^{max} , м	Масса, т	Ширина хода, м	Высота экскаватора, м	Радиус вращения кузова, R _к , м
6015В	8,1	13,9	7,9	11,5	13,2	140	7,52	4,6	5,18
6020В	12	15,9	8,1	12	13,9	224	7,85	5,68	6
6030	17	15,1	6,1	13,5	14,5	290	6,4	7,8	6,4
6040	22	17,7	7	15,8	16,8	397	8,1	7,9	7
6050	28	19,5	9,2	16	16,8	537	8,4	8,7	7,6
6060	34	18,9	8,9	16,1	15,9	570	8,7	8,7	7,6

Таблица 3.3 – Основные технические характеристики тросовых экскаваторов

Экскаватор	E, м ³	R _ч ^{max} , м	R _{ч.у.} , м	R _р ^{max} , м	H _ч ^{max} , м	Масса, т	Ширина хода, м	Высота экскаватора, м	Радиус вращения кузова, R _к , м
ЭКГ-5А	5	14,5	9,04	12,65	10,5	196	5	8,1	5,3
ЭКГ-8И	8	18,2	12,2	16,3	12,5	370	6,5	6,75	7,6
ЭКГ-10	10	18,4	12,6	16,3	13,5	395	6,5	14,6	7,8
ЭКГ-12	12	21	14,3	18,5	15	672	9	12	10
ЭКГ-15	15	22,6	15,6	20	16,4	672	8	15,4	10
ЭКГ-20	20	23,4	14,2	20,9	17	1040	10	12,6	10
ЭКГ-25	25	23,5	15,2	20,2	18	950	-	-	10
ЭКГ-30	30	24,5	16	21	18,5	1250	-	-	12,3
ЭКГ-35к	35	24	17	21	18,3	1030	11,5	15,5	10
ЭКГ-50	60	24	16,7	20	17	1550	14,7	15,2	10,9

Для эффективной работы выемочно-погрузочного оборудования и транспорта необходимо, чтобы выполнялось условие возможности работы

каждого звена (экскаватор – автосамосвал).

При расчете минимальной ширины рабочей площадки [52, 55, 64] учитывающего параметры автотранспорта для гидравлических экскаваторов типа обратная лопата по формуле 3.29 стоит отметить, что данное оборудование может работать по разным технологическим схемам (рисунок 3.19):

$$Ш_{p.n \min} = R_a + 0,5(L_a + B_a) + 2q + z + s + a, \text{ м}, \quad (3.29)$$

где R_a – минимальный радиус разворота автосамосвала, м; L_a , B_a – длина и ширина автосамосвала, м; q – безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки уступа, м; s – ширина удерживающего грунтового вала, м; z – расстояние от подошвы грунтового вала до кромки проезжей части, м; a – ширина призмы возможного обрушения рабочего уступа, м.

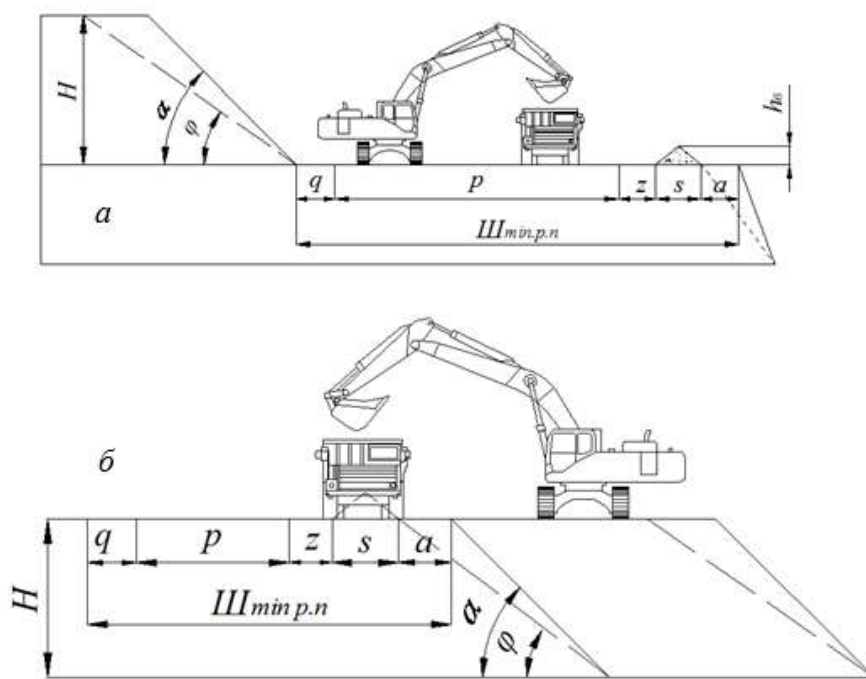


Рисунок 3.19 – Расчет минимальной ширины рабочей площадки по схемам, а и б

Численные значения составляющих минимальной рабочей площадки и источники их получения приведены в таблице 3.4 [37, 110].

Таблица 3.4 – Численные значения составляющих минимальной рабочей площадки и источники их получения

Параметры элементов	Обозначение	Примечание	Значение
Минимальный радиус разворота автосамосвала	R_a	Эксплуатационные характеристики БелАЗ-75135	13
Длина автосамосвала	L_a	Эксплуатационные характеристики БелАЗ-75135	11,5
Ширина автосамосвала	B_a	Эксплуатационные характеристики БелАЗ-75135	6,4
Безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки уступа	q	СН 449-72, п. 6.8	1,5
Ширина удерживающего грунтового вала	s	СП 37.13330.2012, п. 7.103	3,5
Ширина призмы возможного обрушения	a	$A = h (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \alpha)$ (0,1-0,15) h	2
Расстояние от подошвы грунтового вала до кромки проезжей части	z	СП 37.13330.2012, п. 7.5.1	0,5

По формуле (3.29) были произведены необходимые расчеты минимальной ширины рабочей площадки для автосамосвала БелАЗ-75135 по двум технологическим схемам: $Ш_{p.n.min} = 31$ м.

Расчетная схема к определению размеров минимальной рабочей площадки, учитывающая параметры автосамосвала [119] приведена на рисунке 3.20, результаты расчета – в таблице 3.5:

$$Ш_{min p.n} = a + s + z + p + q, \text{ м}, \quad (3.30)$$

где a – ширина призмы возможного обрушения рабочего уступа; s – ширина удерживающего грунтового вала; z – расстояние от подошвы удерживающего грунтового вала до кромки проезжей части автодороги; p – ширина площадки для маневров автосамосвалов при подаче под погрузку; q – безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки уступа.

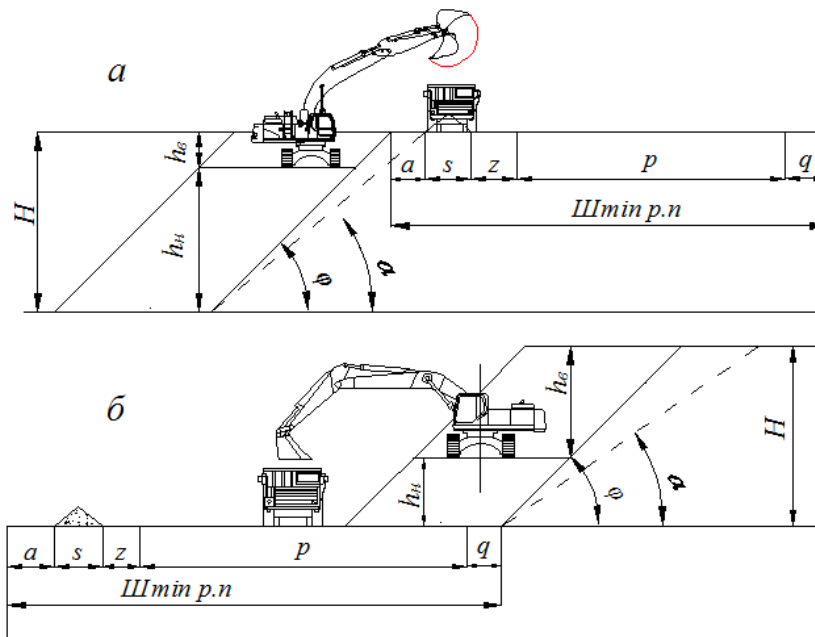


Рисунок 3.20 – Определение минимальной ширины рабочей площадки при использовании комбинированной схемы для ЭГО: а – погрузка в автотранспорт выше уровня стояния;
б – погрузка в автотранспорт ниже уровня стояния

Таблица 3.5 – Численные значения элементов минимальной рабочей площадки и источники их получения

№ п/п	Наименование элементов	Ед. изм.	Обозначение	Величина	Примечание	Значение
1	Ширина призмы возможного обрушения	м	a	1,5-2,0	$(0,1 - 0,15) h$ $A = h (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \alpha)$	2
2	Безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки уступа	м	q	0,5-1,5	СН 449-72, п.6.8	1,5
3	Ширина площадки для маневров автосамосвалов при подаче под погрузку	м	p	Определяется расчетом	$1,5 \cdot R_{\text{нпк}} + B$, где $R_{\text{нпк}}$ – радиус поворота по колее наружного переднего колеса. B – величина переднего свеса	22,4
4	Ширина удерживающего грунтового вала	м	s	3,3	СП 37.13330.2012, п. 7.103	3,5
5	Расстояние от подошвы грунтового вала до кромки проезжей части автодороги	м	z	0,5	СП 37.13330.2012, п. 7.5.1	0,5

По формуле (3.30) были произведены необходимые расчеты минимальной ширины рабочей площадки для автосамосвала БелАЗ-75135 по двум технологическим схемам: $\text{Ш}_{\text{р.п. min}} = 30 \text{ м}$.

В ходе проведения расчетов были получены значения минимальной ширины рабочей площадки, основанные на параметрах применяемого автотранспорта и параметрах экскаватора. Для эффективной работы системы (экскаватор – автосамосвал), необходимо, чтобы параметры экскаватора были определяющими при сокращении размеров ширины рабочей площадки.

При использовании комбинированной схемы разработки ЭГО ведет работу, как нижним, так и верхним черпанием, с погрузкой в автотранспорт на вышележащий горизонт (см. рисунок 3.20 а). Эта схема имеет ряд преимуществ: эффективное использование ЭГО, уменьшение дальности транспортирования горной массы.

Отличительной особенностью ведения горных работ при помощи гидравлических экскаваторов типа обратная лопата с нижним черпанием и при комбинированной схеме копания, является возможность размещения транспортного оборудования на уровне стояния экскаватора или на вышележащем горизонте соответственно. Данный момент позволяет уменьшить дальность транспортирования горной массы и снизить себестоимость.

Длина участка трассы на одном уступе складывается из длины на руководящем подъеме, длины примыкания на смягченном подъеме и длины примыкания на горизонтальной площадке (рисунок 3.21).

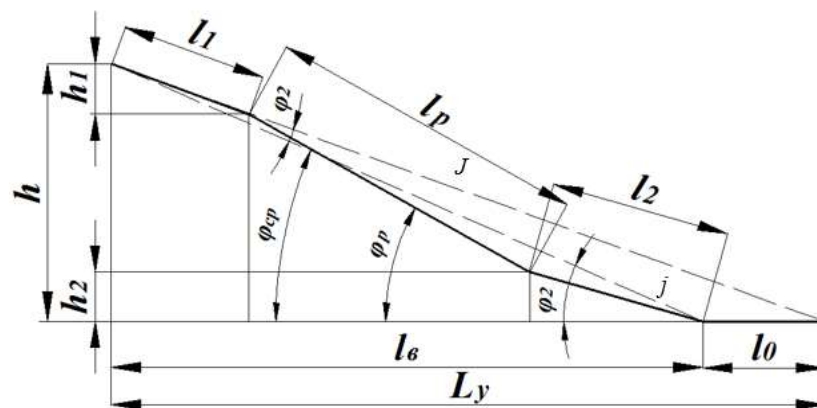


Рисунок 3.21 – Составные элементы участка трассы на одном уступе

Длина участка примыкания при автотранспорте зависит от радиуса разворота автосамосвала, ширины транспортной площадки и находится в пределах 40-60 м [115].

Длина трассы L определяется разностью высотных отметок заданных точек $(H - H_a - H_b)$, через которые она проходит, и величиной J среднего уклона трассы:

$$L = \frac{H_a - H_b}{J} = \frac{H}{J}, \text{ м}, \quad (3.31)$$

где l_1 – длина верхнего участка траншеи со смягченным подъемом, м;

l_2 – длина нижнего участка траншеи со смягченным подъемом, м;

l_p – длина участка с направляющим подъемом, м;

i – уклон теоретического среднего пути;

l_0 – длина площадки примыкания, м.

При малых углах наклона значения синусов близки к величине тангенсов углов, соответственно:

$$i = \frac{h}{l_g}; \quad J = \frac{h}{L_y}. \quad (3.32)$$

Длина участка трассы на одном уступе вместе с длиной площадки примыкания будет равна:

$$L_y = l_g + l_0, \text{ м}. \quad (3.33)$$

Длина наклонных отрезков трассы между двумя смежными горизонтами при высоте уступа 10-15 м обычно составляет 190-200 м для автомобильного транспорта [115].

В ходе исследования были получены расчетные значения ширины рабочей площадки: для экскаватора типа прямая механическая лопата модели ЭКГ-12 $Ш_{min p.n.} = 42,3$ м, и минимальной ширины рабочей площадки для ЭГО модели САТ 6020В $Ш_{min p.n.} = 39$ м.

Снижение размеров минимальной ширины рабочей площадки на 3,3 м или на 8 % (рисунок 3.22), позволяет сократить объемы удаляемой вскрыши на $\Delta V = 1069200 \text{ м}^3$ при глубине карьера на конец отработки $H = 180$ м.

