

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.К. АММОСОВА
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА
им. Н.В. ЧЕРСКОГО СО РАН
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА им. Н.А. ЧИНАКАЛА СО РАН

В.С. МАРКОВ, В.Н. ЛАБУТИН,
В.К. ЁЛШИН

**БЕЗВЗРЫВНАЯ РАЗРАБОТКА
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ**

Ответственный редактор
доктор технических наук *А.С. Курилко*



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

2014

УДК 622.1/2
ББК 33.26
М25

Марков В.С.

Безвзрывная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом / В.С. Марков, В.Н. Лабутин, В.К. Ёлшин; М-во образования и науки РФ, Сев.-Вост. фед. ун-т им. М.К. Аммосова, Ин-т горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Ин-т горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 176 с.

ISBN 978–5–7692–1401–1.

В монографии представлены результаты научно-исследовательских работ, проведенных совместно сотрудниками ИГДС СО РАН (г. Якутск), ИГД СО РАН (г. Новосибирск) и горного факультета СВФУ имени М.К. Аммосова (г. Якутск). Рассмотрены горно-геологические, горнотехнические условия и особенности подземной разработки россыпных месторождений. Выполнен анализ технических средств, применяемых при подземной разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений. Приведены результаты исследований физико-механических свойств многолетнемерзлых крупнообломочных пород, опытно-промышленных испытаний проходческого комбайна с комбинированным исполнительным органом и очистного комбайна с исполнительным органом ударного действия. Предложены и обоснованы технические и технологические решения по ударному разрушению многолетнемерзлых крупнообломочных пород с целью создания научных основ безвзрывной технологии при подземной разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений.

Монография может быть полезна специалистам, занимающимся вопросами подземной разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений, а также аспирантам и студентам горных вузов.

Рекомендовано к печати

*Научно-техническим советом СВФУ им. М.К. Аммосова
и Ученым советом ИГДС СО РАН им. Н.В. Черского*

Рецензенты

доктор технических наук *А.С. Курилко*
кандидат технических наук *А.Н. Петров*

ISBN 978–5–7692–1401–1

- © Марков В.С., Лабутин В.Н., Ёлшин В.К., 2014
- © Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 2014
- © Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, 2014
- © Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2014
- © Оформление. Издательство СО РАН, 2014

*Посвящается памяти
профессора, доктора технических наук
Аркадия Егоровича Слепцова*

ВВЕДЕНИЕ

За всю историю золотодобычи в России было добыто более 12 тыс. т золота, причем 90 % из россыпных месторождений. И сегодня из россыпей получают до 60 % валового золота (в том числе коренные рудные месторождения – 25 %, техногенное и попутно извлекаемое золото – 15 %). В России основными объектами золотодобычи остаются россыпные месторождения, освоение которых не требует значительных инвестиций и строительства крупных рудников и обогатительных фабрик.

В настоящее время на территории Российской Федерации разведано приблизительно 3800 россыпных месторождений золота. Основные запасы россыпного золота (около 65 %) сосредоточены в Дальневосточном регионе, в том числе в Республике Саха (Якутия) – 20 %, Магаданской области – 15 %, Чукотском автономном округе – 10 %. Значительный удельный вес в разведанных месторождениях россыпей составляют запасы, доступные для подземного способа разработки (около 10 % всех россыпных месторождений России), при этом на Дальневосточный регион приходится 8 %, Восточно-Сибирский – 2 %. Основным золотодобывающим регионом в России является Дальневосточный, который по количеству разведанных запасов занимает второе место, а по добыче золота первое (удельный вес его в добыче россыпного золота составляет около 70 %).

В Якутии находится более 90 % ресурсного потенциала россыпного олова России, которое сосредоточено в 15 крупных россыпных месторождениях Северо-Янского оловоносного района. В это число входит уникальное по запасам и качеству россыпь «Тирехтях» (50 % всех запасов россыпного олова), не имеющая аналогов в мире. Обеспеченность запасами, пригодными для промышленного освоения при существующих экономических условиях, составляет 20–25 лет.

В последние годы геологами выявлен ряд глубокопогребенных россыпных месторождений алмазов, обработка которых ра-

циональна только подземным способом. Определенный интерес представляет россыпь «Солур», залегающая вблизи рудника «Интернациональный» (г. Мирный). Учитывая прогнозируемый рост удельного веса подземного способа разработки многолетнемерзлых оловоносных и алмазосносных россыпей Якутии, вопросы совершенствования технологии подземной разработки МРМ представляются актуальными и в настоящее время.

Подземная разработка большинства россыпных месторождений Северо-Востока России осуществляется с применением камерно-лавной системы с переносным оборудованием, отличающимся большим удельным весом горно-подготовительных работ (20–25 %), высокими потерями продуктивных песков (12–20 %). Горные работы проводятся небезопасным и малопродуктивным буровзрывным способом. Поэтому есть все основания для вывода о несоответствии применяемой технологии задачам рационального освоения недр и минимизации ущерба, наносимого окружающей среде.

Дальнейшее повышение эффективности разработки россыпных месторождений возможно путем использования успешного опыта применения комплексной механизации в смежных отраслях горнодобывающей промышленности. Однако область эффективного применения проходческих и очистных машин, оснащенных режущими исполнительными органами, ограничена и определяется крепостью горных пород не более 40–50 МПа.

В этой связи задача создания средств механизации для ведения проходческих и очистных работ при подземной разработке МРМ приобретает исключительно важное значение. Для ее решения необходимо проведение комплекса научных исследований физико-механических свойств МГП и изыскание эффективных способов их разрушения. Такая работа активно велась в 1980-е гг. совместными усилиями двух институтов: ИГДС СО РАН и ИГД СО РАН под руководством д-ра техн. наук А.Е. Слепцова. К сожалению, в 1990-е гг. она была прервана из-за событий, произошедших в нашей стране и повлекших за собой крупные изменения в освоении северных территорий. Положительные результаты, полученные в процессе проведения этой большой научно-исследовательской работы, могут быть полезны всем заинтересованным специалистам, в том числе тем, кому предстоит в будущем решать аналогичные задачи.

В монографии изложены горно-геологические условия МРМ и особенности их подземной разработки. Приводится подробный анализ опыта применения технических средств при подземной разработке МРМ не только Якутии, но и всего Северо-

Востока России. Приведены результаты исследований физико-механических и горнотехнологических свойств МКП в натуральных условиях.

Значительное внимание уделено шахтным экспериментальным исследованиям процесса ударного разрушения МГП, а также испытаниям первых опытных образцов исполнительных органов проходческого и очистного комбайнов, сочетающих два способа разрушения: резание и ударное разрушение. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали высокую эффективность ударного разрушения МКП и тем самым доказали принципиальную возможность создания проходческих и очистных машин с исполнительными органами ударного действия. Обосновано положение, что одним из перспективных направлений повышения эффективности подземной разработки МРМ является разработка прогрессивной комбайновой технологии, основанной на применении импульсных машин.

В монографии приводятся перспективные ресурсосберегающие и экологически безопасные технологические решения в области подземной разработки МРМ; дается обоснование применения циклично-поточной технологии очистной добычи песков с использованием проходческих комбайнов (месторождение «Тирехтях»); предлагаются рекомендации по применению камерной системы разработки с выемкой песков проходческим комбайном с закладкой выработанного пространства (месторождение «Солур»).

Авторы надеются, что монография будет способствовать совершенствованию технологии подземной разработки МРМ, повышающей эффективность и безопасность ведения горных работ.

Авторы выражают искреннюю благодарность за научно-организационную помощь в проведении шахтных экспериментальных исследований и испытаний, создании опытных образцов комбайнов сотрудникам ИГД СО РАН и ИГДС СО РАН В.А. Шерстову, В.Н. Кастыркину, Е.А. Мочалову, работникам Производственного объединения «Якутзолото» В.В. Катвицкому, М.Т. Садчикову, а также ответственному редактору монографии профессору, доктору технических наук А.С. Курилко за ценные замечания и рекомендации.

Глава 1

УСЛОВИЯ, ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

1.1. УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛЛАХ-ЮНЯ

Строение четвертичных многолетнемерзлых рыхлых отложений, перекрывающих продуктивный пласт, типично для всех месторождений данного района и достаточно полно освещено в работах А.Ф. Зильберборда и Ф.М. Грависа [1, 2].

Четвертичные отложения, слагающие россыпные месторождения района, расчленяются на следующие генетические типы и комплексы: элювий, аллювий, озерные отложения, ледниковые отложения (моренные, флювиогляциальные, озерно-ледниковые) склоновые отложения (делювиально-солифлюкционные, делювиальные и оползневые).

Литологический состав четвертичных отложений, характерных для россыпных месторождений Аллаха-Юня, приведен на рис. 1.1, а. Элювий представлен продуктами разрушения глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Сверху он перекрывается русловым аллювием, постепенно переходящим внизу в трещиноватую коренную породу. Мощность донного элювия небольшая – от 0,8 до 71,5 м.