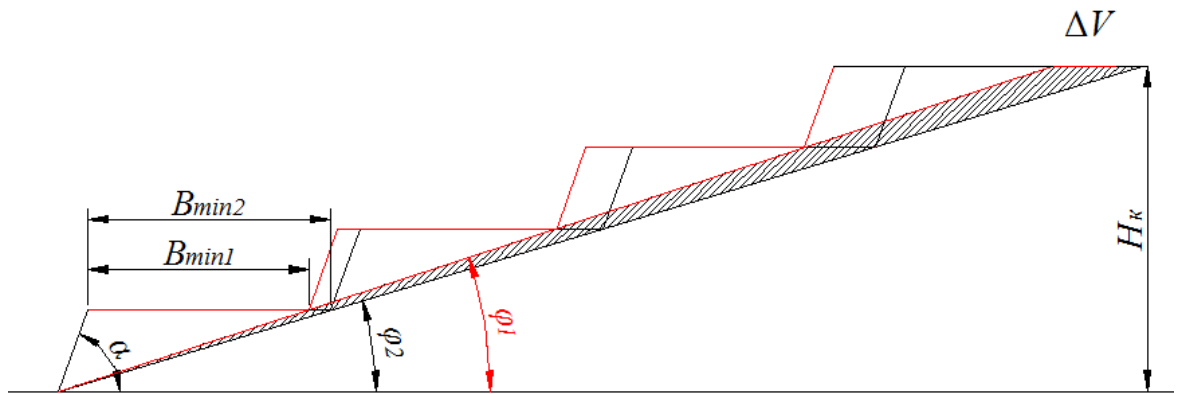


Рисунок 3.22 – Влияние ширины рабочих площадок на величину удаляемых объемов вскрышных пород

Уменьшение минимальной ширины рабочей площадки на 8% при использовании ЭГО позволяет сократить эксплуатационный коэффициент вскрыши $\Delta k_{эк} = 0,62 \text{ м}^3/\text{м}^3$ или на 10 %.

Возможность сокращения минимальной ширины рабочей площадки для горнотехнических условий глубоких карьеров, обуславливает развитие методов управления и стабилизации эксплуатационного коэффициента вскрыши.

3.6 Использование программы для ЭВМ при расчете ширины рабочей площадки в углубочных системах разработки

В ходе исследования было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617003 «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки».

Алгоритм программы «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки» предназначен для вычисления рациональной ширины рабочей площадки, учитывая среднеэксплуатационный коэффициент вскрыши. Обычно усреднение достигается варьированием во времени угла наклона рабочего борта карьера за счет соответствующего изменения ширины рабочих площадок, которые влияют на объем извлекаемых вскрышных пород. Уменьшение объемов вскрышных работ позволит горному предприятию уменьшить переменные затраты, себестоимость добычи полезного ископаемого, а также повысить рентабельность отработки месторождения [66].

Программа может применяться в вузах при выполнении курсового и дипломного проектирования, при выполнении расчетно-графических работ аспирантов, для исследовательских целей.

Алгоритм программы «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки» (рисунок 3.23) обеспечивает выполнение следующих функций:

- вычисление площади фигуры, которая ограничена рабочей площадкой, откосом уступа и рабочим бортом карьера;
- вычисление ширины рабочей площадки на различных глубинах.

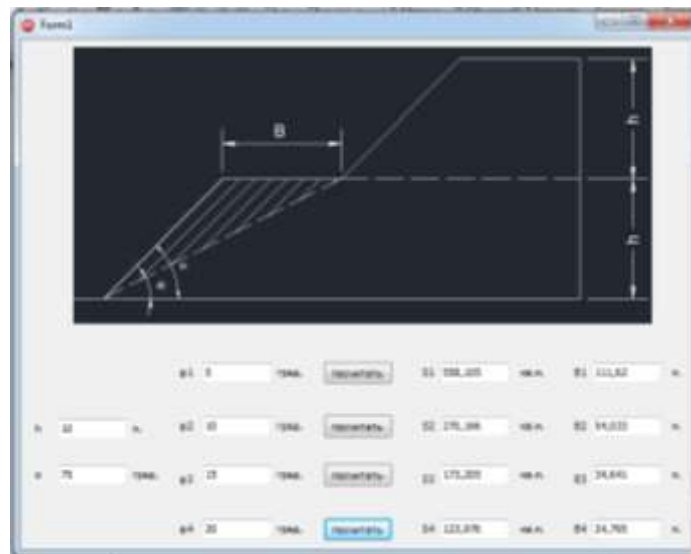


Рисунок 3.23 – Окно программы «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки»

Данная программа учитывает площадь фигуры, которая ограничена верхней и нижней рабочей площадкой, откосом уступа и рабочим бортом карьера (S), основные показатели приведены в таблице 3.6.

Для определения площади (S) необходимо произвести следующие расчеты:

$$S = \int_0^h \frac{y}{\operatorname{tg} \varphi} dy - \int_0^h \frac{y}{\operatorname{tg} \alpha} dy = \frac{1}{2} h^2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \frac{1}{2} h^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м}^2. \quad (3.34)$$

Из выражения (3.34) можно определить котангенс угла откоса рабочего борта:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \frac{(2S + h^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha)}{h^2}. \quad (3.35)$$

Произведя необходимые преобразования, находим ширину рабочей площадки:

$$B = h \left(\frac{(2S + h^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha)}{h^2} \right) - \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м.} \quad (3.36)$$

Основные элементы для определения ширины рабочей площадки приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Расшифровки показателей

Наименование показателя	Единицы измерения	Обозначение
Высота уступа	м	h
Угол откоса рабочего уступа	град.	α
Угол откоса рабочего борта карьера	град.	φ
Площадь фигуры, которая ограничена рабочей площадкой, откосом уступа и рабочим бортом карьера	м ²	S
Ширина рабочей площадки	м	B

3.7 Выводы к главе 3

Одним из основных условий нормальной работы современного карьера является сохранение в течение всего периода его работы достаточной ширины рабочих площадок.

Проектные размеры рабочих площадок являются величинами расчетными, усредненными по длине фронта работ, регламентируется нормативными документами и устанавливается проектом индивидуально. В реальной практике ширина рабочих площадок по длине фронта варьируется вокруг средних значений, однако не должна быть меньше расчетной минимальной.

Стоит отметить, что недостаточно изученным остается вопрос, связанный с расчетом ширины рабочей площадки при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата. Учеными разработаны различные методы определения этого показателя, но все они основаны на опыте использования тросовых экскаваторов типа прямая механическая лопата. В то же время, нет общепринятой системы определения данного показателя при наличии необходимого набора расчетных элементов, также не учитывался способ подготовки нового горизонта к выемке.

Существует классическая система расчета ширины рабочей площадки, которая учитывает, в основном, параметры выемочно-погрузочного оборудования. В ходе исследования была разработана систематизация методов расчета ширины рабочей площадки, выделены основные параметры расчета и методы уменьшения развала горной массы.

Предложены способы минимизации ширины развала горной массы при использовании буровзрывного способа подготовки пород к выемке.

Предложены методы организации работы гидравлических экскаваторов, обеспечивающие повышение эксплуатационной производительности.

При использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата существует возможность уменьшения дальности транспортирования горной массы.

При использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата уменьшается минимальная ширина рабочей площадки по сравнению с экскаваторами другого типа.

В ходе исследования получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017617003 «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки» от 21.06.2017 г.

ГЛАВА 4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МЕТОДА УСРЕДНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ

4.1 Общие сведения

В главе 2 были проанализированы существующие методы горно-геометрического анализа карьерных полей, из них были выделены основные методы, выявлены недостатки существующих методов и предложен способ увеличения точности результатов исследования.

Внедрение ЭВМ в деятельность действующих предприятий и проектных организаций для описания и расчетов всего производственного цикла: от геологоразведки и трехмерного моделирования месторождений полезных ископаемых до контроля над горным производством, планирования и управления параметрами функционирования карьера, привело к значительному развитию открытых горных работ, упрощению, ускорению и облегчению расчетов. В Российской Федерации широкое распространение получили такие программные комплексы планирования и проектирования горных работ, как: «Surpac» и «Gemcom» (принадлежат французской компании Dassault Systèmes), «Micromine» (Австралия), «Datamine» (Великобритания) и другие.

На крупных предприятиях существуют специализированные отделы, использующие современные программные продукты для моделирования разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом [73]. Однако в небольших компаниях и при индивидуальном исследовании современного состояния открытых горных работ, не всегда возможно применение данных программ. Большинство программ разработаны под конкретное предприятие, некоторые из них не получили широкого распространения.

Основным методом изучения открытых горных работ остается горно-геометрический анализ карьерных полей, фундаментальные основы которого были заложены В.В. Ржевским [91, 94] и А.И. Арсентьевым [12, 13].

В процессе развития техники и технологии современного народного хозяйства широкое применение получили компьютеры, которые применяются в повседневной жизни и в условиях производства. Использование ЭВМ при горно-геометрическом анализе карьеров позволяет минимизировать человеческий фактор в расчете и получить более точные результаты.

Главные задачи данной главы диссертационной работы:

- исследовать взаимосвязи режима горных работ и эксплуатационного коэффициента вскрыши;
- выявить основные закономерности этих взаимосвязей;
- создание метода усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на основе математического моделирования;
- разработка метода управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата (ЭГО);

Объекты исследования: режим горных работ, эксплуатационный коэффициент вскрыши, ширина рабочей площадки, угол откоса рабочего борта карьера.

4.2 Основные закономерности режима горных работ и эксплуатационного коэффициента вскрыши

Результаты горно-геометрического анализа карьера служат основой для выбора режима горных работ. Под режимом горных работ понимают последовательность выполнения вскрышных и добычных работ в границах карьерного поля за весь или длительный период работы карьера [93]. Одним из основных факторов эффективной работы современного карьера является рациональный режим горных работ. Режим горных работ характеризуется производительностью по полезному ископаемому и эксплуатационным коэффициентом вскрыши. Данные показатели определяют типы и количество горного оборудования, применяемого в карьере, затраты на производство и доходы от реализации продукции.

Опыт горнодобывающих предприятий и проектных организаций показывает, что при заданной производительности карьера по полезному ископаемому основным инструментом управления режимом горных работ является варьирование коэффициента вскрыши. В большинстве случаев графическое выражение режима вскрышных работ представляет собой ломаную линию. При разработке крутопадающих месторождений или месторождений с гористым рельефом график вскрышных работ в начале отработки месторождения имеет восходящий период, при достижении максимальной точки появляется точка перегиба, в окончании отработки график имеет нисходящий период.

Выбор рационального режима горных работ является сложной задачей, многие ученые занимались исследованием данного вопроса, в их работах обосновываются рациональные варианты распределения объемов горных работ при наличии определенных критериев оценки:

1. Равномерный режим горных работ: В.В. Ржевский [91, 94] и К.Н. Трубецкой [106] в своих трудах установили, что стабилизация объемов вскрышных работ достигается за счет уменьшения объемов добычи полезного ископаемого в момент интенсивного роста объемов вскрышных работ;

2. В.С. Хохряков [121, 122] в своих трудах выявил, что для достижения рационального режима горных работ при этапной разработке крупных карьеров коэффициенты вскрыши должны последовательно увеличиваться для каждого периода. На протяжении всей эксплуатации месторождения увеличивается или стабилизируется производительность карьера;

3. Перенос пиковых объемов на более ранний период эксплуатации карьера: В.В. Истомин [46] предложил достигать усреднения за счет равномерного распределения объемов вскрышных работ и производить опережение в первые периоды отработки карьера;

4. Перенос пиковых объемов вскрышных работ на более поздний период эксплуатации: А.И. Арсентьев [22, 23] доказал, что для достижения рационального режима горных работ, часть пиковых объемов вскрышных работ целесообразно производить в более поздний период эксплуатации;

5. Изменение углов откосов рабочего борта в различные периоды работы карьера может обеспечить постоянное значение добычных работ: Г.А. Холодняков [116, 117] установил, что при разработке комплексных месторождений необходимо производить усреднение объемов вскрышных работ и объемов всех видов добываемых полезных ископаемых на протяжении определенных этапов.

При выборе режима горных работ чаще всего применяются регулируемые параметры системы разработки: длина фронта горных работ, ширина рабочих площадок, высота уступа.

Не всегда возможно одновременно увеличить производительность карьера по полезному ископаемому и уменьшить объемы вскрышных пород [29]. Чаще всего увеличение производительности карьера по полезному ископаемому влечет за собой увеличение объемов вскрышных пород, а уменьшение коэффициента вскрыши может привести к уменьшению производительности карьера по полезному ископаемому, которая часто является усредненной величиной. Для обеспечения эффективной работы горно-обогачительных комбинатов необходима постоянная производительность карьера по полезному ископаемому [26].

Обычно для минимизации возможных затрат открытые горные работы развивают в направлении залегания рудного тела, выбирается такой режим горных работ, при котором выполняется условие постоянства качества добываемых руд на длительный период времени [27, 28].

В связи с этим исследования, направленные на стабилизацию режима горных работ за счет управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши, являются актуальными.

Одним из наиболее эффективных способов регулирования режима горных работ на крутопадающих месторождениях является изменение угла откоса рабочего борта [9, 48, 65]. Изменение ширины рабочей площадки позволяет варьировать угол рабочего борта, что в свою очередь позволяет подойти к методу управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

Изменение угла откоса рабочего борта карьера (φ) возможно в пределах двух крайних значений $\varphi_{\max}$ и $\varphi \rightarrow 0$ (рисунок 4.1). Данный метод был предложен профессором А.И. Арсентьевым [12] для наклонных и крутопадающих месторождений:

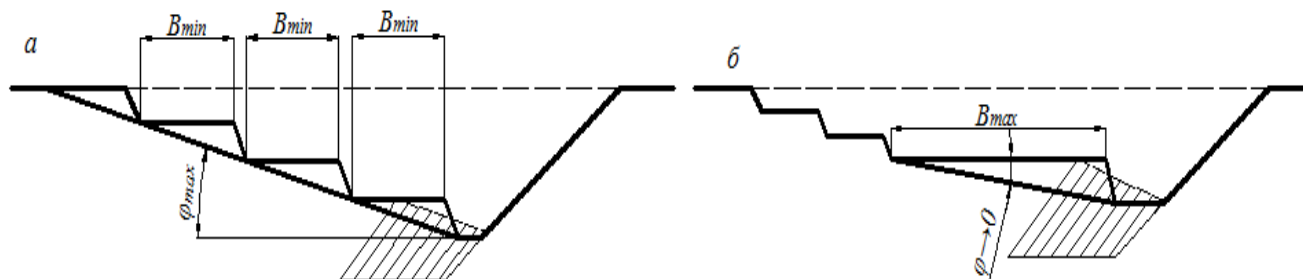


Рисунок 4.1. – Крайние возможные случаи отработки карьера

1. При минимальной ширине рабочей площадки ($Ш_{p.n.min}$) значение угла откоса рабочего борта карьера достигает своего максимально возможного значения ($\varphi_{\max}$). Критерии ограничения минимальной ширины рабочей площадки были проанализированы в главе 3.