Аллювий имеет типичные черты отложений горных рек, в нем преобладают русловые фации, представленные галечниками. Мощность его весьма изменчива, в среднем 1–5 м, иногда 20–25 м. Толща аллювия сложена плоской, слабоокатанной галькой глинистых сланцев, алевролитов, песчаников; количество песчано-глинистого заполнителя в аллювии непостоянно. В мощных толщах аллювия на некоторых месторождениях преобладает песчано-глинистый материал над гравийно-галечниковым.

Озерные отложения, как правило, залегают под аллювием и перекрываются комплексом ледниковых или склоновых отложений. В основании озерной толщи наблюдается чередование нескольких маломощных прослоев аллювия и озерных илов. Выделяются три литологические разновидности озерных отложений: 1) сизовато-серые суглинки с типичной ленточной слоистостью; 2) сизовато-серые опесчаненные суглинки и супеси с

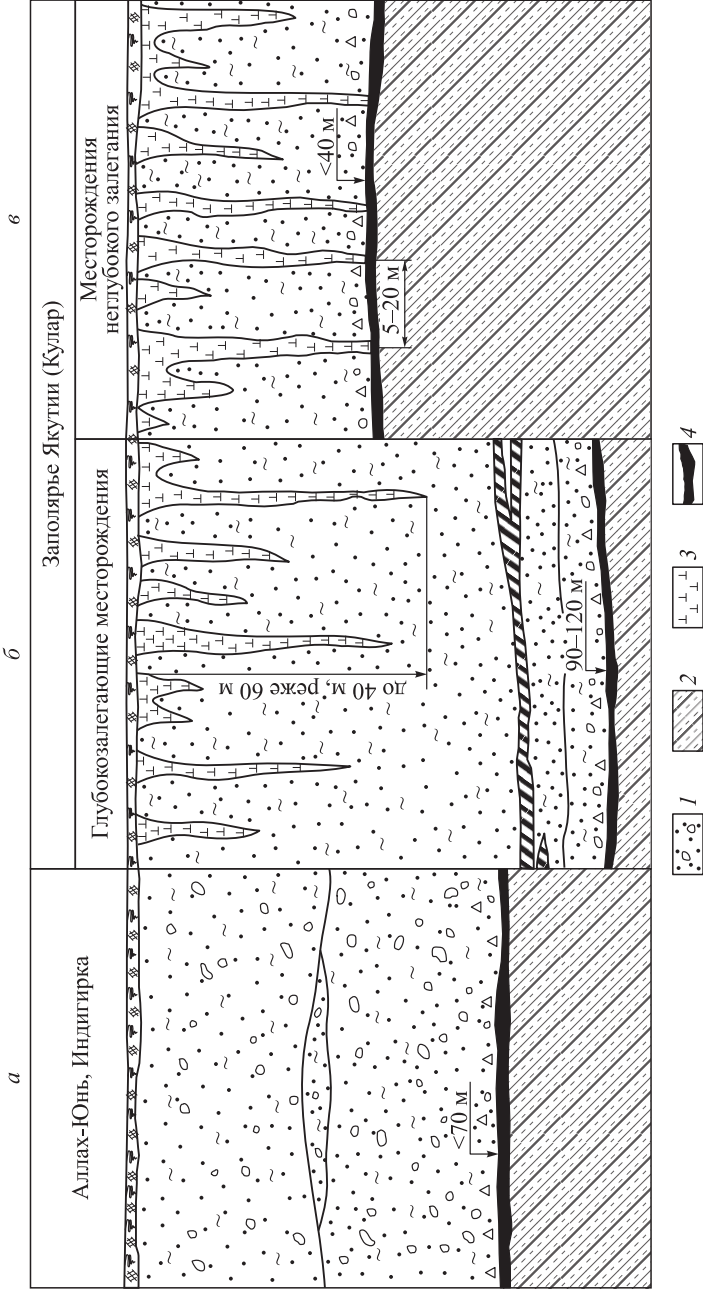


Рис. 1.1. Условия залегания россыпных месторождений области многолетней мерзлоты.
 1 – крупнообломочные породы; 2 – коренные породы; 3 – повторно-жильный лед; 4 – продуктивный пласт

включениями гальки, дресвы (слоистость в осадках незаметна); 3) валуны и галька с супесчаным заполнителем (слоистость в осадках отсутствует). Распределение этих литологических разновидностей озерных отложений по разрезу весьма неравномерное, границы между ними нечеткие. Мощность озерных отложений изменчива – от 2 до 40 м.

Ледниковый комплекс представлен озерно-ледниковыми, флювиогляциальными и моренными отложениями, они залегают под озерными суглинками и перекрываются склоновыми отложениями. Мощность ледниковой толщи колеблется от 10 до 65 м. Она сложена валунами, галькой с песчаным или супесчаным заполнителем. Нередко в валунно-галечной ледниковой толще заметны тонкие, четкие прослойки песка или гравия, что указывает на участие водных потоков в формировании этой толщи.

Склоновые отложения завершают разрез четвертичной толщи. Они перекрывают ледниковые и озерные осадки и местами современный аллювий. Литологический состав склоновых отложений идентичен составу нижележащих ледниковых толщ: валуны, галька, суглинки и супеси; встречается много гранитных валунов и гальки, так как основная масса породы в склоновых отложениях представляет снесенную со склонов и переотложенную морену. Мощность их достигает 25 м.

Продуктивный промышленный пласт приурочен к нижней части наносных отложений и к плотнику, наиболее обогащенному золотом и представленному в различной степени разрушенными коренными породами. Мощность пласта песков – не более 2 м, последний представлен погребенным аллювием, в котором преобладает мелкозернистый материал (песок и супесь) с небольшим включением плоской, слабоокатанной гальки и мелкого щебня. Для погребенного аллювия характерны массивные криогенные текстуры.

Гранулометрический состав продуктивного пласта представлен гравийно-галечным материалом и щебнем (фракция 25 мм и выше), составляющими 30 %; щебнем, дресвой, мелкой галькой (фракция от 5 до 25 мм), которые составляют 39 %; песчано-илистыми частицами (фракция менее 5 мм), составляющими 31 %.

Коэффициент крепости золотоносных многолетнемерзлых рыхлых отложений равен 8, что соответствует IV–VI категориям классификации по М.М. Протодьяконову. Породы продуктивного пласта содержат свободную двуокись кремния, которая, по данным ВНИИ-1, составляет 29,4–32,6 %.

1.2. УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИНДИГИРКИ

По схеме Андрианова выделено шесть золотоносных зон: Эриakit-Делянكيرская, Нерская, Прииндигирская, Тарыно-Эльгинская, Селериканская и Хангаласская [3].

Ниже приведена краткая характеристика россыпей, расположенных в северо-западной части Тарыно-Эльгинской зоны, – на примере месторождений, которые разрабатываются прииском «Маршальский».

Рельеф этого района среднегорный. Геоморфологические условия и дифференциальные геотектонические движения определили приуроченность россыпей к определенным формам рельефа и способствовали сохранению разновозрастных россыпей. Наиболее древние из них – нижнечетвертичные, сохранившиеся в долинах приподнятой и погребенной гидросети. Важное значение имеют россыпи верхнечетвертичного возраста. Некоторые россыпи верхнечетвертичного возраста погребены ледниковыми отложениями (моренами). Большинство россыпей пойменные, встречаются также террасовые, генетически россыпи относятся к аллювиальным, элювиально-делювиальным [3]. Мощность аллювиальных отложений колеблется в пределах 25–40 м и составляет в среднем 30 м. Гранулометрический состав рыхлых отложений представлен в основном галькой осадочных пород, реже грубыми обломками с включениями валунов. Разрез рыхлых четвертичных отложений по одному из месторождений имеет следующий состав (рис. 1.1, б):

- 1) почвенный слой мощностью 0,3 м;
- 2) ледниковые флювиогляциальные отложения со щебнем и слабоокатанной галькой песчаников и глинистых сланцев, цементированных песчано-глинистым заполнителем мощностью 20–25 м;
- 3) аллювий, представленный слабоокатанной галькой и щебнем песчаников, цементированных илом и песком серого цвета мощностью 10,5 м.

Толща рыхлых отложений характеризуется значительной льдистостью, которая фиксируется на протяжении всей россыпи. Продуктивный золотоносный пласт приурочен к контакту аллювия с коренными породами и включает отложения галечников, аллювиальный щебень и трещиноватую часть коренных пород. Они представлены в основном глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, в меньшей степени – песчаниками. Максимальная концентрация золота приурочена к

элювиальному щебню и трещиноватой части коренных пород. Мощность пласта песков не более 2 м. Валунистость характерна для всей толщи многолетнемерзлых пород, как правило, не превышает 20 %. В среднем по месторождению пласт песков состоит на 26 % из аллювиальных галечников и на 74 % из элювия и трещиноватых коренных пород. Гранулометрический состав золотоносных аллювиальных отложений представлен следующим образом:

– валуны и крупные булыжники (фракция более 100–150 мм), содержание которых в песках незначительное, не превышает в целом по месторождению 8,5 %;

– гравийно-галечный материал и элювиальный щебень размером 5–150 мм, составляющие 64,2 %, в том числе по фракциям: 100–20 мм – 33,5 %; 20–5 мм – 30,7 %;

– фракции менее 5 мм в среднем составляют 25,3 %.