2. При максимальном значении ширины рабочей площадки ($Ш_{p.n.max}$) значение угла откоса рабочего борта карьера стремится к нулю ($\varphi \rightarrow 0^\circ$).

Работа с минимальным углом откоса рабочего борта ($\varphi = 0^\circ$) возможна только при отработке пологих и горизонтальных месторождений. Основным критерием ограничения максимальной ширины рабочей площадки является невозможность работы на крутопадающих и наклонных месторождениях при $\varphi = 0^\circ$, так как работы проводятся только на одном рабочем уступе до полной его отработки, затем происходит переход на заранее подготовленный нижележащий уступ. При данном способе горные работы ведутся практически послойно. В диссертационной работе Близнюковой О.Ю. [30] было отмечено, что работа по такой схеме практически не применяется на действующих крутопадающих месторождениях.

Для достижения равномерного режима горных работ при установленной производительности по полезному ископаемому, основным способом усреднения

объемов вскрышных работ является перераспределение во времени их пиковых значений [65, 118]. Данный метод может осуществляться по двум основным вариантам. Перенос пиковых объемов на более ранний период (рисунок 4.2 а) и перенос пиковых объемов на более поздний период работы карьера (рисунок 4.2 б).

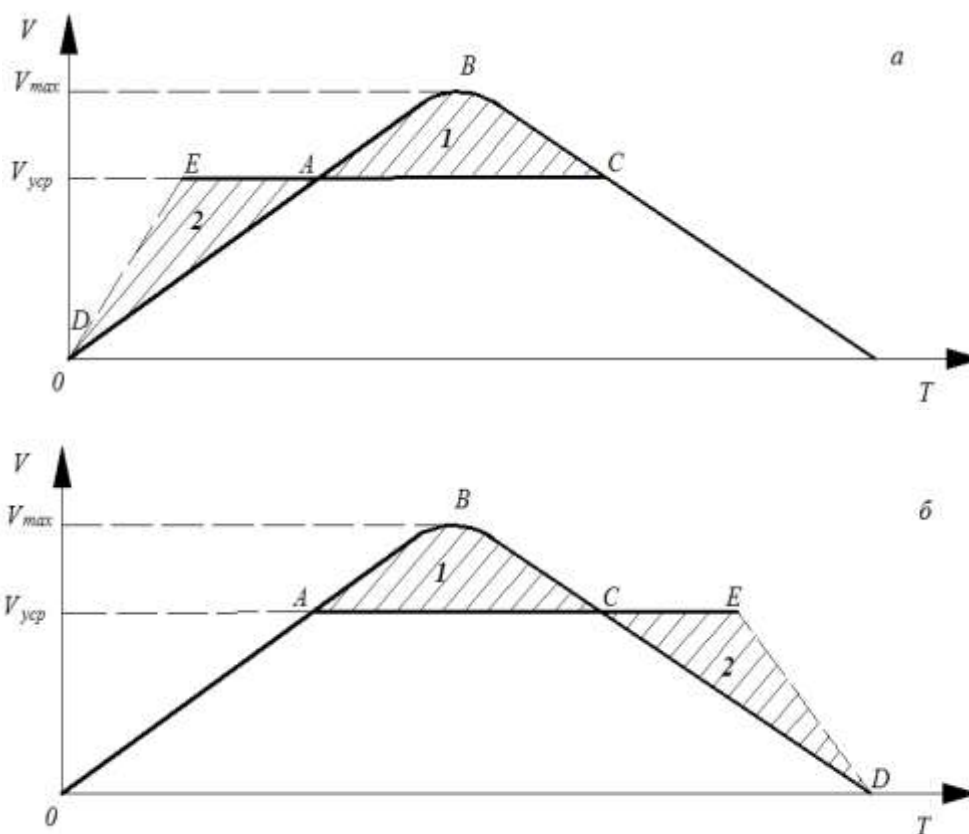


Рисунок 4.2 – Перенос пиковых объемов вскрышных пород: а – на более ранний период, б – на более поздний период отработки месторождения

При условии равенства площадей фигур 1 и 2, смысл усреднения объемов вскрышных пород заключается в том, что в определенные годы эксплуатации карьера создается опережающее удаление вскрышных пород в более ранний (рисунок 4.2 а) период или перенос этих объемов на более поздний период отработки (рисунок 4.2 б).

Многие ученые предлагают производить выбор рационального режима горных работ при помощи варьирования коэффициента вскрыши. В главе 2 были проанализированы и систематизированы различные виды коэффициентов вскрыши. Особое внимание было уделено текущему и эксплуатационному коэффициентам вскрыши. Получается, что это один и тот же коэффициент

вскрыши (КВ), но представленный двумя разновидностями. Принципиальное различие заключается в том, что эксплуатационный КВ – расчетный, а текущий – фактический. Термин «текущий» не раскрывает всю сущность и смысл понятия, а лишь только дает его характеристику. Значительно точнее этот коэффициент вскрыши определяется как «эксплуатационный», по предложению А.И. Арсентьева. Данное определение отражает и раскрывает производственную сущность процесса.

В природе не существует двух одинаковых месторождений, более того, даже при исследовании одного карьера, в зависимости от порядка развития фронта работ и выбранных параметров системы разработки, формы графиков будет различны. Исходя из этого невозможно создать типовой подход к описанию поведения эксплуатационного коэффициента вскрыши, однако можно выделять ряд зависимостей, которые совершенствуют исследование данного показателя.

Зависимость угла откоса рабочего борта от ширины рабочей площадки является детерминированной и может быть представлена графиком $\varphi = f(\text{Ш}_{\text{р.п.}})$ при эталонных значениях (рисунок 4.3).

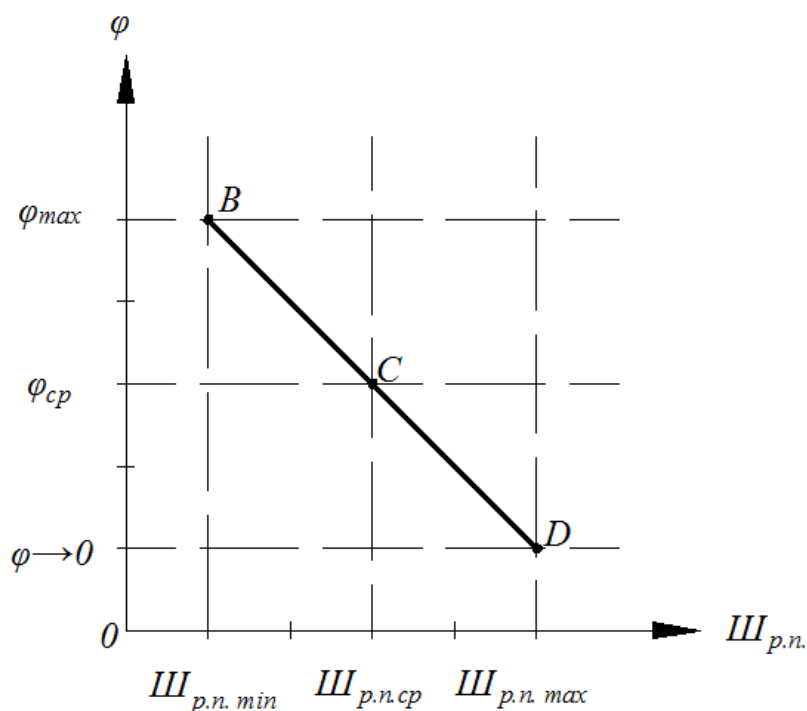


Рисунок 4.3 – График зависимости угла откоса рабочего борта от ширины рабочей площадки

Безусловно, данный график (рисунок 4.3) является идеализированной и слабо-ориентированной моделью поведения зависимости, при изменении параметров системы разработки, будет меняться и сам график. Стоит отметить, что для каждого месторождения поведение графика будет индивидуальным. Однако форма графика показывает общую картину развития горных работ.

Из графика на рисунке 4.3 видно, что отрезок BD определяет зависимость угла откоса рабочего борта карьера от ширины рабочей площадки в нормальных условиях. Нормальными условиями считается работа карьера в пределах двух крайних значениях ширины рабочей площадки. Точка В служит ограничением минимальной ширины рабочей площадки при максимальном угле откоса. Точка С является усредненным значением ширины рабочей площадки и угла откоса рабочего борта. Точка D представляет собой ограничение максимальной ширины рабочей площадки при минимальном угле откоса рабочего борта. Значение максимально допустимого угла откоса рабочего борта $\varphi_{\max}$ определяется формулой (4.1):

$$\operatorname{tg} \varphi_{\max} = \frac{h}{h \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_{\min}}, \quad (4.1)$$

где h – высота уступа; α – угол откоса рабочего уступа; $B_{\min}$ – минимально допустимая ширина рабочей площадки.

На основе анализа зависимости угла откоса рабочего борта от ширины рабочей площадки можно перейти к изучению зависимости эксплуатационного коэффициента вскрыши от угла рабочего борта (рисунок 4.4 а) и ширины рабочей площадки (рисунок 4.4 б). На основе изучения данного параметра можно составить график зависимости $k_v = f(\varphi)$ эксплуатационного коэффициента вскрыши от угла откоса рабочего борта карьера; $k_v = f(Ш_{p.n.})$ эксплуатационного коэффициента вскрыши от ширины рабочей площадки.

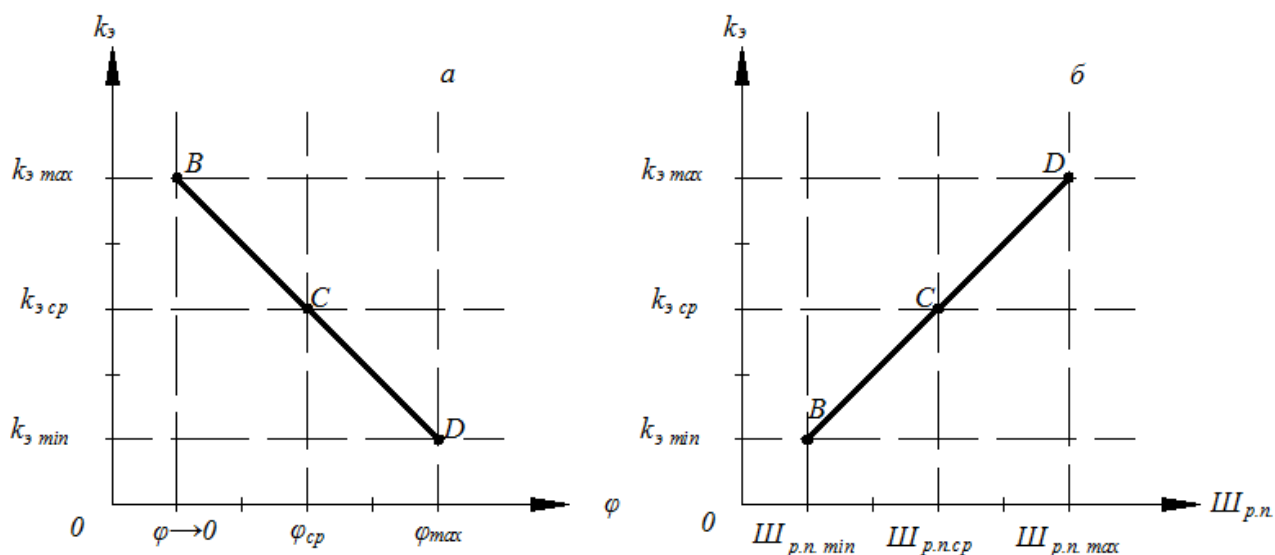


Рисунок 4.4 – График зависимости эксплуатационного коэффициента вскрыши от:

а – $k_э = f(\varphi)$ угла откоса рабочего борта карьера;

б – $k_э = f(Ш_{р.н.})$ ширины рабочей площадки

Отрезок BD (рисунок 4.4 а, б) определяет зависимость эксплуатационного коэффициента вскрыши от угла откоса рабочего борта карьера или ширины рабочей площадки в нормальных условиях. Нормальными условиями считается работа карьера в пределах двух крайних значений угла откоса рабочего борта или ширины рабочей площадки. Точка В служит ограничением минимального угла откоса или максимальной ширины рабочей площадки. Точка С является усредненным значением угла откоса рабочего борта или ширины рабочей площадки. Точка D является критерием ограничения максимального угла или минимальной ширины рабочей площадки.

Вывод: главным технологическим показателем оценки режима горных работ служит эксплуатационный коэффициент вскрыши. Вследствие этого, грамотное управление эксплуатационным коэффициентом вскрыши позволит сократить экономические затраты и получить больший экономический эффект.

4.3 Создание метода усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на основании математического моделирования

Экономическая эффективность открытой разработки крутопадающих месторождений в значительной степени определяется выбором рационального

режима горных работ, что связано с проблемой усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши по периодам, соответствующим срокам амортизации горнотранспортного оборудования и сооружений [114].

Следует заметить, что авторы не всегда дают рекомендации при усреднении эксплуатационных коэффициентов вскрыши и воплощения выбранного режима горных работ в практическую деятельность карьера, чаще всего связанных с определением меняющейся ширины рабочей площадки на протяжении всего срока его существования.

Предлагаемый метод определения коэффициента вскрыши в процессе эксплуатации карьера производится в следующей последовательности.

На основании погоризонтных планов или геологических разрезов, учитывая направление развития горных работ, строят графики зависимости $V = f(P)$ нарастающих объемов вскрышных пород (V) от нарастающих объемов полезного ископаемого (P) при изменяющемся от минимального до максимальных значений углах откоса рабочего борта карьера (рисунок 4.5).

Для создания метода было предложено использовать условное месторождение. Конечная глубина карьера составляет 100 м, отработка ведется 10-метровыми уступами с углом откоса $\alpha = 70^\circ$, стабильная производительность карьера по полезному ископаемому $P = 1,57$ млн. м³. Угол откоса рабочего борта (φ) принимается в пределах от 5° до 20° с шагом 5° . Все значения нарастающих объемов вскрыши и полезного ископаемого при разработке с различными углами откоса рабочего борта карьера представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значения нарастающих объемов вскрыши и полезного ископаемого для различных углов откоса рабочего борта карьера

Горизонт	$\varphi=5^\circ$		$\varphi=10^\circ$		$\varphi=15^\circ$		$\varphi=20^\circ$	
	V, млн. м ³	P, млн. м ³	V, млн. м ³	P, млн. м ³	V, млн. м ³	P, млн. м ³	V, млн. м ³	P, млн. м ³
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6,3	1,2	4,4	1,1	3,9	1	3,6	0,9
2	13,3	2,8	10,3	2,7	7,3	2,6	6,3	2,5
3	23,3	4,4	17,3	4,3	13,3	4,2	10,3	4,1
4	35,3	6	25,3	5,9	20,3	5,8	16,3	5,7
5	44,3	7,6	36,3	7,5	28,3	7,4	23,3	7,3
6	54,3	9,2	46,3	9,1	33,3	8,3	31,3	8,9
7	62,3	10,8	56,3	10,7	48,3	10,6	40,3	10,5
8	70,3	12,4	65,3	12,3	58,3	12,2	49,3	12,1
9	77,3	14	73,3	13,9	67,3	13,8	60,3	13,7
10	84,3	15,7	84,3	15,7	84,3	15,7	84,3	15,7

На основании данных таблицы 4.1 строится график нарастающих объемов $V = f(P)$ для каждого угла откоса рабочего борта карьера (рисунок 4.5).

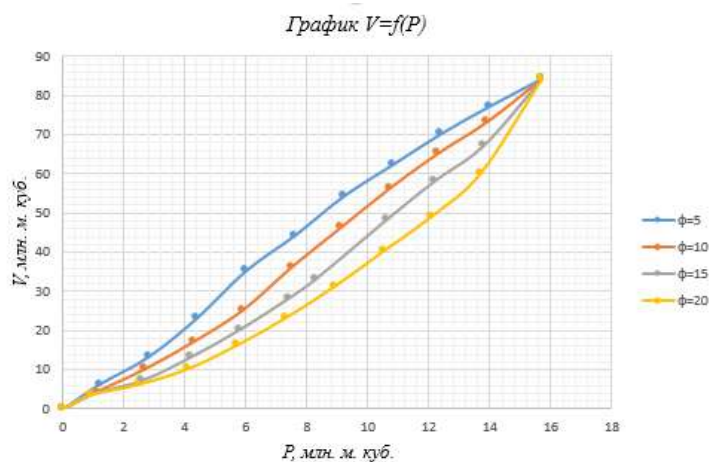


Рисунок 4.5 – Кумулятивный график $V=f(P)$ изменения нарастающих объемов вскрышных пород (V) от нарастающих объемов полезного ископаемого (P), при углах откосов рабочего борта карьера: $\varphi_1 = 5^\circ$, $\varphi_2 = 10^\circ$, $\varphi_3 = 15^\circ$, $\varphi_4 = 20^\circ$

Возможные случаи работы с постоянным эксплуатационным коэффициентом вскрыши могут быть выражены в пределах двух крайних значений $\varphi_{\min}$ и $\varphi_{\max}$.

Зная нарастающие объемы вскрышных пород и полезного ископаемого для каждого угла откоса рабочего борта (таблица 4.2), при помощи программы для ЭВМ получаем уравнения, которое описывает каждый угол откоса рабочего борта карьера.

Определяем уравнения для каждого угла (от $\varphi_{\min} = 5^\circ$, до $\varphi_{\max} = 20^\circ$).

Таблица 4.2 – Уравнения, описывающие угол откоса рабочего борта карьера для разных значений

№	Вид уравнения	Уравнение	Коэффициент детерминации
Угол откоса рабочего борта карьера $\varphi = 5^\circ$			
1	quadratic	$-0,0684603 x^2 + 6,60752 x - 1,68954$	0,99
$\varphi = 10^\circ$			
2	quadratic	$0,0624659 x^2 + 4,54482 x - 1,12557$	0,99
$\varphi = 15^\circ$			
3	quadratic	$0,183276 x^2 + 2,50397 x + 0,214529$	0,99
$\varphi = 20^\circ$			
4	quadratic	$0,281534 x^2 + 0,738268 x + 1,85262$	0,99
Уравнение прямой (линия усреднения)			
5	linear	$4,40146 x$	0,99

В ходе исследования были описаны уравнения для каждого угла откоса рабочего борта карьера. По критерию точности – коэффициенту детерминации – получаем значения уравнений для каждого угла в таблице 4.3.

В данном примере угол откоса рабочего борта описывается квадратным уравнением, имеющим различные индексы x . Метод удобен тем, что, можно получить различные виды уравнений. Тип уравнения в той или иной степени предопределяет трудность решения данной задачи.

Таблица 4.3 – Конечные уравнения, описывающие угол откоса рабочего борта карьера

Угол рабочего борта	Уравнение	Коэффициент детерминации
$\varphi_1=5^\circ$	$-0,0684603 x^2+6,60752 x-1,68954$	0,99
$\varphi_2=10^\circ$	$0,0624659 x^2+4,54482 x-1,12557$	0,99
$\varphi_3=15^\circ$	$0,183276 x^2+2,50397 x+0,214529$	0,99
$\varphi_4=20^\circ$	$0,281534 x^2+0,738268 x+1,85262$	0,99

Угол откоса рабочего борта карьера в данном случае описывает уравнение (4.2), которое имеет общий вид:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c. \quad (4.2)$$

Рациональному режиму горных работ будет соответствовать эксплуатация карьера в основной период по усредненному значению эксплуатационного коэффициента вскрыши. Прямая АВ, пересекающая все кривые угла откоса рабочего борта карьера, должна находиться в пределах двух крайних значений. Линия пересечения выходит из начала координат (случай, когда не учитывается первоначальный объем горно-капитальных работ) и стремится к кривой с максимальным углом откоса рабочего борта карьера в конечном положении, потому что в этот период обеспечивается стабильная работа карьера по вскрышным породам и полезному ископаемому при наименьшем коэффициенте вскрыши (рисунок 4.6). Точка В является конечным значением линии усреднения АВ, при достижении максимального угла откоса рабочего борта карьера нет необходимости усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши. Дальнейшее развитие карьера пойдет до точки С при $\varphi = \varphi_{\max}$.

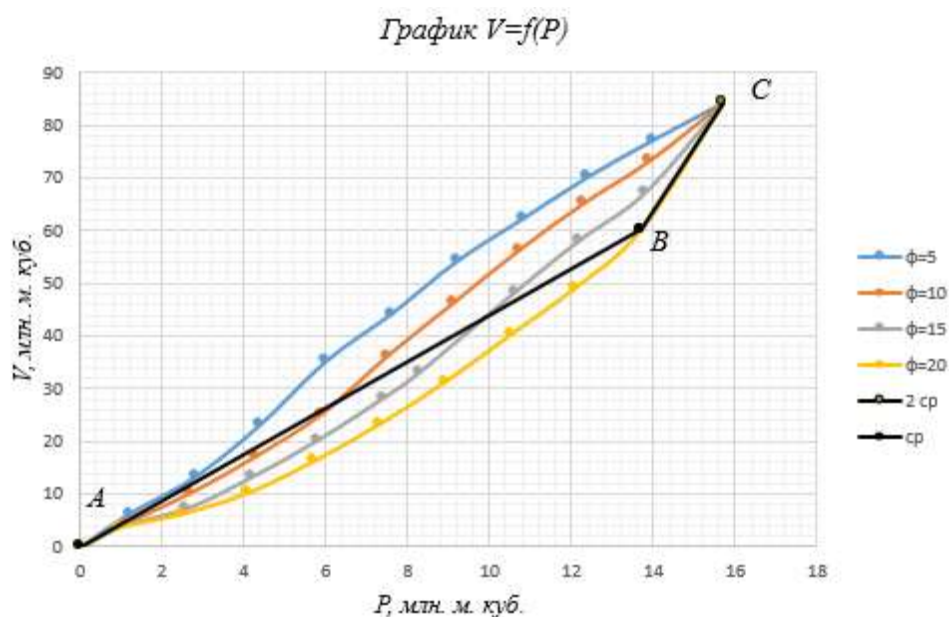


Рисунок 4.6 – Линия усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши

Главной задачей исследования является определение усредненного коэффициента вскрыши на каждом этапе работы карьера в режиме эксплуатации.

Общее уравнение линии усреднения (4.3), которая является прямой, имеет вид:

$$y = kx + b. \quad (4.3)$$

В данном случае прямая АВ выходит из нуля и имеет общий вид (4.4) (рисунок 4.6):

$$y = kx, \quad (4.4)$$

где k – эксплуатационный коэффициент вскрыши (угловой коэффициент) при $\phi_{\max}$: $k = \operatorname{tg} \gamma$, где γ угол наклона линии усреднения к кривой $V = f(P)$.

Не обязательно замерять угол наклона линии усреднения, к кривой $V = f(P)$ для определения эксплуатационного коэффициента вскрыши, необходимо произвести расчет значения $k = \Delta V / \Delta P$ в определенный период отработки карьера.

Уравнение $y = kx$, характеризующее усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши, определяется из $\phi_{\max}$, которое описывает предельное положение борта карьера на том или ином месторождении.

Значение углового коэффициента (см. таблицу 4.2) в данном случае равно $k = 4,40146$. Для всех кривых, при заданном угловом коэффициенте, необходимо

найти точки пересечения каждого угла откоса рабочего борта карьера с прямой усреднения.

Для этого необходимо решить систему уравнений (4.5):

$$\begin{cases} y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \\ y = k \cdot x \end{cases} \quad (4.5)$$

В результате находим корни, характеризующие постоянную производительность карьера по вскрышным породам и полезному ископаемому при изменяющихся углах откоса бортов карьера. Полученные значения заносим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Корни системы уравнения

	$\varphi_1 = 5^\circ$	$\varphi_2 = 10^\circ$	$\varphi_3 = 15^\circ$	$\varphi_4 = 20^\circ$
y/V	2,7	7,36	0,57	2,38
x/P	0,67	1,82	0,14	0,59

При классическом методе усреднения значения определяются визуально и не всегда значения определяются корректно, в таблице 4.5 приведены значения визуального определения данных показателей.

Таблица 4.5 – Средние значения V и P

	$\varphi_1 = 5^\circ$	$\varphi_2 = 10^\circ$	$\varphi_3 = 15^\circ$	$\varphi_4 = 20^\circ$
V	12,3	28,3	43,3	60,3
P	2,3	6,3	9,7	13,7

Стабилизация производительности происходит при пересечении линии усреднения каждой кривой, описывающей угол откоса рабочего борта карьера.

Усредненные значения эксплуатационного коэффициента вскрыши при разработанном методе заносим в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Значение коэффициента вскрыши (разработанный метод)

Угол рабочего борта	$\varphi_1 = 5^\circ$	$\varphi_2 = 10^\circ$	$\varphi_3 = 15^\circ$	$\varphi_4 = 20^\circ$
Коэффициент вскрыши	4,1	4,1	4,1	4,1

Усредненные значения эксплуатационного коэффициента вскрыши при классическом методе представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Значение коэффициента вскрыши (классический метод)

Угол рабочего борта	$\varphi_1 = 5^\circ$	$\varphi_2 = 10^\circ$	$\varphi_3 = 15^\circ$	$\varphi_4 = 20^\circ$
Коэффициент вскрыши	5,35	4,49	4,46	4,4

Проанализировав полученные результаты из таблицы 4.6, можно сделать вывод, что одинаковые значения эксплуатационного коэффициента вскрыши свидетельствует о том, что для определения усредненного коэффициента вскрыши необходимо решить систему уравнений только для кривой максимального угла откоса рабочего борта $\varphi = \varphi_{\max}$.

Рассчитав все необходимые показатели, можно определить ширину рабочей площадки по разработанной программе «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки» (рисунок 4.7).

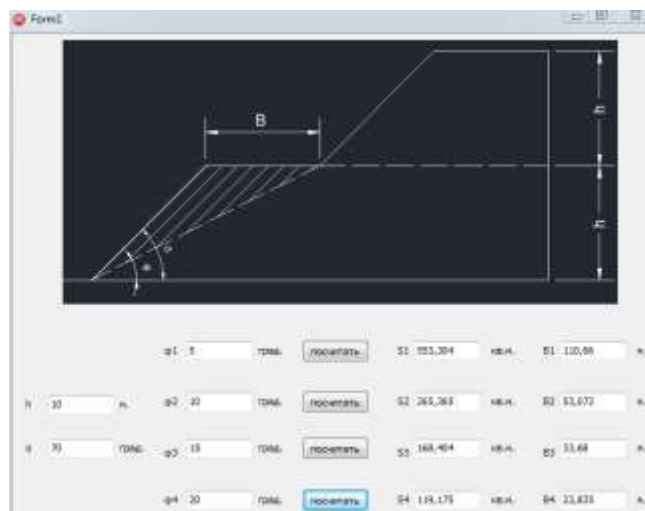


Рисунок 4.7 – Окно программы «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки»

Таким образом, усреднение годовых объемов вскрышных пород при разработке крутопадающих залежей вызывает необходимость работать с переменной шириной рабочих площадок.

Представленный метод позволяет усреднить эксплуатационный коэффициент вскрыши, определить необходимую ширину рабочих площадок на

любой момент эксплуатации карьера при переменном угле откоса рабочего борта, для обеспечения равномерного режима горных работ и определить площадь фигуры, которая ограничена рабочей площадкой, откосом уступа и рабочим бортом карьера.

4.4 Применение метода управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата на примере Кировогорского карьера

Кировогорское месторождение расположено в центральной части Кольского полуострова, в 16,5 км на запад от станции Оленегорск Октябрьской железной дороги, на территории Оленегорского района Мурманской области [34]. С 1978 г. месторождение эксплуатируется Оленегорским ГОКом (АО «Олкон») открытым способом.

Проектный контур имеет практически овальную форму с размерами 1450×1105 м, усредненный эксплуатационный коэффициент вскрыши равен $k_3=5,78$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$), объемы горной массы, подлежащей отработке за период 2008-2015 гг.: вскрышные породы $V = 9939$ тыс. м^3 , руда $P = 1716,6$ тыс. м^3 (рисунок 4.8).