Коэффициент крепости золотоносных многолетнемерзлых рыхлых отложений варьируется в среднем от 8 до 12, что соответствует VI–VIII категориям классификации по М.М. Протодьяконову. Содержание свободной двуокиси кремния в породах продуктивного пласта, по данным ЦНИИПП, колеблется от 30 до 60 %.

1.3. УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЛАРА

Большая часть территории района сложена осадочными породами триасового возраста. Широко развиты, особенно в северной части, четвертичные отложения. Они представлены аллювиальными, озерно-болотными, озерно-элювиальными, озерными и делювиальными фациями.

Среднечетвертичные отложения, перекрывая нижнечетвертичные, залегают непосредственно на коренных породах террас и долинных водостоков. Они представлены в основном галечником и песком. Мощность их до 15 м. К этим отложениям приурочена основная часть золотоносных россыпей.

Современные отложения представлены аллювием, коллювием, делювием и элювием надпойменных террас, сложенных галькой, песком, гравием, песчанистыми образованиями, мощностью 5–6 м. Как правило, в золотоносной части склоновых отложений (кроме современной поймы) залегают толща литологически однородных пылеватых суглинков. Мощность их по мере приближения к коренному склону долины изменяется от нескольких сантиметров до 25–30 м.

Россыпные месторождения Кулара отличаются некоторыми специфическими особенностями, характерными для аллювиальных образований, расположенных в зоне тундры. Основное отличие их заключается в криогенных особенностях рыхлых отложений террас и террасоувалов. Результаты работ Куларской геологоразведочной партии, а также исследований, выполненных Институтом мерзлотоведения СО АН СССР и ВНИИ-1, позволили установить некоторые особенности [4].

Морфологическое строение долин исследуемого района сравнительно простое. В них различаются днище долины и террасоувал, который обычно приурочен к склону южной экспозиции. Террасоувалы имеют полого-наклонные поверхности, которые сливаются с коренным склоном долин. В нижнем течении ручьев террасоувал отделяется от днища долины довольно крутым уступом, который выколаживается к верховью и исчезает.

По некоторым морфологическим различиям асимметричные долины можно разделить на три участка: верхний, на котором отсутствует пойма и не прослеживается четко выраженного террасоувала; средний, на котором террасоувал не имеет четкого уступа; нижний, на котором террасоувал отделен от днища долины четким уступом.

Наибольшее содержание металла имеет средняя, золотоносная часть склоновых отложений. Над пойменными отложениями везде, кроме современной поймы, залегает толща литологически однородных пылеватых суглинков. Мощность их по мере приближения к коренному склону долины меняется от нескольких до десятков метров. В толще суглинков встречаются каменные включения. Слоистость нечеткая, образуется за счет тонких прослоек песчанистого материала.

Главной особенностью склоновых отложений является наличие ледяных жил. Ширина их верхней части (на глубине 0,5–1,5 м) составляет 5–6 м. Некоторые жилы пронизывают всю толщу суглинков, внедряясь в галечник и элювий, другие выклиниваются уже на глубине 8–10 м.

Учитывая строение многолетнемерзлой толщи суглинков, ее условно делят на четыре горизонта: 1) вмещающий нижний ярус погребенных жил; 2) преобладание ледяных жил, ориентированных вдоль склона; 3) вмещающий верхний ярус ледяных жил; 4) перекрывающий верхний ярус ледяных жил.

В первом горизонте прослойки льда встречаются весьма редко, влажность пород достигает 50 %. Суглинки второго горизонта отличаются высокой льдистостью. Для них характерна

тонкослоистая криогенная текстура, влажность пород достигает 100 %. Нередко в суглинках этого горизонта наблюдается прерывисто-слоистая криогенная текстура.

Горизонт, в котором преобладают ледяные жилы, ориентированные вдоль склона на террасовалах, составляет основную часть разреза склоновых отложений. Суглинки содержат очень мало кексообразного льда, ледяные прослойки отсутствуют.

Горизонт, вмещающий верхний ярус ледяных жил, залегает на поверхности террасовала и выклинивается к пойме, мощность его – 4–6 м. Для суглинков, в которых формировались ледяные жилы верхнего яруса, характерны вогнутослоистая и тонколинзовидная криогенные текстуры. Суглинки данного горизонта вмещают наиболее крупные ледяные жилы.

Горизонт, перекрывающий верхний ярус ледяных жил, залегает непосредственно под сезонно-талым слоем. На поверхности террасовала в породах данного горизонта многолетнемерзлой толщи встречаются две разновидности криогенных текстур (массивная и слоистая).

Развитие ледяных жил склоновых отложений в данном районе определяется в основном процессами солифлюкции, чем она интенсивнее, тем неблагоприятнее условия развития ледяных жил на склонах, и наоборот. В случае малоинтенсивного солифлюкционно-оползневое смещения талых отложений вниз по склону залегающие под ними ледяные жилы подвергаются некоторым изменениям. Жилы, ориентированные поперек склона, искривляются. В жилах, ориентированных вдоль склона, образуются горизонтальные грунтовые прослойки.

По общепринятой классификации подземных льдов ледяные жилы относятся к категории повторно-жильных льдов, которые представляют собой продукт многократно повторяющегося льдообразования в трещинах, периодически возникающих в одном и том же месте [2]. Этот вид льда слагает наиболее крупные массы подземных льдов – «ископаемые», или «каменные», льды.

По размерам и распространению крупных залежей повторно-жильные льды занимают исключительное положение среди подземных льдов и имеют большое значение в плане инициирования развития термокарстовых процессов, формирующих рельеф и угрожающих возводимым сооружениям.

Литологический разрез рыхлых отложений по одному из месторождений Кулара приведен на рис. 1.1, *в*.

Рыхлые отложения глубокозалегающих россыпей характеризуются следующим литологическим составом (рис. 1.1, *б*):

- 0–29,0 м – жила льда мощностью 24,0 м. Ил с включением алевролитов зеленовато-серого цвета. Лыдистость отложения до 50 %;
- 29,0–32,0 м – галечно-гравийные отложения, цементированные супесчано-глинистым материалом;
- 32,0–57,0 м – чередование пластов песков мелкозернистых, среднезернистых и грубозернистых. Цементирующий материал – лыдистые светло-серые глины;
- 57,0–80,0 м – глина светло-серая, вязкая, каолинового состава с прослоями лигнитов;
- 80,0–95,0 м – галечные отложения, цементированные глиной серого цвета;
- 95,0–100,4 м – продуктивный горизонт. Галечные отложения, цементированные песчано-глинистым материалом темно-серого цвета;
- 100,4–101,2 м – щебень песчано-глинистых, углисто-глинистых сланцев черного цвета. Ниже – коренные породы: углисто-глинистые сланцы черного цвета, пиритизированные.

Промышленный продуктивный пласт приурочен, как правило, к галечниковому горизонту и верхней части разрушенных коренных пород. Мощность пласта составляет 2,2 м. Плотик россыпи представлен темно-серыми, углисто-глинистыми сланцами. В песках присутствует щебень, мелкая плоскоокатанная галька глинистых сланцев, цементированных льдом, илом и глиной.

Гранулометрический состав песков продуктивного пласта в большинстве месторождений следующий: гравийно-галечный материал и щебень (фракция 25 мм и выше) составляют 22 %; щебень, дресва и мелкая галька (фракция 25 мм и ниже) – около 58 %; фракция менее 1 мм – около 30 %.

Коэффициент крепости многолетнемерзлых рыхлых отложений – от 4 до 10, что соответствует V–VI категориям классификации по М.М. Протодяконову. Содержание свободной двуокиси кремния в породах продуктивного пласта, по данным ВНИИ-1, колеблется от 15 до 30 %.

1.4. УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СОЛУР»

Россыпное алмазоносное месторождение «Солур» приурочено к северо-западному склону Мирнинского поднятия, осложняющего Непско-Ботуобинскую антеклизу. Россыпь сформирована за счет размыва и переотложения практически на месте среднекарбоновой залежи юго-восточного фланга россыпи «Во-

сточная» и алмазоносного базального горизонта боруллойской свиты верхней перми.

В геологическом строении россыпи участвуют подстилающие терригенно-карбонатные породы верхнего кембрия, продуктивный пласт юлегорской свиты ранней юры и перекрывающие россыпь неалмазоносные или низкоалмазоносные образования мезозоя [5].

Плотиком россыпи служат терригенно-карбонатные породы холомолохской свиты верхнего кембрия, сложенные доломитовыми и известковыми алевролитами, глинистыми алевролитами и мергелями с подчиненными слоями и пластами глинистых и алевритистых доломитов, известняков и песчаников. В плотике наблюдаются разрывные нарушения северо-западной и северо-восточной ориентировки, что обуславливает на отдельных участках интенсивную трещиноватость. Преобладают трещины открытого и закрытого типов без смещения пластов. Открытые трещины глубиной до 10–30 см чаще всего выполнены льдом, реже – перекрывающим алмазоносным материалом юлегорской свиты.