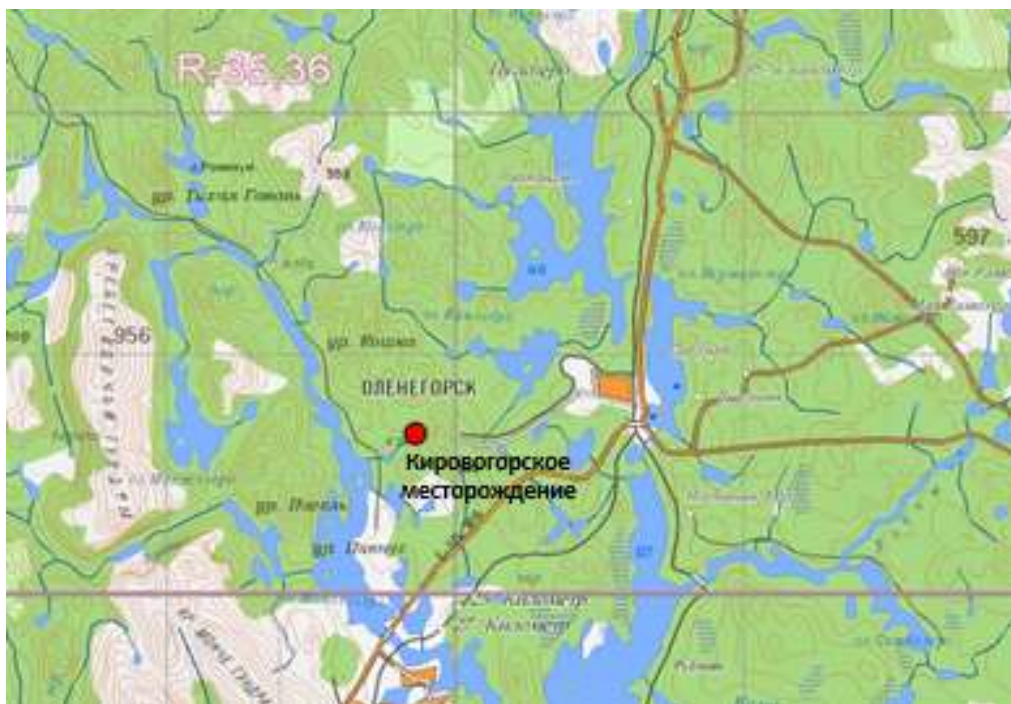


Рисунок 4.8 – Обзорная схема расположения Кировогорского месторождения

На данном месторождении произведена апробация разработанного метода усреднения и управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата.

При использовании гидравлических экскаваторов уменьшается общий объем вскрышных пород на $\Delta V = 1069200 \text{ м}^3$ при глубине карьера на конец отработки $H = 180 \text{ м}$. Суммарный объем вскрышных пород, в рассматриваемом варианте составит $V = 8869,8 \text{ тыс. м}^3$.

На основе геологического разреза (рисунок 4.9) была составлена таблица 4.8 нарастающих объемов вскрышных пород (V) и нарастающих объемов полезного ископаемого (P) [35, 68].

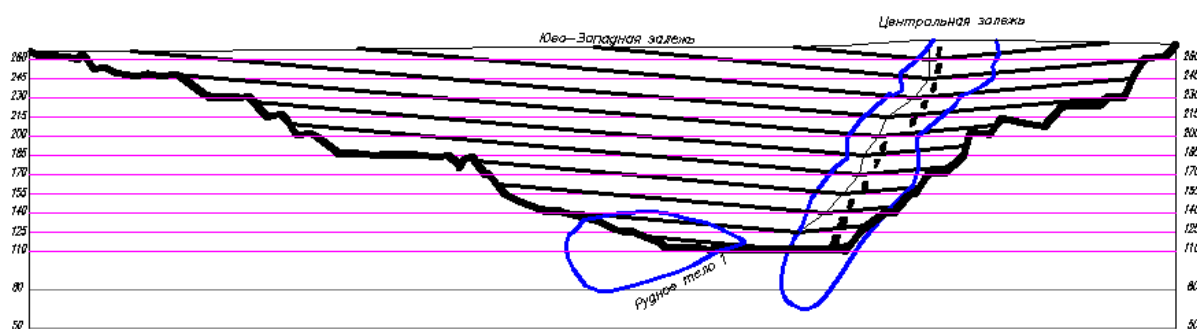


Рисунок 4.9 – Геологический разрез Кировогорского карьера

Таблица 4.8 – Значения нарастающих объемов вскрыши и полезного ископаемого для различных углов откоса рабочего борта карьера

	$\varphi=5^\circ$		$\varphi=10^\circ$		$\varphi=15^\circ$		$\varphi=20^\circ$	
Горизонт	V, тыс. м ³	P, тыс. м ³	V, тыс. м ³	P, тыс. м ³	V, тыс. м ³	P, тыс. м ³	V, тыс. м ³	P, тыс. м ³
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	600	106,2	82,8	87,6	48,6	67,8	34,8	52,2
2	1762	260,1	427,2	240	238,8	219	147,6	197,4
3	2814,7	404,2	1105,8	387,6	661,8	363	432	335,4
4	3905	537,6	2045,4	519,6	1335,6	495,6	902,4	460,2
5	5151,6	671,4	3149,4	660	2205	643,8	1523,4	623,4
6	6209,9	804,7	4405,8	781,8	3342,5	782	2355,8	766,1
7	7161,3	981,8	5646,6	911,4	4241,1	898	3471,9	956,3
8	7964,7	1169,6	7126,4	1112,2	5333,3	1066,9	4281,7	1076,4
9	8395,1	1299	7965,3	1325,6	6577,5	1247,5	5298,6	1212,6
10	8625,9	1385,5	8426,8	1500	7917,3	1456,5	6566,8	1365,8
11	8752,1	1441,7	8646,2	1600	8558,5	1640,2	7573,2	1477,5
12	8869,8	1716,6	8869,8	1716,6	8869,8	1716,6	8869,8	1716,6

На основании данных таблицы 4.8 строится график нарастающих объемов $V = f(P)$ для каждого угла откоса рабочего борта карьера (рисунок 4.10).

Стабилизация производительности при том или ином угле откоса рабочего борта карьера происходит при пересечении линии усреднения (проведенная к $\varphi_{\max}$).

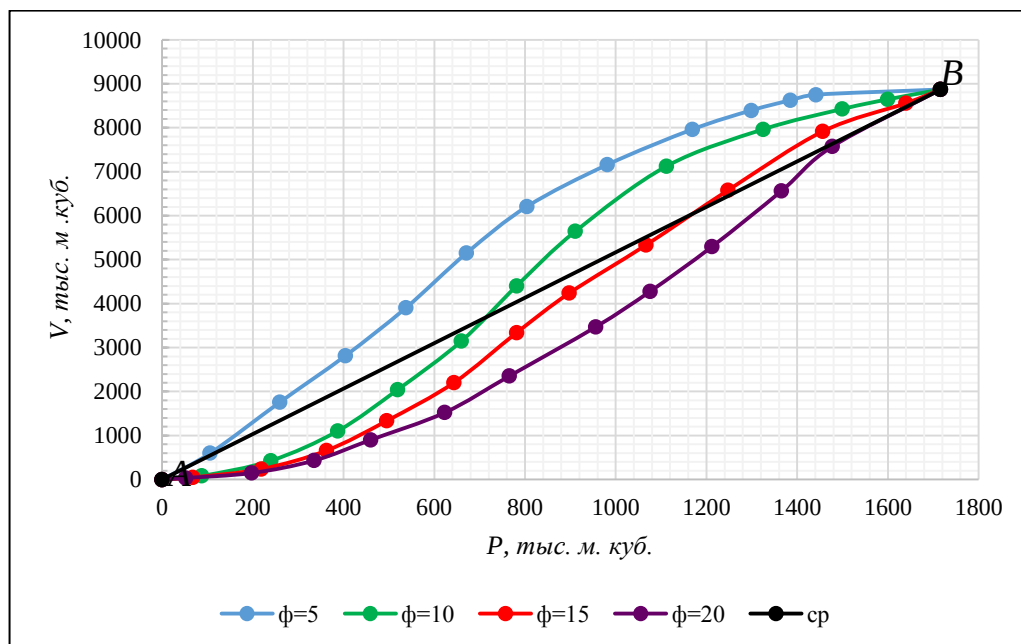


Рисунок 4.10 – Кумулятивный график зависимости $V=f(P)$ изменения нарастающих объемов вскрыши (V) от объемов полезного ископаемого (P) при углах откосов рабочего борта карьера:

$$\varphi_1 = 5^\circ, \varphi_2 = 10^\circ, \varphi_3 = 15^\circ, \varphi_4 = 20^\circ$$

На основании данных таблицы 4.8, определяем уравнение, которое описывает максимальный угол откоса борта карьера $\varphi_{\max} = 20^\circ$ и заполняем таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Уравнение, описывающее угол откоса рабочего борта карьера

№	Вид уравнения	Уравнение	Коэффициент детерминации
Угол откоса рабочего борта карьера $\varphi = 20^\circ$			
1	quadratic	$0,00202982 x^2 + 1,85354 x - 166,172$	0,99
Уравнение прямой (линия усреднения АВ)			
2	linear	$5,16707 x$	0,99

Для угла откоса рабочего борта карьера $\varphi = 20^\circ$ из таблицы 4.9 необходимо решить систему уравнений (4.6):

$$\begin{cases} y = 0,00202982 x^2 + 1,85354 x - 166,172 \\ y = 5,16707 \cdot x \end{cases} \quad (4.6)$$

Решив систему уравнений (4.6), находим корни, определяющие объемы вскрышных пород и объемы полезного ископаемого в заданный период эксплуатации. Находим усредненное значение эксплуатационного коэффициента вскрыши при разработанном методе.

Полученные значения заносим в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Средние значения V и P, эксплуатационный коэффициент вскрыши

	$\varphi = 20^\circ$
V	8689,47
P	1681,12
Коэффициент вскрыши	5,16

Результаты горно-геометрического анализа карьера служат основой для составления режима горных работ. Одним из основных факторов эффективной работы современного карьера является рациональный режим горных работ. Режим горных работ характеризуется производительностью по полезному ископаемому и эксплуатационным коэффициентом вскрыши. Данные показатели определяют типы и количество горного оборудования, применяемого в карьере, затраты на производство и доходы от реализации продукции [47].

Метод усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши при использовании математического моделирования позволяет упростить и повысить точность проводимых расчетов, для различных горно-геологических условий месторождения.

При разработке крутопадающих месторождений (рисунок 4.11) строится график зависимости нарастающих извлекаемых объемов вскрышных пород от положения горных работ (глубины карьера) $V = f(H)$.

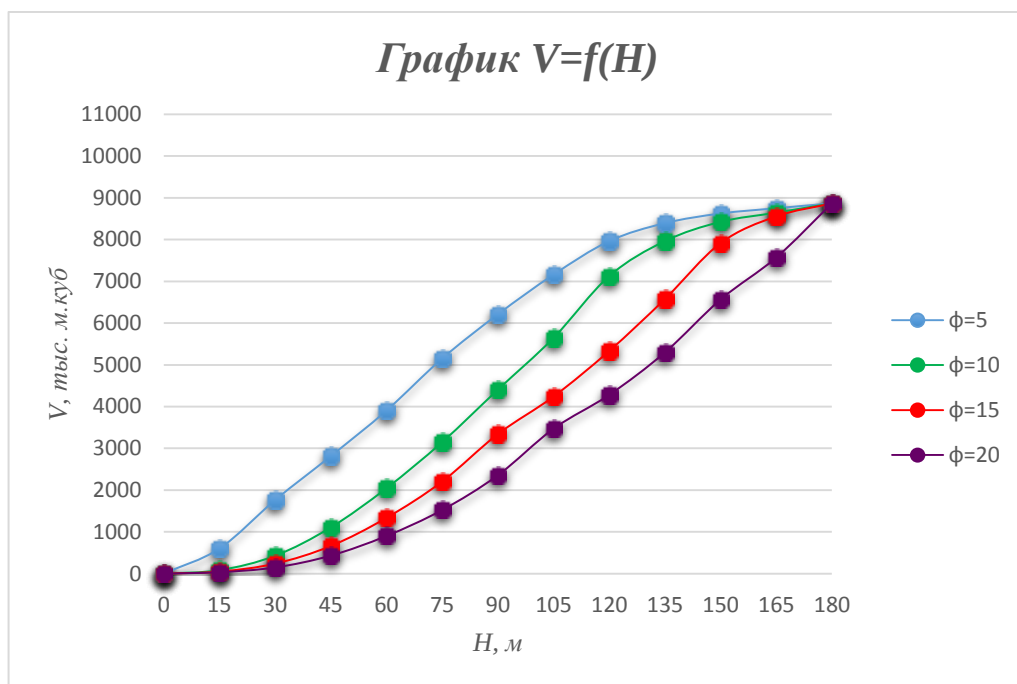


Рисунок 4.11 – График зависимости $V=f(H)$ извлекаемых объемов вскрыши от глубины карьера при различных углах откосов рабочего борта карьера

Предпоследним этапом является построение графика зависимости $V = f(T)$ извлекаемых нарастающих объемов вскрыши от времени отработки карьера при различных углах откосов рабочего борта карьера (рисунок 4.12).

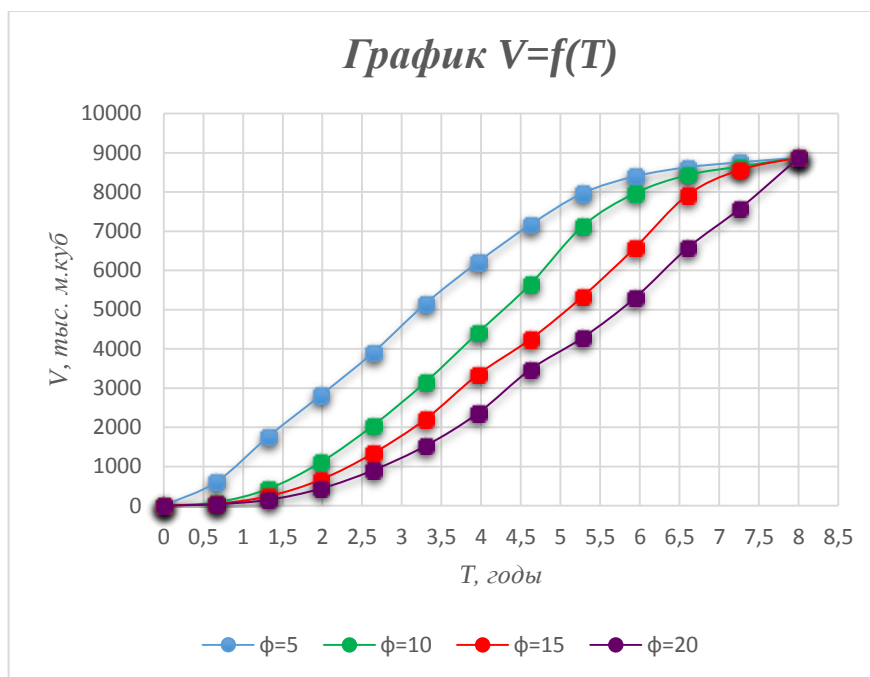


Рисунок 4.12 – График зависимости $V = f(T)$ извлекаемых объемов вскрыши от времени отработки карьера при различных углах откосов рабочего борта карьера

Конечным этапом классического горно-геометрического анализа является построение усредненного графика зависимости $V = f(T)$ извлекаемых объемов вскрыши от времени работы карьера, при стабильной производительности по полезному ископаемому (рисунок 4.13).

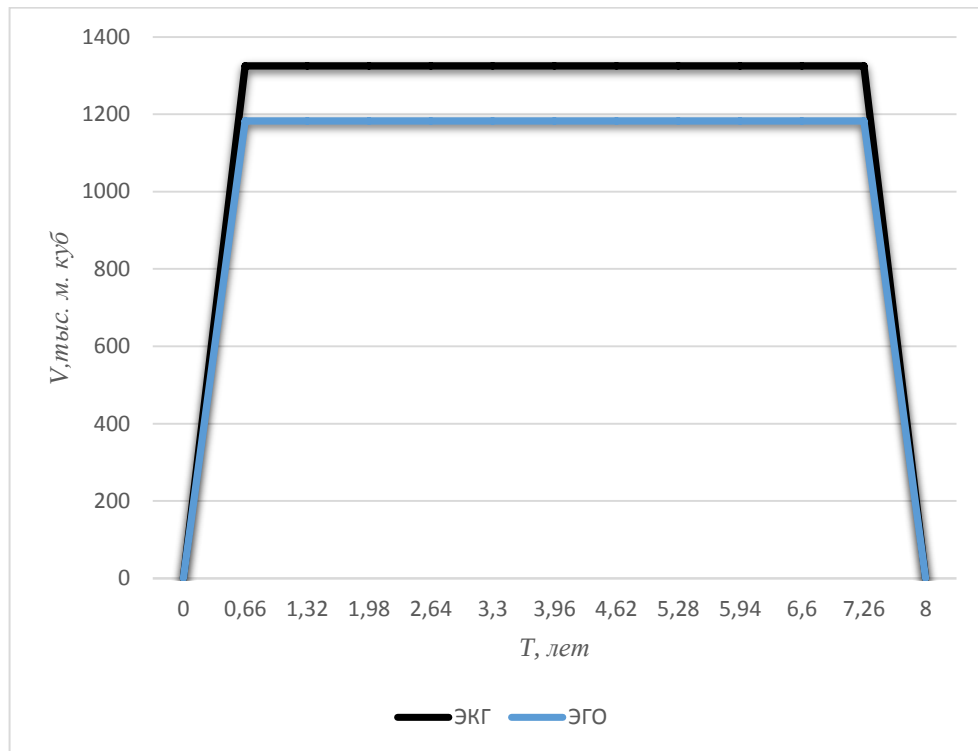


Рисунок 4.13 – Усредненный график зависимости $V = f(T)$ извлекаемых объемов вскрыши от времени работы карьера для разных видов экскаватора

В ходе исследования было выявлено, что при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата уменьшается усредненное значение объемов вскрыши на 10 %, чем при использовании экскаваторов другого типа.

Работа с постоянным (усредненным) коэффициентом вскрыши не всегда возможна. При отработке карьера возникает необходимость переноса пиковых объемов вскрышных работ на более ранний или на более поздний период отработки.

При стабильной работе карьера планируется работа с усредненной шириной рабочей площадки. В реальной практике в зоне интенсивного ведения горных работ площадки имеют нормативную ширину, в остальной части рабочей зоны –

минимальную. Для снятия пиковых объемов вскрышных пород до или после прохождения пика планируется увеличивать рабочую площадку. При необходимости уменьшения коэффициента вскрыши планируется уменьшать рабочую площадку.

Ширину рабочей площадки можно определить для любого периода отработки карьера по разработанной программе «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки» (рисунок 4.14).

The diagram shows a cross-section of a quarry with a horizontal width B and a vertical height H . The slope angle is α . The diagram is divided into four horizontal sections, each with a width B_i and a height H_i .

Параметр	Значение	Единица
$\phi 1$	5	град.
$S1$	1255,736	кв.м.
$B1$	167,431	м.
H	15	м.
$\phi 2$	10	град.
$S2$	607,874	кв.м.
$B2$	81,049	м.
α	75	град.
$\phi 3$	15	град.
$S3$	389,711	кв.м.
$B3$	51,961	м.
$\phi 4$	20	град.
$S4$	278,946	кв.м.
$B4$	37,192	м.

Рисунок 4.14 – Окно программы «Определение параметров ширины рабочей площадки при углубочной системе разработки»

В ходе исследования были выявлены основные технологические схемы ведения горных работ при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата. Наиболее эффективное применение ЭГО достигается при использовании комбинированной схемы разработки (рисунок 4.15). Располагаясь на подступе и сочетая нижнее и верхнее черпание, ЭГО использует основные преимущества двух главных технологических схем. Высота подступа зависит от вида, применяемого ЭГО. Комбинированная схема разработки позволяет: эффективно использовать ЭГО, сохраняя при этом основные параметры уступа;

производить управление эксплуатационным коэффициентом вскрыши за счет возможности изменения ширины рабочей площадки.

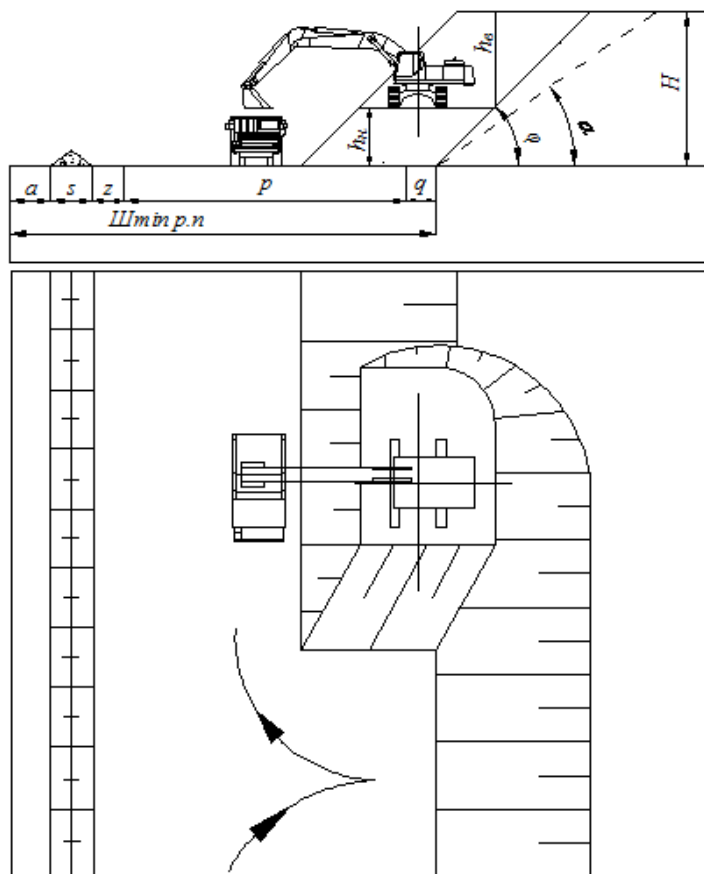


Рисунок 4.15 – Применение ЭГО при комбинированной схеме разработки

На рисунке 4.16 показаны варианты ведения горных работ с изменением ширины рабочей площадки. Управление эксплуатационным коэффициентом достигается при помощи: переноса пиковых объемов на более ранний этап отработки (рисунок 4.16 а), данный метод не всегда эффективен, потому что в начальный момент времени резко увеличиваются капитальные затраты; снятие пиковых объемов происходит в более поздний период отработки карьера (рисунок 4.16 б). Данный метод более эффективен, однако при достижении карьером конечных контуров не всегда сохраняется возможность работы с максимальной шириной рабочей площадки.

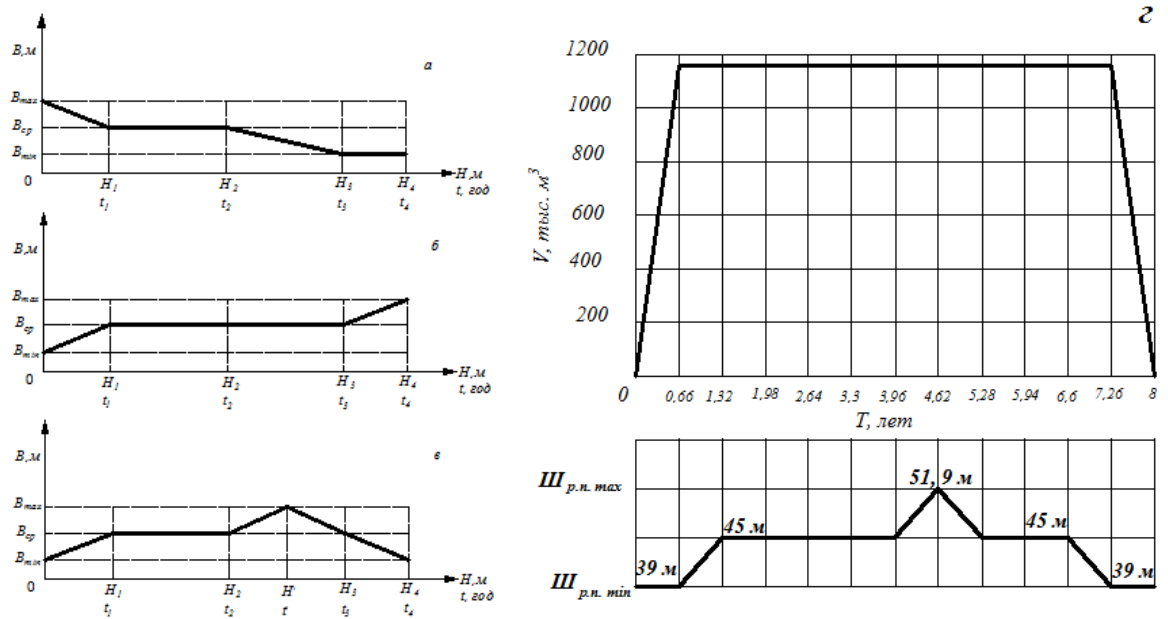


Рисунок 4.16 – Метод управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши за счет изменения ширины рабочей площадки

Рациональный режим горных работ характеризуется переносом значительной доли вскрышных работ на более поздние периоды отработки карьера (рисунок 4.16 в), однако это целесообразно делать в промежуточный период времени, потому что при подходе рабочего борта к конечным контурам карьера ширина рабочей площадки стремится к минимальному значению. Данный метод наиболее эффективно реализуется применением гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата. На примере Кировогорского карьера был апробирован метод управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши и представлена предлагаемая схема ведения горных работ (рисунок 4.16 г). При стабильной производительности по полезному ископаемому произведено усреднение объемов вскрышных работ, за счет изменения ширины рабочих площадок на суммарный период отработки карьера.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается анализом и обобщением исследований авторов в области горно-геометрического анализа, привлечением материалов по работе отечественных и зарубежных карьеров, использованием современных методов обработки полученных результатов.

4.5 Выводы к главе 4

Главным технологическим показателем оценки режима горных работ является эксплуатационный коэффициент вскрыши.

В данной главе изложены полученные результаты исследований:

- создан метод усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на основе математического моделирования;
- разработан и обоснован метод управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата;
- математический метод усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши исключает человеческий фактор в подсчете результатов;
- в ходе исследования была доказана целесообразность применения данного метода, полученный результат апробирован на двух модельных месторождениях;
- обоснованы основные технологические схемы применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, обеспечивающие эффективное управление эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи обоснования технологических схем применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата при углубочных системах разработки.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа статистики по применению одноковшовых экскаваторов выявлена тенденция увеличения доли применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата на современных карьерах России.

2. Анализ коэффициентов вскрыши позволяет выявить противоречие в определении «текущего» и «эксплуатационного» коэффициента вскрыши. Предложено производить усреднение режима горных работ, на основе уменьшенного за счет применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата эксплуатационного коэффициента вскрыши.

3. В ходе исследования были изучены и систематизированы различные методы измерения ширины рабочей площадки в карьере. Предложены способы минимизации ширины развала горной массы при использовании буровзрывного способа подготовки пород к выемке.

4. Доказано, что при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата сокращается минимальная ширина рабочей площадки по сравнению с экскаваторами другого типа.

5. Разработанная компьютерная программа, позволяет определить ширину рабочей площадки на различных глубинах на момент подготовки каждого горизонта карьера. Программа может применяться в вузах при выполнении курсового и дипломного проектирования, при выполнении расчетно-графических работ аспирантов, для исследовательских целей.

6. Проведен анализ методов определения рационального режима горных работ и предложен метод усреднения и управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов типа обратная лопата.

7. Метод усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши на основе математического моделирования обеспечивает высокую точность результатов.

8. Обоснованы технологические схемы применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, обеспечивающие эффективное управление эксплуатационным коэффициентом вскрыши.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраамов, В.С. Технология отработки пластов полезных ископаемых сложного строения гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата. / В.С. Авраамов, Н.В. Косенко, Д.В. Тетерин // Проблемы машиноведения и машиностроения. – СЗТУ. – 2005. – С.61-65.
2. Авраамов, В.С. Обоснование технологии подготовки новых горизонтов на обводненных угольных карьерах гидравлическими экскаваторами типа обратная лопата: автореф. дис. канд. тех. наук: 25.00.22 / Авраамов Владимир Сергеевич. – СПб., 2010. – 20 с.
3. Анистратов, К.Ю. Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в РФ и странах СНГ / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – 2012. – №2. – С. 16-19.
4. Анистратов, К.Ю. Карьерные экскаваторы – гидравлика или канат? / К.Ю. Анистратов // Уголь. – 2010. – №6. – С. 31–35.
5. Анистратов, К.Ю. Мировые тенденции развития структуры парка карьерной техники / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – 2011. – №6. – С. 22.
6. Анистратов, К.Ю. Проект стратегического развития УЗТМ-КАРТЭКС «Освоение серийного производства карьерных гидравлических экскаваторов» / К.Ю. Анистратов, А.М. Козубский, В.О. Фурин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции. – Екатеринбург. – 2017. – С. 37-40.
7. Анистратов, К.Ю. Технико-экономическое обоснование эффективности применения карьерных экскаваторов ЭКГ-18 с речным напором ПАО «Уралмашзавод» на угольных разрезах / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. – 2016. – №5. – С. 18.
8. Анистратов, Ю.И. Справочник по открытым горным работам / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов, М.И. Щадов. – М.: НТЦ Горное дело, 2010. – 700 с.
9. Анистратов, Ю.И. Технология открытых горных работ / Ю.И. Анистратов. – М.: Недра, 1995. – 216 с.
10. Анистратов, Ю.И. Технология открытых горных работ: учебник / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов. – М.: Горное дело, 2008. – 472 с.