Продуктивные отложения россыпи «Солур» перекрыты (снизу вверх) неалмазоносными осадочными породами верхней части юлегорской свиты, низкоалмазоносными осадочными породами оруктахской и вакунайкинской свит. Непродуктивные осадочные образования юлегорской свиты представлены песками, темно-серыми алевролитами озерно-болотного генезиса мощностью от 2,0 до 20,0 м.

Отложения оруктахской свиты сложены слабосцементированными полевошпатово-кварцевыми и полимиктовыми песчаниками с редкими включениями мелкой гальки и гравия кварцкремнистых пород. Среди них отмечаются линзовидные прослои песчанистых, реже глинистых алевролитов. Грубообломочные породы горизонтов оруктахской свиты на отдельных участках содержат повышенные концентрации алмазов.

Вакунайкинская свита, представленная только нижней подсвитой, видимой мощностью до 22 м, сложена песчаниками и алевролитами. В ее основании иногда залегают галечно-песчаные образования, порой довольно мощные (от 1–2 до 7–8 м) конгломераты и галечники с грубообломочным материалом.

Мощность перекрывающих продуктивный пласт неалмазоносных пород («торфов») в пределах залежи «Солур» изменяется от 6 до 54 м. Продуктивный пласт залежи «Солур» локализован на нижнепалеозойском плотике в базальном горизонте юлегорской свиты нижней юры.

В продольном сечении абсолютные отметки подошвы продуктивного пласта снижаются в юго-восточном направлении от 320 до 280 м. В поперечных сечениях подошва пласта полого- и крутоволнистая, с относительными превышениями от первых метров до 10–15 м.

Подошва пласта четко выражена, карманообразные углубления небольшого размера встречаются крайне редко.

Верхняя граница пласта часто переходит в перекрывающие отложения юлегорской свиты, определение ее производится по результатам валового и мелкообъемного опробования на содержание алмазов.

В контуре промышленной залежи, протяженностью 1,7 км и шириной от 400 до 900 м, мощность продуктивного пласта изменяется от 0,2 до 4,9 м. Четких закономерностей в изменении мощности не отмечено. В верховьях долины (шахта № 10) мощность пласта максимальная, с уменьшением к линиям 14, 14,5, 17. В целом преобладающие мощности пласта в россыпи – 0,5–1,5 м.

Строение продуктивного горизонта весьма сложное с линзами льда и прослойками пород. По данным ситового анализа в составе продуктивного горизонта преобладает глинисто-алевритовая фракция (35–80 %) и песок мелко-среднезернистый (10–60 %). Остальные гранулометрические классы, включающие песок крупнозернистый, гравий и гальку, – до 10–20 %. В галечниках и конгломератах грубообломочный материал составляет 40–60 % общей массы породы, он представлен преимущественно кварцем, кварцитами и кремнями, реже алевролитами, песчаниками известковистыми, эффузивами, роговиками, обломками конгломератов на пирит-сидеритовом цементе. В приплотиковой части увеличивается содержание дресвы и щебня терригенно-карбонатных пород.

Породы продуктивного горизонта практически рыхлые. Цемент преимущественно песчано-глинистый. Таким образом, подчеркнем основные особенности продуктивного пласта россыпи:

- россыпь не имеет четкой структурной приуроченности к ложу древней долины и может проследиваться на ее бортах;
- формирование россыпи происходило в различных по литологии и генезису осадках;
- грубообломочные, наиболее алмазоносные, отложения залегают в форме удлинённых линз юго-восточного простирания;
- распределение алмазов в россыпи неравномерное, но проследивается общая тенденция линейной направленности по простиранию россыпи;

– наиболее алмазоносными являются грубообломочные отложения верховьев долины (район шахты № 10) и ее юго-западного борта.

В районе развиты надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды со сложной взаимосвязью и весьма неоднородным химическим составом.

На площади работ межмерзлотных вод не встречено, а подмерзлотные встречаются значительно ниже глубины залегания россыпи и влияния на ее обводненность не оказывают.

Надмерзлотные воды сезонно-талого слоя (СТС) распространены повсеместно. Глубина залегания вод СТС от 1,2 до 3,5 м. По химическому составу это гидрокарбонатно-кальциевые, магниевые-кальциевые воды с минерализацией от 0,01 до 0,74 г/л. Судя по запасам, практического значения для хозяйственно-питьевых нужд не имеют.

Геокриологические условия района характеризуются следующими особенностями:

– мощность деятельного (сезонно-протаивающего) слоя составляет 1,5–3,0 м и зависит от свойств слагающих его пород и экспозиции склона;

– МГП простираются на глубину 300–330 м, являются водупором для подмерзлотного метегеро-ичерского водоносного комплекса;

– нулевая изотерма фиксируется на глубинах 760–780 м. Температура пород месторождения изменяется от $-14,2$ °С на глубине 0,5 м (Л-12.5, скв. 8с) до $-0,6$ °С на глубине 60 м (Л-13.5, скв. 8, по состоянию на 03.2001 г.). На шахтах № 8, № 9 при проходке фиксировалась температура от -2 до -10 °С, при вентиляции с колебаниями от -10 °С в зимнее время и до $+2$ °С в летний период, что приводило к оттайке пород в ГВ.

Инженерно-геологические условия сложные, связаны с наличием МГП. Наиболее интенсивно на участке проявляются такие криогенные процессы, как солифлюкция, термокарст, морозное пучение (образование гидролакколитов), растрескивание и выветривание.

Физико-механические исследования пород проводились на участке «Солур» Ботуобинской ГРЭ и Институтом «Якутнипроалмаз».

Объемный вес перекрывающих отложений (алевролиты, пески) составляет $2,15$ т/м³, продуктивного горизонта, представленного галечниками, песками с галькой – $2,28$ т/м³, делювиально-пролювиальными отложениями (глинами, песками с галькой) – $2,43$ т/м³ и подстилающими породами (плотика) – $2,44$ т/м³.

Перекрывающая толща монолитна и однородна, характеризуется низкой прочностью. Предел прочности на сжатие в среднем составляет 4,4 МПа, на растяжение – 1,1 МПа, причем алевролиты в 3 раза прочнее песков.

Продуктивные отложения слаболитифицированы, рыхлые. Средняя прочность гравелитов на сжатие – 1,8 МПа, на растяжение – 0,35 МПа, угол внутреннего трения – 23,5°. Прочностные показатели пород при оттаивании резко снижаются.

Подстилающие отложения являются более прочными. Прочность на сжатие доломитов составляет 11,3 МПа, на растяжение – 1,8 МПа. Влажность – 10,3 %, пористость – 23,3 %.

1.5. УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТИРЕХТЯХ»

Оловоносная россыпь «Тирехтях» расположена в арктической зоне Северо-Восточной части Республики Саха (Якутия) в Усть-Янском улусе. Мощность МГП 200–300 м, температура пород на глубине 50 м –7,5 °С. Структура запасов по данному месторождению приведена в табл. 1.1.

По месторождению «Тирехтях» подсчитаны также запасы полезных компонентов в оловянном концентрате, связанные касситеритом, по категории С₂ – индия (среднее содержание – 21 %), скандия (среднее содержание – 0,2236 %), трехоксида вольфрама (среднее содержание – 1,34 %), пентаоксида ниобия (среднее содержание – 0,0047 %).

Принципиальным отличием этой оловоносной россыпи от разрабатываемых многолетнемерзлых золотосодержащих россыпей являются специфичные горно-геологические условия; чрезвычайно большая ширина – 200–1200 м и мощность продуктивного пласта – 27 м [6].

Месторождение представлено двумя россыпями ближнего сноса различных генетических типов: полигенетической (верхняя часть месторождения, примыкающая к непромышленной

Т а б л и ц а 1.1

Структура запасов месторождения «Тирехтях»

Мощность торфов, м	Мощность песков, м	Запасы песков, %	Содержание олова, г/м ³	Запасы олова, %
14,15	27,15	100	927	85
<i>В том числе для подземной добычи</i>				
–	3,0	3,5	5533	15,0

склоновой россыпи) и аллювиальной (нижняя часть месторождения).

Продуктивными отложениями являются преимущественно аллювиальные разновозрастные и склоново-пролювиальные осадки, в меньшей мере озерно-аллювиальные, элювиально-склоновые отложения и оловоносная кора выветривания. Формирование россыпи продолжалось практически непрерывно с олигоцена до голоцена включительно, но накопление наиболее богатых и мощных пластов ограничивается позднемиоцен-среднеплейстоценовым временем. С наиболее ранним – олигоцен-среднемиоценовым – циклом осаконакпления связан погребенный непромышленный продуктивный пласт мощностью до 2 м, залегающий на глубине более 200 м. Средние содержания олова в нем около 570 г/м^3 , максимальные превышают 2 кг/м^3 . Продуктивный пласт залегаёт на слабо расчлененном коренном ложе Селенняхской впадины (западная часть россыпи «Тирехтях»), локализован в аллювиальных отложениях и частично включает палеоцен-эоценовую оловоносную кору выветривания.