11. Аргимбаев, К.Р. Методы ликвидации потерь и оптимизация процессов открытых горных работ при отработке техногенного месторождения / К.Р. Аргимбаев, К.В. Миронова, М.О. Бовдуй // Проблемы недропользования. – 2017. – №3. – С. 19-28.
12. Арсентьев, А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей: учебник / А.И. Арсентьев. – М.: Недра, 1981. – 278 с.
13. Арсентьев, А.И. Диалоги о горной науке / А.И. Арсентьев. – СПб.: изд-во СПГГИ, 1999. – 154 с.
14. Арсентьев, А.И. Законы формирования рабочей зоны карьера / А.И. Арсентьев. – Л.: изд-во ЛГИ, 1986. – 56 с.
15. Арсентьев, А.И. Конечные границы карьеров / А.И. Арсентьев. – СПб.: изд-во СПбГГИ, 1995. – 68 с.
16. Арсентьев, А.И. Определение главных параметров карьеров / А.И. Арсентьев, О.В. Шпанский, В.А. Бложе, Г.П. Константинов. – М.: Недра, 1976. – 213 с.
17. Арсентьев, А.И. Принятие решений о параметрах карьера / А.И. Арсентьев – Л.: изд-во ЛГИ, 1982. – 59 с.
18. Арсентьев, А.И. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков. – М.: Недра, 1994. – 336 с.
19. Арсентьев, А.И. Производительность карьеров / А.И. Арсентьев. – СПб.: изд-во Санкт-Петербургского горного института, 2002. – 85 с.
20. Арсентьев, А.И. Развитие горных работ в карьерном пространстве: учебное пособие / А.И. Арсентьев. – Л.: изд-во ЛГИ, 1991. – 106 с.
21. Арсентьев, А.И. Развитие методов определения границ карьеров / А.И. Арсентьев. – Л.: Наука, 1967. – 96 с.
22. Арсентьев, А.И. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом / А.И. Арсентьев. – СПб.: изд-во СПГГУ, 2010. – 115 с.
23. Арсентьев, А.И. Современные принципы теории проектирования карьеров / А.И. Арсентьев. – Л.: Наука, 1987. – 256 с.
24. Бахтурин, Ю.А. Современное состояние карьерного транспорта / Ю.А. Бахтурин // Горная техника. – 2005. – С. 6-16.

25. Билин, А.Л. Классификация коэффициентов вскрыши [электронный ресурс] / А.Л. Билин // ГИАБ. – Режим доступа: http://www.giab-online.ru/files/Data/2014/12/09_52-63_Bilin.pdf.

26. Близнюков, В.Г. Влияние концентрации горных работ на технико-экономические показатели разработки / В.Г. Близнюков, В.А. Ковальчук // Горный журнал. Известия вузов. – 1992. – № 8. – С.76-79.

27. Близнюков, В.Г. Планирование режима вскрышных работ с учетом производительности карьера по полезному ископаемому / В.Г. Близнюков, О.Ю. Близнюкова, А.В. Савицкий // Горный журнал. Известия вузов. – 2013. – №3. – С. 4-8.

28. Близнюков, В.Г. Учет фактора времени и качества руды при определении границ карьеров/ В.Г. Близнюков // Совершенствование методов проектирования и планирования горных работ в карьере / под ред. Н. В. Мельникова – Л.: ЛПИ, 1981. – С. 82-87.

29. Близнюкова, О.Ю. Влияние режима горных работ и производительности карьера на экономическую эффективность разработки месторождения / О.Ю. Близнюкова // Качество минерального сырья: сборник научных трудов. – Кривой Рог, 2014. – С. 118-125.

30. Близнюкова, О.Ю. Определение режима горных работ и производительности карьера с учетом их взаимосвязей: дис. канд. техн. наук: 05.15.03 / Ольга Юрьевна Близнюкова. – Кривой Рог, 2017. – 148 с.

31. Бонаму Гата Бернар Обоснование режима открытых горных работ при малоотходной эксплуатации маломощных крутопадающих месторождений: дис. канд. техн. наук: 25.00.21 / Бонаму Гата Бернар. – СПб, 2004. – 127 с.

32. Булес, П. Эффективность эксплуатации на горных предприятиях карьерных экскаваторов с электромеханическим и гидравлическим приводом основных механизмов / П. Булес // Горная промышленность. – 2014. – №6. – С. 36.

33. Бурмистров, К.В. Выбор комплексов оборудования для производства выемочно-погрузочных работ в стесненных условиях нижних горизонтов карьеров / К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, К.Р. Аргимбаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2010. – №1. – С. 22-25.

34. Ведрова, Д.А. Обоснование методов организации горно-строительных и эксплуатационных работ при разработке месторождений группой карьеров: дис. канд. техн. наук. 05.02.22. / Дарья Александровна Ведрова. – СПб, 2015. – 199 с.

35. Гавришев, С.Е. Изменение способа вскрытия карьера на различных этапах отработки крутопадающих месторождений / С.Е Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, В.А. Кидяева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №8. – С. 225-228.

36. Гавришев, С.Е. Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2012. – 189 с.

37. Галустьян, Э.Л. Геомеханика открытых горных работ: справочное пособие / Э.Л. Галустьян. – М., Недра, 1992. – 272 с.

38. Галустьян, Э.Л. Проектирование открытой разработки месторождений / Э.Л Галустьян. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1984. – 106 с.

39. Ганин, А.Р. Стратегия развития и новая линейка карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» (группа ОМЗ) / А.Р. Ганин, А.В. Самолазов, Т.В. Донченко // Горная промышленность. – 2012. – №4. – С. 26.

40. Гидравлические экскаваторы Liebherr для карьеров [Электронный ресурс] // Горная промышленность. – №2 – 2003. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/karertekh/1599-gidravlicheskie-eksavatory-liebherr-dlya-karerov>.

41. Деревяшкин, И.В. Основы горного дела. Открытые горные работы / И.В. Деревяшкин. – М.: Изд-во МГОУ, 2011. – 259 с.

42. Добыча полезных ископаемых открытым способом: технология, техника и оборудование [электронный ресурс] // Журнал Прогресс технологий. – 2018. – №83. – Режим доступа: https://proteh.org/magazine_archive/журнал%20прогресс%20технологий%2083.pdf.

43. Ефременков, А.Б. Горные машины и оборудования. Введение в специальность. Часть 1: учебное пособие / А.Б Ефременков, А.А. Казанцев, М.Ю Блашук. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – С. 152.

44. Иванов, О.П. Карьерные гидравлические экскаваторы НІТАСНІ / О.П. Иванов // Горная промышленность. – 2005 – №2. – С. 53-55.
45. Ильиных, А.В. Экскаватор ЭКГ-25 ПАО «Уралмашзавод» / А.В. Ильиных // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции. издательство: уральский государственный горный университет. Екатеринбург. – 2017 – С. 31-33.
46. Истомин, В.В. Исследование развития горных работ на рудных карьерах: дис. д-ра техн. наук / Виктор Владимирович Истомин. – М., 1991. – 485 с.
47. Капутин, Ю.Е. Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов / Ю.Е. Капутин – СПб.: Недра, 2008 – 324 с.
48. Квитка, В.В. Проектирование устойчивой технологической системы карьера / В.В. Квитка // Проблемы теории проектирования карьеров – Л.: ЛГИ, 1988. – С. 61-64.
49. Кельш Хайнц Рюдигер Обоснование силовых и режимных параметров копания и средств адаптации карьерных гидравлических экскаваторов к условиям Якутии: дис. канд. техн. наук: 05.05.06 / Кельш Хайнц Рюдигер. – М., 2010. – С. 183.
50. Колесников, В.Ф. Технология ведения выемочных работ с применением гидравлических экскаваторов / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин, А.В. Стрельников. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2009. – 143 с.
51. Комиссаров, А.П. Перспективы применения карьерных гидравлических экскаваторов на угольных разрезах Карагандинской области / А.П. Комиссаров, И.В. Телиман // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции. – Екатеринбург. – 2017. – С. 105-108.
52. Корякин, А.И. Определение основных технологических параметров карьера при проектировании /А.И. Корякин, А.В. Селюков // Вестник Кузбасского государственного технического университета.– 2010. – №2. – С. 66-68.

53. Косенко, Н.В. Основные преимущества гидравлических экскаваторов по сравнению с механическими лопатами / Н.В. Косенко, Д.В. Голубничий, Ле Дык Фыонг // Проблемы машиноведения и машиностроения. – СЗТУ. – 2002 – №28.

54. Косенко, Н.В. Особенности разработки сложноструктурных месторождений угля / Н.В. Косенко // Записки Горного института (Полезные ископаемые России и их освоение). СПГГИ(ТУ). – 2003– том 155. – С. 61-64.

55. Кривда, В.В. Обоснование рациональных параметров систем разработки железорудных карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции: дис. канд. техн. наук: 05.15.03 / Виталий Валерьевич Кривда. – Днепропетровск, – 2015. – 212 с.

56. Кузнецов, А.Л. Карьерные экскаваторы ПАО "Уралмашзавод" – настоящее и будущее российской горнодобывающей промышленности / А.Л. Кузнецов, К.Ю. Анистратов // Уголь. – 2016. – №8. – С. 77-81.

57. Кузнецов, А.Л. Карьерный экскаватор ЭКГ-18 с речным напором – базовая модель продуктовой линейки мехлопат ПАО "Уралмашзавод"/ А.Л. Кузнецов, К.Ю. Анистратов, В.О. Фурин // Горная промышленность. –2016. – № 4. – С. 9.

58. Кутузов, Б.Н Методы ведения взрывных работ/ Б.Н. Кутузов – ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности: – М.: Изд-во МГТУ, 2008. – 512 с.

59. Лешков, В. Г. Разработка россыпных месторождений / В.Г. Лешков. – М.: изд-во Горная книга, 2007. – 906 с.

60. Лигоцкий, Д.Н. Технология разработки месторождений строительных материалов: учеб. пособие / Д.Н. Лигоцкий, С.И. Фомин. – СПб.: изд-во СПГГУ, 2011. – 91 с.

61. Литвин, О.И. Обоснование рациональных технологических параметров производства вскрышных работ обратными гидравлическими лопатами на разрезах Кузбасса: автореф. дис. канд. тех. наук: 25.00.22 / Литвин Олег Иванович. – Кемерово. – 2012. – 21 с.

62. Логинов, Е.В. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов / Г.А. Холодняков, Е.В. Логинов, Ву Дык Туан // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №1. – С. 357-363.

63. Логинов, Е.В. Особенности применения гидравлических экскаваторов типа обратная лопата / Е.В. Логинов // Научный журнал – 2016. – №6. – С. 152-154.

64. Логинов, Е.В. Уменьшение эксплуатационного коэффициента вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов / Е.В. Логинов // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Том 2 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №4 (специальный выпуск 5-2). – С. 108-116.

65. Логинов, Е.В. Управление режимом горных работ и углом откоса рабочего борта карьера / Д.Г. Холодняков, Е.В. Логинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №2. – С. 71-74.

66. Логинов, Е.В. Ширина рабочей площадки при углубочной системы разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом / К.Р. Аргимбаев, Е.В. Логинов // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский горный университет. СПб. – 2017. – С. 72-73.

67. Логинов, Е.В. Уменьшение эксплуатационного коэффициента вскрыши при использовании гидравлических экскаваторов / Е.В. Логинов // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: Тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский горный университет. СПб. – 201. – С. 101.

68. Лушпей, В.П. Планирование открытых горных работ: практикум / В.П. Лушпей. – Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013 – 27 с.

69. Межотраслевая инструкция по определению и контролю добычи и вскрыши на карьерах. М., Недра, 1979 – 34 с.

70. Мельников, Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам / Н.В. Мельников. – 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1982. — 414 с.

71. Мельников, Н.Н. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Н.Н. Мельников, Д.Г. Неволин, Л.С. Скобелев. – Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1992. – 216 с.

72. Мерзляков, В. Г. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России / В.Г. Мерзляков, Б.В. Слесарев, В.М. Штейнцайг // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 5. – С. 15-20.

73. Миллер, С.О. Обоснование метода календарного планирования открытой разработки угольных месторождений: дис. канд. техн. наук: 25.00.21 / Сергей Олегович Миллер. – СПб, 2016. – 121 с.

74. Новожилов, М.Г. Высокопроизводительные глубокие карьеры / М.Г. Новожилов, А.Ю. Дриженко, А.М. Маевский и др. – М: Недра, 1984. – 188 с.

75. Новожилов, М.Г. Горно-геометрический анализ и режим горных работ карьеров / М.Г. Новожилов, Б.Н. Тартаковский, М.С. Четверик. – Киев: Наук. думка, 1971. – 144 с.

76. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов: Министерство промышленности строительных материалов СССР: Ленинград.: Стройиздат, 1977. – 365 с.

77. Официальный сайт Komatsu [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://home.komatsu/en/>.

78. Официальный сайт ВИСТ-групп [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru/IntMine/>.

79. Перелыгин, В. Гидравлические экскаваторы Hitachi — достойный конкурент карьерным канатным экскаваторам / В. Перелыгин // Горная промышленность. – 2006 – №6. – С. 24-25.

80. Побегайло, П.А. История создания карьерных гидравлических экскаваторов / П.А. Побегайло // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – №8. – С. 24-29.

81. Подэрни, Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (карьерные лопаты и драглайны) / Р.Ю. Подэрни // Горная промышленность. – 2013. – №6. – С. 14-18, С. 106-111.

82. Подэрни, Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (колесных

фронтальных погрузчиков и гидравлических экскаваторов) / Р.Ю. Подэрни // Горная промышленность. – 2014. – №1. – С. 22-32.

83. Подэрни, Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых горных работ: учебное пособие: в 2 т. / Р.Ю. Подэрни. — М.: Изд-во МГГУ, 2001. — 422 с. — 1 т.

84. Подэрни, Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых горных работ: учебное пособие: в 2 т. / Р.Ю. Подэрни. — М.: Изд-во МГГУ, 2001. — 422 с. — 2 т.