Фактически месторождение «Тирехтях» состоит из двух разновозрастных россыпных залежей, различно ориентированных и пересекающихся в плане. На участке пересечения эти залежи сливаются, и здесь образуется единый продуктивный пласт мощностью до 42 м при ширине до 1350 м, достаточно компактный, хотя и сложной конфигурации.

Сложные перестройки в системе «коренной источник – россыпь» определили весьма неравномерное распределение олова в пределах Тирехтяхского россыпного месторождения. Средние содержания олова $500\text{--}1000 \text{ г/м}^3$ составляют основной фон балансового контура россыпи. Вблизи уступов концентрации металла возрастают, а в пределах Селенняхской впадины резко уменьшаются, составляя в среднем $200\text{--}250 \text{ г/м}^3$. Наиболее богатые и выдержанные струи с содержанием олова, превышающим 2 кг/м^3 , тяготеют к субширотной мелкозалегающей части месторождения, наиболее тесно связанной пространственно с рудными телами месторождения «Дружба». Несмотря на то, что и субширотный уступ был в конце плейстоцена погребен, россыпеобразование на левом борту долины р. Ынгырья-Сала продолжалось и в голоцене. Здесь формируются склоновые и элювиально-склоновые россыпи, залегающие на оловорудных телах месторождения «Дружба» и лишь частично перекрывающие в плане более древние пласты.

При разнородном генетическом составе пород продуктивные отложения представлены одним непрерывным выдержан-

ным пластом оловоносных песков. Верхнюю часть покрывающих пород образуют однородные дисперсные отложения с иловатыми супесями, илом с прослоями щебня и галечником; нижнюю часть – аллювиальные отложения гравийно-галечного состава с песчано-глинистым заполнителем. Валунистость характерна для отдельных участков продуктивного пласта и не превышает 5–10 %, льдистость пород в среднем 15–20 %. Содержание гравийно-галечного материала в породах продуктивного пласта 35–40 %, песчано-глинистого заполнителя 65–60 %. Месторождение характеризуется неравномерным распределением содержания олова, величина которого увеличивается вниз по разрезу продуктивного пласта. Наиболее обогащены нижние части пласта на террасовидных уступах коренного плотика, представленного песчанистыми и глинистыми сланцами, где содержание олова в песках достигает 1000–14 000 г/м³, при среднем по россыпи 800–900 г/м³. Мощность торфов колеблется от 3 до 35 м и составляет в среднем 15 м. Мощность продуктивного пласта колеблется от 6–57 м и составляет в среднем по месторождению 27 м.

Продуктивный пласт песков со средним содержанием олова 5720 г/м³ представлен крупнообломочным материалом 52,7 % от всего объема (галька более 10 мм – 34,2 %; щебень, гравий 2–10 мм – 18,5 %), цементированным песчано-глинистым заполнителем 48,3 % (песок 0,1–0,2 мм – 18,2 %, алевролит 0,005–0,1 мм – 19,5 %, глины менее 0,005 мм – 9,6 %). Температура пород – 8 °С, влажность – 15 %. Во вмещающих породах и продуктивном пласте встречаются ледяные жилы различной мощности и ориентации. Плотик россыпи представлен крутопадающими сильно трещиноватыми песчаниками, песчано-глинистыми и глинистыми сланцами.

1.6. ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Горные работы на приисках Якутии и Северо-Востока РФ имеют ряд характерных особенностей, существенно отличающих их от аналогичных работ в других районах страны. Эти особенности определяются комплексом специфических природных условий – климатических, географических и геологических, а также социально-экономических, находящихся во взаимосвязи [7–8].

Специфичность эксплуатации МРМ заключается в наличии следующих природных факторов, определяющих техноло-

гию разработки и осложняющих ведение горных работ: суровые климатические условия и мерзлое состояние горных пород, сложный и труднодоступный рельеф местности и специфичные условия залегания, обширность и малонаселенность территории и ее отдаленность от основных промышленных районов страны, усложнение условий эксплуатации и постоянно ухудшающееся качество минерального сырья (металлоносных песков).

Наиболее характерной особенностью разработки МРМ является ярко выраженная сезонность выполнения горных работ, обусловленная суровым климатом и мерзлым состоянием рыхлых отложений, слагающих россыпные месторождения. Холодный период года благоприятен для ведения подземных работ (высокая устойчивость выработок, отсутствие водопритока), теплый летний – для открытого способа разработки и промывки песков (естественная оттайка мерзлых песков, наличие воды, необходимой для промывки песков). Ведение подземных работ в теплое время осложняется снижением устойчивости выработок в результате их растепления, появлением водопритока, ухудшением вентиляции и т.д.; производство открытых работ зимой связано со снижением надежности работы механизмов и увеличением числа их поломок, а также с резким повышением себестоимости за счет применения комплекса буровзрывных работ [7, 9].

В конечном итоге сезонность производства выражается в том, что промывочные работы, следовательно и выпуск конечной продукции (драгоценного металла), осуществляются только в теплое время года.

Специфичные условия залегания и морфологические особенности предопределяют небольшие размеры отдельных добычных объектов и значительное их количество в одновременной работе, что приводит к необходимости рассредоточивать горные работы на большом количестве месторождений, зачастую удаленных друг от друга на значительные расстояния. Сильно пересеченный рельеф, большое количество рек и ключей затрудняют доступ к отдельным месторождениям, усложняя дорожное строительство [7]. В условиях большой разбросанности эксплуатационных участков возможно применение только таких механизмов, которые легко переносятся, не требуют длительного монтажа и демонтажа, просты в ремонте [7, 9].

Основные отличия разработки МРМ от эксплуатации угольных и рудных месторождений обусловлены, прежде всего, геологическими особенностями самих россыпей и сводятся к следующим [7–9].

1. Относительная доступность полезного ископаемого, связанная с небольшой глубиной залегания, что дает возможность начать эксплуатацию месторождений почти одновременно со строительством прииска.

2. Имеют место такие отличия, существенно затрудняющие эксплуатацию месторождений, как:

- отсутствие визуальной границы между полезным ископаемым и вмещающими породами (мощность продуктивного пласта определяется по данным эксплуатационного опробования);

- недостаточная обеспеченность разведанными запасами, обусловленная малой интенсивностью и слабой технической оснащенностью геологоразведочных работ;

- необходимость ежегодного, детального проектирования горных работ ввиду изменчивости условий залегания и содержания металла в песках.

3. Рассредоточенность добычных объектов и непостоянство их расположения вследствие небольших размеров россыпных месторождений. Если рудник или шахта представляют собой, как правило, компактное предприятие с концентрацией горных работ в одном месте, то разработка россыпных месторождений осуществляется на протяженной территории, нередко измеряющейся десятками километров. В этих условиях возникает проблема взаимодействия между эксплуатационными участками.

4. Перемещение горных работ в относительно новые районы приводит к значительному росту затрат на добычу конечной продукции, по сравнению с затратами в центральных районах.

5. При освоении труднодоступных участков широко распространен вахтовый метод разработки месторождений.

В условиях Заполярья отмеченные природные особенности эксплуатации россыпных месторождений усугубляются низким уровнем геологической изученности районов разработки, более продолжительной зимой, тундровым характером рельефа и весьма скудной растительностью.

Из социально-экономических факторов можно отметить следующие [9]:

1. В районах разработки россыпных месторождений слабо развита стройиндустрия. Практически на приисках распространено деревянное строительство, осуществляемое силами горнодобывающих предприятий. Сметная стоимость строительства в 3–4 раза выше, чем в центральных районах страны из-за повышенной стоимости оборудования и строительно-монтажных работ, при этом наблюдается тенденция ежегодного роста этих показателей. Строительный лес в районах Заполярья отсутству-

ет, поэтому лес и пиломатериалы привозные, что и обуславливает высокую стоимость строительства.

2. Капиталоемкость разработки россыпных месторождений значительно ниже капиталоемкости разработки рудных и угольных месторождений, причем максимальная величина удельных капложений в россыпную добычу в расчете на единицу добываемой конечной продукции приходится на открытые работы, что вызвано ростом стоимости импортной землеройной техники и снижением среднего содержания металла в песках [8]. В условиях Заполярья эта тенденция распространяется и на подземные работы, где используется импортное самоходное оборудование [9].

3. Значительный удельный вес в структуре эксплуатационных расходов, связанных с разработкой россыпных месторождений, занимают трудовые затраты. Уровень их в 2,5–3 раза выше, чем на горных предприятиях центральных районов страны.

4. Слабое материально-техническое снабжение горнодобывающих предприятий, трудности с обеспечением промышленными материалами и прежде всего дизельным топливом.

5. Недостаточная энергетическая база предприятий, обуславливающая дефицит и относительно высокую стоимость электроэнергии; электроснабжение большинства предприятий, расположенных в районах Заполярья, осуществляется от местных электростанций, работающих на дизельном топливе, которое имеет высокую стоимость.

6. Слабое развитие сельского хозяйства в районах разработки россыпных месторождений.

7. Малонаселенность территории (средняя плотность населения в целом по региону 10 чел. на 100 км²), дефицит трудовых ресурсов, большая текучесть кадров.

Весьма существенное влияние на условия разработки россыпных месторождений оказывают вопросы транспорта, основными особенностями которого являются:

- короткий навигационный период водных транспортных путей (на реках Заполярья 100–130 сут, на трассах Севморпути 50–90 сут);

- острый недостаток дорог круглогодичного действия (срок эксплуатации автозимников, прокладываемых по руслам крупных рек, не превышает 5–6 месяцев);

- весьма большой срок нахождения промышленных грузов в пути (морской и речной транспорт, автозимники) – 250–400 сут; в перевозках участвуют 3–4 вида транспорта при многочисленных перевалках (коэффициент повторности по стране в сред-

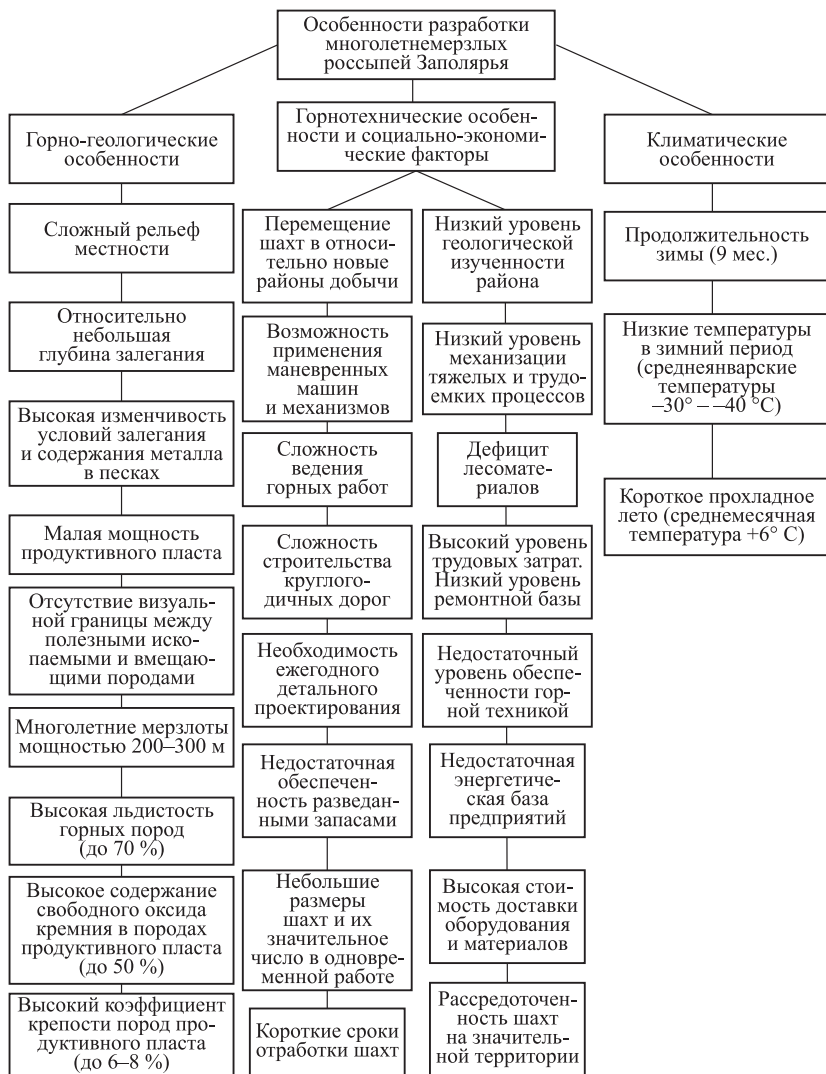


Рис. 1.2. Особенности разработки многолетнемерзлых россыпей Заполярья

нем составляет 3, по Якутии – 6–8); авиацией перевозится незначительная часть грузов;

– условно-транспортные расходы для технических грузов выше их средней преysкурантной стоимости в 2–2,2 раза.

1.7. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Золотодобывающая отрасль. Подземный способ разработки МРМ получил наибольшее распространение в 1960–1980 гг. Удельный вес подземной добычи золота в Республике Саха (Якутия) достигал 35–25 % в общем объеме золотодобычи, а в районах Заполярья этот показатель составлял 90–70 %. В ПО «Якутзолото» подземную разработку осуществляли 8 приисков с общим объемом добычи подземных песков 1,2–2,0 млн м³/год с ежегодной эксплуатацией 30–40 шахт. Наиболее крупными и высокомеханизированными шахтами являлись шахты Заполярья (ГОК «Куларзолото»), где на проходческих и очистных работах впервые в практике подземной разработки МРМ были внедрены проходческие комбайны ГПК-1 при проведении наклонных стволов, самоходное оборудование БК и ПДМ с дизельным приводом), механизированная крепь Т-13 К на очистной выемке песков [10]. Годовая производительность шахт достигала 100–150 тыс. м³, и они были одними из самых крупных россыпных шахт в мире. Большая роль в развитии золотодобывающей отрасли в Республике Саха (Якутия) того времени принадлежала ИГДС СО РАН и ВНИИ-1.

Из-за снижения с 1980 г. объемов добычи подземных песков и резкого уменьшения среднего содержания металла в 2,2–3 раза уже и во вновь осваиваемых районах удельный вес подземного способа разработки в 1990 г. в целом по ПО «Якутзолото» снизился почти в 3 раза и составил в 1990 г. 6,4 %.

С 1985 по 1990 г. значительно увеличилась доля вовлечения в эксплуатацию техногенных россыпей (выемка междукамерных целиков из ранее отработанных шахт). Удельный вес подземной добычи песков из техногенных россыпей по ГОКу «Куларзолото» составлял 30–40 % от общего объема подземной добычи.

Политическая и структурная перестройка в России в 1991–1992 гг. разрушила централизованное государственное управление золотодобывающей отраслью, обеспечивавшее четкую координацию действий внутри отрасли и на межотраслевом уровне. В результате потери контроля со стороны государства в 1992 г. начался спад добычи золота. В 1991–1993 гг. в ходе приватизационных процессов произошло акционирование бывших государственных горнодобывающих предприятий, в отрасли стала доминировать коллективно-кооперативная собственность.

Крупные ГОКи, входившие в состав бывшего ПО «Якутзолото», были ликвидированы. Предприятия, составлявшие их основу, были преобразованы в самостоятельные как в финансовом, так и организационном плане – в многочисленные АО, ООО, МП, ТОО и т.д.

В условиях перехода добывающих предприятий к рыночным отношениям с 1991 по 2001 г. объем добычи подземных песков по Якутии снизился с 760 тыс. м³ до 60–70 тыс. м³, т.е. практически уменьшился более чем в 10 раз. Отработка целиковых россыпей велась в Оймяконском районе. В Усть-Янском и Усть-Майском районах осуществлялась подземная отработка техногенных россыпей, т.е. выемка ранее оставленных междукамерных (междулавных) целиков и доработка контуров из отработанных шахт в период 1960–1970 гг. Объем добычи металла из россыпей подземным способом в настоящее время не превышает 1,5–1,0 % от общего объема золотодобычи.

Касаясь подземной разработки МРМ в Магаданской области и Чукотке, следует отметить, что по имеющейся информации небольшой объем добычи, около 100 тыс. м³/год, производился малыми формами собственности на территории Магаданской области и примерно 100–120 тыс. м³/год – на Чукотке (на предприятиях бывшего Билибинского и Полярнинского ГОКа). Если в Центральной Колыме в основном осуществлялась разработка техногенных россыпей (доработка запасов отработанных ранее шахт), то в Чукотском автономном округе преобладала разработка целиковых месторождений.

В настоящее время в подземную разработку вовлекаются мелкие россыпи с небольшой глубиной залегания 25–30 м, которые обрабатываются сезонно (только в зимний период) и имеют годовую производительность 10–20 тыс. м³. Основным средством механизации производственных процессов является применение на буровых работах – ручных перфораторов, на доставке и транспортировке песков – скреперных установок. Применяемая система разработки – камерно-лавная с потерями полезного ископаемого в недрах (целиках) 12–20 %.

На наш взгляд, для повышения эффективности отработки шахты в труднодоступной местности с годовой производительностью до 30 тыс. м³ необходимо рассмотреть возможность применения как альтернативного варианта комплекса мобильного оборудования, используемого в оборонной промышленности [10]. Мобильный механизированный горнопроходческий комплекс представляет комплекс серийных, выпускаемых отечественной промышленностью машин и механизмов, предназначенных

для проведения ГВ, составляющих в совокупности подземные сооружения различного назначения.

Касаясь перспектив подземной разработки крупных золотосодержащих россыпей Якутии, следует отметить первоочередность освоения Эльгинской россыпи в Оймяконском районе (территория деятельности бывшего прииска «Маршалский» ГОКА «Индигирзолото»). В 1990 г. ИГДС СО РАН было выполнено технико-экономическое обоснование целесообразности разработки россыпи «Эльги» с использованием комплексов самоходного отечественного оборудования БК и ПДМ. Благоприятные горнотехнические условия эксплуатации россыпи (небольшая глубина разработки, относительно равномерная ширина и большая длина россыпи, высокая устойчивость пород кровли) способствуют ее применению. Следует отметить, что россыпь была уже ранее частично отработана и в действующей шахте в 1970–1974 гг. институтом Ирриредмет МЦМ СССР и ИФТПС ЯФ СО АН СССР проводились исследования по изысканию рациональных способов управления кровлей, регулирования теплового и пылевого режимов. Разработанные практические рекомендации были внедрены в последующие годы при дальнейшей отработке россыпи. В 1985 г. эксплуатация россыпи была прекращена.