85. Подэрни, Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: учебник для вузов / Р.Ю. Подэрни. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 606 с.

86. Подэрни, Р.Ю. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ / Р.Ю. Подэрни // ГИАБ. – 2015. – №2. – С. 148-167.

87. Правила безопасности при ведении горных работ и переработки твердых полезных ископаемых / Федер. нормы и правила в области промышленной безопасности / Выпуск 78. – М.: 2014. – 276 с.

88. Промышленный транспорт: СП 37.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91. М.: ФАУ ФЦС, 2012. – 196 с.

89. Решетняк, С.П. Основные проблемы проектирования карьеров нового поколения / С.П. Решетняк // Записки Горного института. – СПб. – 2012. – Т.197. – С. 154–158.

90. Ржевский, В.В. Открытые горные работы в сложных условиях / В.В. Ржевский, Ю.И. Анистратов, С.А. Ильин. – М.: Недра, 1964. – 294 с.

91. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: учебник для вузов / В.В. Ржевский. – 4-е изд., перераб. и доп. Часть 1. Производственные процессы. – М.: Недра. – 1985, –509 с.

92. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: учебник для вузов / В.В. Ржевский. – 4-е изд., перераб. и доп. Часть 2. Технология и комплексная механизация. – М.: Недра, 1985, – 549 с.

93. Ржевский, В.В. Проектирование контуров карьеров / В.В. Ржевский – М.: Металлургиздат, 1956 – 230 с.

94. Ржевский, В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1980 – 631 с.

95. Рославцева, Ю.Г. Обоснование объемов горных работ при поэтапной разработке малых месторождений открытым способом: дис. канд. тех. наук: 25.00.21 / Рославцева Юлия Геннадьевна. – Иркутск, 2014 – 126 с.

96. Рубцов, С.К. Опыт применения гидравлических и канатных экскаваторов на карьере Мурунтау / С.К. Рубцов, А.Г. Шлыков, Е.Н. Кочегаров, П.А. Шеметов, В.О. Мальгин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №3. – С. 268-276.

97. Самолазов, А.В. Основные тенденции на рынке экскаваторного оборудования и новая линейка экскаваторов ООО «ИЗ-КАРТЭКС» для горнодобывающей промышленности /А.В. Самолазов, Т.В. Донченко // Горная промышленность. – 2011. – №4. – С. 6.

98. Самолазов, А.В. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов /А.В. Самолазов, Н. И. Паладеева, А.А. Беликов // Горная промышленность – №4. – 2009. – С. 20.

99. Самый мощный российский экскаватор ЭКГ-35 запущен в компании «Кузбассразрезуголь» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kru.ru/ru/press/news/samyy-moshchnyy-rossiyskiy-eksavator-ekg-35-zapushchen-v-kompanii-kuzbassrazrezugol/>.

100. Сысоев, А.А. Направление повышения эффективности обратных гидравлических лопат при производстве вскрышных работ / А.А. Сысоев, О.И. Литвинов // Сб. тезисов докладов X международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово. – 2008. – С. 66-69.

101. Сысоев, А.А. Рациональная мощность слоя при отработке вскрышных уступов обратными гидравлическими экскаваторами / А.А. Сысоев, О.И. Литвинов // Вестн. КузГТУ. – 2008. – №2. – С. 35-38.

102. Сытенков, В.Н. Анализ областей применения канатных и гидравлических экскаваторов при открытой разработке месторождений / В.Н. Сытенков, А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Рациональное освоение недр. – 2014. – №3. – С. 30-37.

103. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М., Недра, 1982. – 405 с.

104. Томаков, П.И. Гидравлические обратные лопаты для разработки сложноструктурных месторождений Кузбасса / П.И. Томаков, А.С. Ненашев, Б.Н. Рыбаков // М.: Обзор ЦНИЭИУголь, 1984. – 49 с.

105. Трубецкой, К.Н. Комплексы мобильного оборудования на открытых горных работах / К.Н. Трубецкой, Е.Р. Леонов, Ю.Б. Панкевич. – М.: Недра, 1990. – 255 с.

106. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко – М.: Высшая школа, 2009. – 694 с.

107. Трубецкой, К.Н. Современные системы управления горно-транспортными комплексами / К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов, Д.Я. Владимиров: под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. – СПб.: Наука, 2007. – 306 с.

108. Трубецкой, К.Н. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке / К.Н. Трубецкой, М.В. Рыльникова // Открытые горные работы в XXI веке. Том1 // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. – №45 – 1. – 2015. – С. 21-32.

109. Трубецкой, К.Н. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Виницкий, Н.Н. Мельников и др. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

110. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог: СН 449-72. / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1973. – 112 с.

111. Усынин, В.И. Регулирование вскрышных работ на глубоких карьерах / В.И. Усынин, А.Л. Грицай, С.П. Решетняк и др. – Ленинград: Наука, 1982. – 188 с.

112. Фомин, С.И. Определение производительности карьеров с учетом спроса на минеральное сырье / С.И. Фомин // Записки горного института. Т. 168 – СПб. – 2006 – с. 54-56.

113. Фомин, С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырье / С.И. Фомин. – Санкт-Петербург: Тема, 1999. – 168 с.

114. Холодняков, Г.А. Графоаналитическое определение направления углубки карьера методами изолиний ценности полезных ископаемых

комплексного месторождения / Г.А. Холодняков // Рациональное использование недр и охрана окружающей среды. – Л. – 1986. – С. 51-57.

115. Холодняков, Г.А. Инженерная графика при открытых горных работах / Г.А. Холодняков, К.Р. Аргимбаев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 216 с.

116. Холодняков, Г.А. Определение основных параметров открытой разработки комплексных месторождений / Г.А. Холодняков. – Л.: Наука, 1988. – 160 с.

117. Холодняков, Г.А. Проектирование карьеров при открытой разработке комплексных месторождений / Г.А. Холодняков – СПб.: ФГБ ОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – 192 с.

118. Холодняков, Д.Г. Метод определения равномерного режима горных работ с помощью графика минимальных текущих объемов вскрыши / Д.Г. Холодняков // Горный информационно-аналитический бюллетень: Научно-технический журнал. – Москва. – 2011. – № 2. – С. 212-217.

119. Холодняков, Д.Г. Режим открытой разработки крутопадающих залежей: монография / Д.Г. Холодняков; Сев.-Зап. ин-т упр. – фил. РАНХиГС. СПб: ИПЦ СЗИУ – фил. РАНХиГС. – 2015. – 148 с.

120. Хорошавин, С.А. Конструктивные решения, снижающие затраты времени на техническое обслуживание карьерного экскаватора / С.А. Хорошавин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV международной научно-технической конференции. издательство: уральский государственный горный университет. Екатеринбург. – 2017. – С. 112-115.

121. Хохряков, В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок / В.С. Хохряков. – Екатеринбург: изд-во УГГА, 1996. – 180 с.

122. Хохряков, В.С. Проектирование карьеров: учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / В.С. Хохряков. – М.: Недра, 1992. – 383 с.

123. Хохряков, В.С. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров / В.С. Хохряков, Г.Г. Саканцев, А.З. Яшкин. – М.: Недра, 1977. – 299 с.

124. Червяков, С.А. Повышение конкурентоспособности горного оборудования производства ОАО «Уралмашзавод» – одна из стратегических задач компании

/ С.А. Червяков, Н.И. Паладеева // Горная промышленность. –2014. – №6. – С. 47.

125. Шпанский, О.В. Проектирование границ открытых горных работ / О.В. Шпанский, Д.Н. Лигоцкий, Д.В. Борисов. – СПб.: изд-во СППГИ, 2003. – 90 с.

126. Шпанский, О.В. Производительность и границы карьеров / О.В. Шпанский. – Л.: изд-во ЛГИ, 1983. – 98 с.

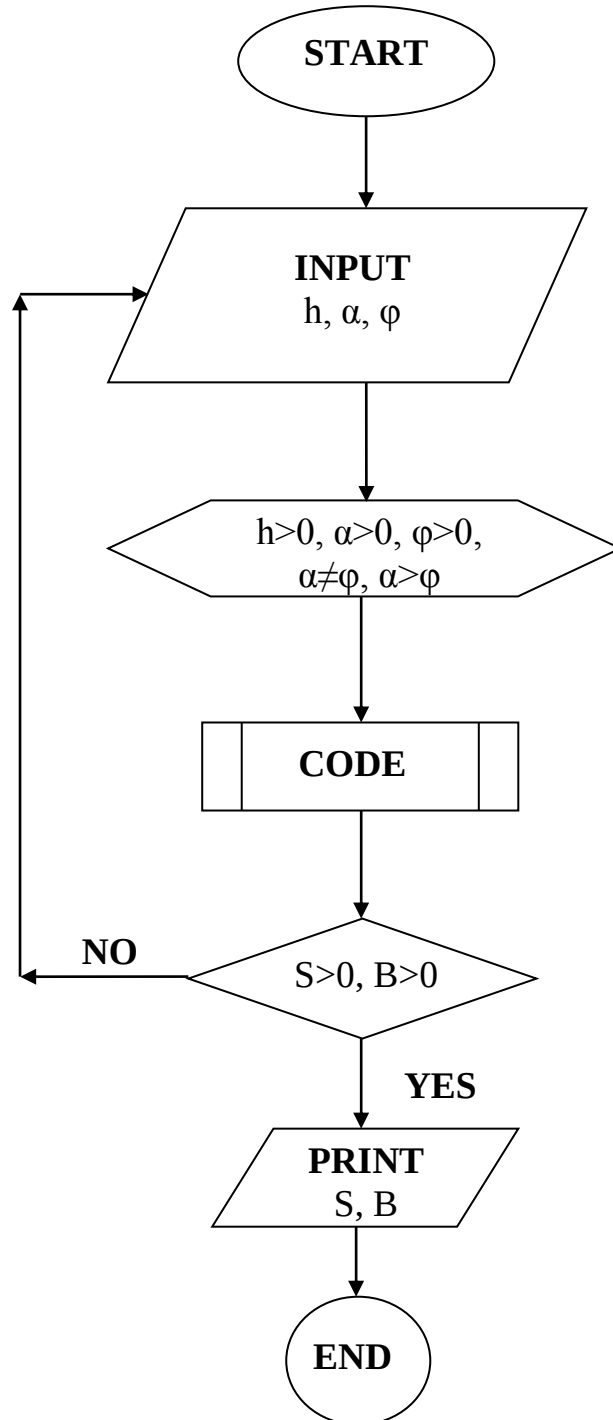
127. Шпанский, О.В., Проектирование производственной мощности карьеров. / О.В. Шпанский, Д.Н. Лигоцкий, Д.В. Борисов. – СПб.: изд-во СППГИ, 2004. – 96 с.

128. Loginov, E.V. Improving the efficient of mining in the deposit of broken stone // Scientific Reports on Resource Issues / Technische University Bergakademie Freiberg. – Freiberg. – 2015. – P. 183-185.

129. Thompson, RJ. Mine Haul Road Design, Construction & Maintenance Management Littleton, CO., USA, 136 p.

130. William, A., Hustrulid, Mark Kuchta, Randall K. Martin. Plainning&Design, 2013 by CRC Press, 1308 p.

Блок схема алгоритма программы:



Программный код:

```

unit Unit1;

interface

uses

Winapi.Windows,      Winapi.Messages,      System.SysUtils,      System.Variants,
System.Classes, Vcl.Graphics,
Vcl.Controls, Vcl.Forms, Vcl.Dialogs, Math, Vcl.Imaging.jpeg, Vcl.ExtCtrls,
Vcl.StdCtrls;

type

TForm1 = class(TForm)
Label1: TLabel;
Edit1: TEdit;
Button1: TButton;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Button2: TButton;
Button3: TButton;
Button4: TButton;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;

```

```
Label19: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;  
Label28: TLabel;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Label35: TLabel;  
Label36: TLabel;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Image1: TImage;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure Button2Click(Sender: TObject);  
procedure Button3Click(Sender: TObject);
```

```

procedure Button4Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Form1: TForm1;
vis, ugustup, ugkar, S: single;
ctga, ctgs, ctgf, arcctgs: single;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
vis:=strtofloat(edit1.text);
ugustup:=strtofloat(edit2.text);
ugkar:= strtofloat(edit3.text);
ctga:=1/tan(ugustup*pi/180);
ctgf:=1/tan(ugkar*pi/180);
Edit7.Text:=floattostr(trunc((power(vis,2)/2*ctgf-power(vis,2)/2*ctga)*1000)/1000);
s:=strtofloat(edit7.Text);
s:=(2*S+power(vis,2)*ctga)/power(vis,2);
Edit11.Text:=floattostr(trunc(vis*(s-ctga)*1000)/1000);
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
vis:=strtofloat(edit1.text);
ugustup:=strtofloat(edit2.text);
ugkar:= strtofloat(edit4.text);
ctga:=1/tan(ugustup*pi/180);

```

```

ctgf:=1/tan(ugkar*pi/180);
Edit8.Text:=floattostr(trunc((power(vis,2)/2*ctgf-power(vis,2)/2*ctga)*1000)/1000);
s:=strtofloat(edit8.Text);
s:=(2*S+power(vis,2)*ctga)/power(vis,2);
Edit12.Text:=floattostr(trunc(vis*(s-ctga)*1000)/1000);
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
vis:=strtofloat(edit1.text);
ugustup:=strtofloat(edit2.text);
ugkar:= strtofloat(edit5.text);
ctga:=1/tan(ugustup*pi/180);
ctgf:=1/tan(ugkar*pi/180);
Edit9.Text:=floattostr(trunc((power(vis,2)/2*ctgf-power(vis,2)/2*ctga)*1000)/1000);
s:=strtofloat(edit9.Text);
s:=(2*S+power(vis,2)*ctga)/power(vis,2);
Edit13.Text:=floattostr(trunc(vis*(s-ctga)*1000)/1000);
end;

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
vis:=strtofloat(edit1.text);
ugustup:=strtofloat(edit2.text);
ugkar:= strtofloat(edit6.text);
ctga:=1/tan(ugustup*pi/180);
ctgf:=1/tan(ugkar*pi/180);
Edit10.Text:=floattostr(trunc((power(vis,2)/2*ctgf-power(vis,2)/2*ctga)*1000)/1000);
s:=strtofloat(edit10.Text);
s:=(2*S+power(vis,2)*ctga)/power(vis,2);
Edit14.Text:=floattostr(trunc(vis*(s-ctga)*1000)/1000);
end; end.

```