Оловодобывающая отрасль. Практически все разведанные запасы олова России (95 %) сосредоточены в Дальневосточном регионе, при этом на Республику Саха (Якутия) приходится более 42 % общероссийских запасов олова. 15 крупных россыпей олова республики заключают в себя более 90 % ресурсных потенциалов россыпного металла страны. Среди них на балансе ОАО «Депутатсколово» находилась уникальная по запасам, так и по качеству песков россыпь «Тирехтях», не имеющая аналогов в России и мире. Освоение ее начато в 1997–1998 гг. подземным способом, при глубине разработки 40 м [6].

Принципиальное отличие этой оловоносной россыпи от шахт, разрабатывающих золотосодержащие россыпи, – чрезвычайно большая ширина россыпи (200–1200 м) и мощность продуктивного пласта, достигающая 27 м.

В эксплуатацию была вовлечена нижняя, наиболее обогащенная, часть месторождения с выемочной мощностью продуктивного пласта 3 м. Технология подземной разработки россыпи была основана на буровзрывной отбойке песков с использованием как переносного, так и импортного самоходного оборудования БК и дизельных ПДМ. Система разработки – камерно-лаванная с оставлением междукламерных, в основном ленточных,

целиков шириной 3 м, реже Г- и П-образной формы. Потери в целиках (при применении последних) достигали 17–20 %. Ширина камер 15–18 м, длина 50 м; при параметрах шахтных полей 200х600 м количество обрабатываемых лав составляло 80–100. Годовая производительность шахты достигала 180 тыс. м³.

Совершенствование технологии подземной разработки этой россыпи должно охватывать следующие основные направления: 1) применение современных средств механизации проходческих и очистных работ с учетом увеличения выемочной мощности до 5 м; 2) создание и внедрение новой циклично-поточной технологии, предусматривающей применение механического разрушения МКП крепостью 5–6 по шкале проф. М.М. Протодяконова, с использованием мощных проходческих комбайнов, позволяющих вынимать продуктивный пласт мощностью до 5 м. Транспортировку песков на поверхность необходимо осуществлять с помощью автомобильного транспорта. Использование автомобильного транспорта вместо ленточных конвейеров в сочетании с высокопроизводительными ПДМ позволит повысить в 2 раза производительность труда подземного горнорабочего – до 18–20 м³/чел.смену. Кроме того, как показали предварительные расчеты, эксплуатация автотранспорта особенно выгодна при обработке крупных шахт и позволяет сосредоточить промывку подземных песков в одном месте и на одной промывочной установке вместо трех, расположенных в разных местах.

Алмазодобывающая отрасль. Из имеющихся запасов алмазонасных россыпей, предназначенных для разработки подземным способом, интерес представляет россыпь «Солур-Восточная», которая находится вблизи рудника «Интернациональный» (г. Мирный). В 1991–1992 гг. ИГДС СО РАН выполнено технико-экономическое обоснование целесообразности освоения данного месторождения подземным способом камерно-лавной системой разработки с применением самоходного оборудования и проходческих комбайнов. В 2002–2003 гг. была осуществлена опытно-промышленная обработка месторождения с организацией экспериментального участка с учетом рекомендаций ИГДС СО РАН. В настоящее время проект обработки месторождения выполнил Новосибирский проектно-технологический институт (НПТИ), и ОАО «АЛРОСА» готовится к его реализации.

Кроме того, подземным способом могут быть обработаны отдельные участки разведанной Верхне-Дыхтарской алмазонасной россыпи, которые вследствие значительной глубины залегания и небольшой мощности продуктивного пласта нецелесообразно обрабатывать открытым способом.

Глава 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2.1. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проведение подготовительно-нарезных выработок является одним из основных, трудоемких и небезопасных процессов подземной разработки россыпных месторождений. Объем горнопроходческих работ в зависимости от способа вскрытия и принятой системы разработки колеблется от 16 до 25 %. Производительность труда на проходческих работах на 30–40 % ниже, чем на очистных [11, 12].

Поперечное сечение вскрывающих и подготовительных выработок определяется принятыми средствами доставки и транспортировки песков. Наиболее распространенные из них приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Сечение основных вскрывающих, подготовительных и нарезных выработок [11]

Тип выработки	Угол заложения	Средства доставки	Сечение, м ²
<i>Вскрывающие</i>			
Наклонный транспортный ствол	16°	Ленточный конвейер	7–8; 10
		Два ленточных конвейера	13,5
Наклонный вспомогательный ствол	28°	Односкиповой подъем	7,2; 9
		Двухскиповой подъем	9–13
	28°	Односкиповой подъем	7,6–9
	8°	Самоходное оборудование	12–18
Вертикальный ствол	90°	Односкиповой подъем	6
Вертикальный шурф	90°	Односкиповой подъем	2,4–3
<i>Подготовительные</i>			
Транспортный штрек		Скреперная лебедка	7,6–8; 10
		Ленточный конвейер	7–8
		Самоходное оборудование	12–18
Вентиляционные штреки		Скреперная лебедка	4,5–5,4
<i>Нарезные</i>			
Рассечки		Скреперная лебедка	4,0; 5,4

Технология работ по проведению горных выработок включает бурение шпуров ручными перфораторами, ручное зарядание стандартными ВВ, электрическое взрывание, проветривание забоя, уборку и доставку взорванной породы.

Бурение шпуров производится ручными перфораторами с пневмоподдержками ПР-30РУ, ПР-30РШ, ПР-30РК, ПР-30ВРШ. Для транспортировки отбитых пород при проходке штреков применяются в основном скреперные лебедки 55ЛС-2С и 100ЛС-2С, а на крупных шахтах ленточные конвейеры. Для подъема песков на поверхность на РШ используются ленточные конвейеры КЛ-150, КЛШ-500 или КЛ-500.

В 1976–1985 гг. бурение шпуров в подготовительных выработках осуществлялось самоходными БК «Айр-Мини-Бур» и «Миниматик-Тамрок» [11]. На некоторых шахтах работали единичные экземпляры ПДМ «Торо-200Д» «ЛК-1», «ПД-5А».

Самоходные ПДМ ГСТ-2Б использовались при проведении выработок сечением $7,5 \text{ м}^2$ при ширине 3,4 м, высоте 2,2 м, равной выемочной мощности песков. При коэффициенте внутреннего использования машин 0,38 средняя проходка выработок в месяц одной машиной при средней длине транспортирования 170 м составила 325 м. При движении в проходческих забоях с неровной подошвой скорость ПДМ изменялась от 5,5 до 6,0 км/ч, а при работе в панельных и транспортных штреках увеличивалась до 10,5–11,6 км/ч. Средняя скорость движения машин при проходке выработок составляла 3,2 км/ч. При такой скорости движения и расстоянии доставки 100 м удельный вес времени на транспортирование достигает 60 % и более.

Следует отметить, что сменная производительность машин ГСТ-2Б в 2,3–2,5 раза превышает сменную производительность лебедки 55ЛС-2С. Время уборки породы из забоя машиной при расстоянии транспортирования 100 м – 20–25 мин, тогда как при скреперной уборке – 80–90 мин [13–16].

На рис. 2.1 и 2.2 приведены основные технико-экономические показатели применения ПДМ и БК на ГОКе «Куларзолото». Наиболее высокие показатели использования ПДМ ГСТ-2Б и БК Айр-Мини-Бур были достигнуты при опытно-промышленных испытаниях самоходной техники. Среднемесячная производительность в этот период составила для ПДМ и БК около $50 \text{ м}^3/\text{смену}$, а коэффициент использования оборудования – 0,50–0,55. В связи с износом и поломками машин отмечались относительно низкие показатели использования самоходного оборудования. Поступление новых марок машин: ПДМ – «Торо-

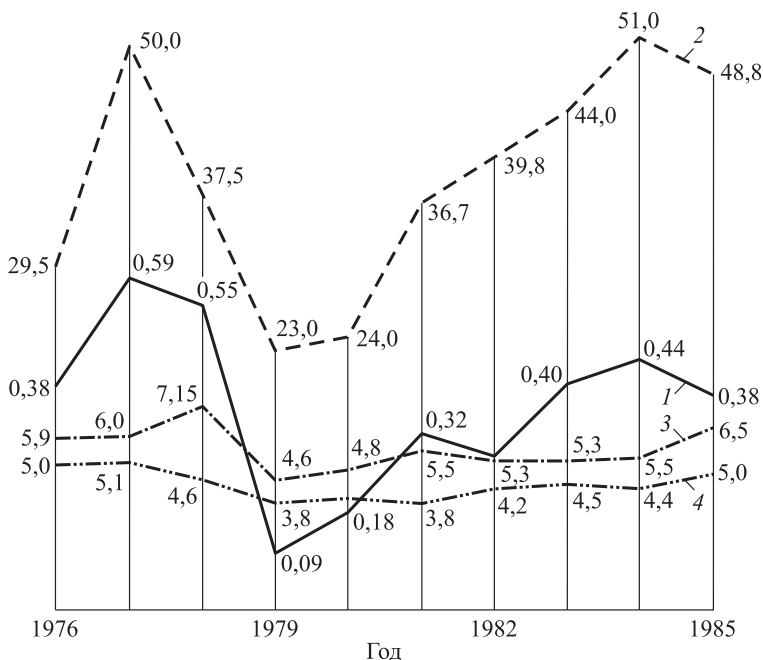


Рис. 2.1. Техничко-экономические показатели использования самоходной техники на ГОК «Куларзолото» на проходке ГВ [16].

1 – коэффициент использования ПДМ; 2 – среднесменная производительность на 1 машину, м³/смену; 3 – производительность труда на ГПР с применением ПДМ, м³/чел; 4 – производительность труда на ГПР с применением переносного оборудования, м³/чел. смену

200Д» и БК – «Тамрок» с более высокими техническими характеристиками позволило увеличить среднюю сменную производительность для ПДМ «Торо-200Д» до 45–50 м³/смену, для БК «Тамрок» – до 50 м³/смену.

Средняя длина транспортирования горной массы ПДМ увеличилась почти в 1,5 раза по сравнению с рекомендуемой рациональной длиной транспортировки 130–150 м, что также отрицательно повлияло на производительность машин.

Себестоимость проходческих работ, выполняемых с помощью самоходной техники, в значительной степени определяется их производительностью. Наиболее высокая себестоимость проходческих работ имела место в 1979–1980 гг. когда объем выполняемых работ был минимальным (рис. 2.3). Кроме того, рост себестоимости проходческих работ объясняется в основ-

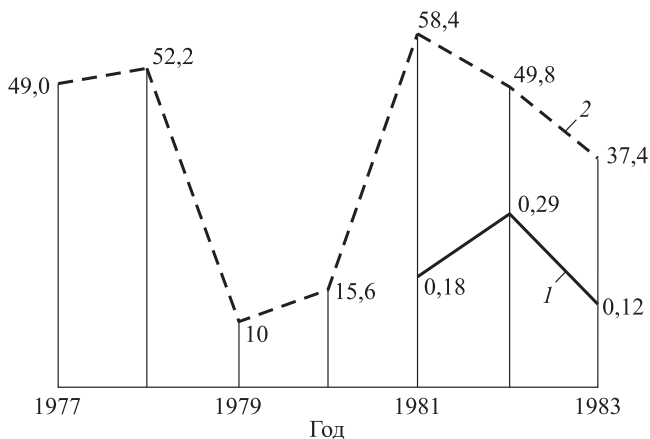


Рис. 2.2. Основные технико-экономические показатели использования БК «Айр-Мини-Бур» и «Тамрок» на проходке ГВ [16].

1 – коэффициент использования буровых кареток; 2 – производительность труда на 1 машину м³/смену

ном повышением закупочных цен на новое импортное оборудование и запасные части.

Годовая выработка ПДМ ГСТ-2Б составила 25–30 тыс. м³, ЛК – 1 – 35–40 тыс. м³, Торо-200Д – 45 тыс. м³ (максимальная – 50 тыс. м³), ПД-5А – более 55 тыс. м³.

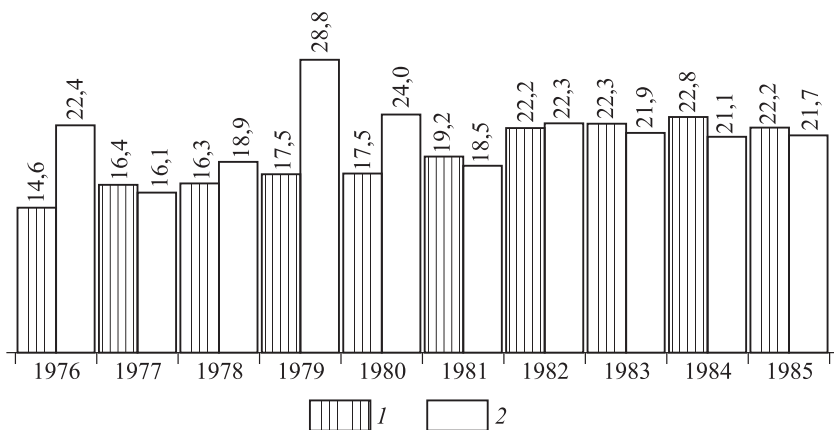


Рис. 2.3. Себестоимость проведения ГПР [16]

1 – при применении переносного оборудования, руб./м³; 2 – при применении ПДМ, руб./м³

Производительность труда при применении переносного оборудования составляла на проходческих работах 4–5 м³/чел. смену, а при использовании самоходной техники производительность труда на проходческих работах достигала 11–15 м³/чел. смену. Организация работ на шахтах трехсменная при одно-двух-часовом перерыве между сменами.

Испытание работы БК на очистной выемке проводили по двум схемам расположения относительно забоя: продольное и фронтальное [13]. Продольное расположение БК применялось при камерно-лавной системе в начале развития очистных работ в камере, когда обустройство забоя осуществляется из расщелин шириной 3,5 м. При этом бурение шпуров производится одним перфоратором. Использование второго перфоратора в стесненных условиях весьма затруднительно. Из одной позиции БК бурится только один вертикальный ряд из трех шпуров, после чего необходима смена позиций. На очистной забой длиной 50 м приходится более 50 смен позиций. Таким образом, первоначальная ширина выработки должна быть не менее 4,4–5 м, так как длина манипулятора – 4 м. Использование второго перфоратора становится возможным при ширине выработки 6 м, когда БК можно расположить под углом к линии забоя [13]. Общее время бурения шпура глубиной 1,6–1,8 м не превышает 2 мин.

Фронтальное расположение БК относительно забоя и бурение двумя перфораторами становится возможным при ширине выработанного пространства более 9 м [14]. Из одной позиции при этом бурится 5–6 вертикальных рядов с общим количеством шпуров 15–18, число переездов сокращается до 10.

Основным преимуществом фронтального расположения БК по сравнению с продольным является возможность использования в одновременной работе обоих перфораторов. Хронометражные наблюдения и расчеты показали, что сменная производительность БК при продольном расположении к забою составляет 240, при фронтальном 300 шпурометров [13]. Опыт эксплуатации БК при камерно-лавной системе показал, что их продольное расположение в камере в начале развития очистных работ снижает эффективность бурения на 25–30 %. В связи с этим для эффективного использования дорогостоящих БК необходима разработка более совершенных технологических схем очистной добычи.

Применение ПДМ на очистных работах позволило поднять производительность труда на доставке горной массы по

забойной группе до 33,4 м³/чел. смену против 9,6 м³/чел. смену при обычной технологии со скреперованием [13–15]. Опыт эксплуатации ПДМ показал, что эффективнее эти машины используются на очистных работах, коэффициент машинного времени – 0,55, а на подготовительно-нарезных работах всего 0,20–0,40.

Продолжительность загрузки ковша зависит от высоты навала породы, наличия негабаритов и плотности отбитого массива. Средняя продолжительность загрузки ковша – 0,8 мин, минимальная – 0,3 мин. Время транспортировки материала ПДМ до разгрузочного пункта и обратно, при длине пути 110–130 м составляет около 2 мин, операция разгрузки занимала до 0,5 мин. Следовательно, максимальное время, затрачиваемое на один цикл при указанной длине транспортировки, равно 3,3–3,5 мин [14, 15].

В лаве ПДМ, прежде всего, убирались пески из призабойного пространства, что позволяло освободить место для работы БК. Зачистка оставшейся части лавы совмещалась во времени с операцией бурения. При непрерывной работе четырех машин за три смены убирались пески из четырех камер-лав, при этом месячная выработка на одну списочную машину достигла 3000 м³ горной массы.

Несмотря на высокую работоспособность и эксплуатационную надежность ПДМ, в процессе их эксплуатации были выявлены характерные неисправности и поломки отдельных узлов, а также повышенный износ некоторых деталей. Значительная часть ПДМ была переведена на отечественные пневмошины (14–20 и 15–20 дюймов) с использованием ободов колес автомобилей МАЗ-500 и КраЗ-500 с незначительной их модернизацией. Кроме этого была изменена конструктивная схема установки резервуара катализатора с использованием компенсатора от автомобиля КраЗ-256, модернизирована схема электрооборудования. Приводы вспомогательных агрегатов (вентилятора, компрессора и генератора) были переведены на отечественные клиновые ремни [15, 16].

Дальнейшее поддержание работоспособности импортных ПДМ осуществлялось за счет использования отечественных запасных частей и агрегатов.

Таким образом, первый опыт освоения самоходных машин на шахте № 18 показал техническую возможность и экономическую целесообразность их применения при подземной разработке россыпных месторождений [15–17].

2.2. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Впервые автомобильный транспорт на доставке и транспортировке подземных песков был успешно применен в Магаданской области (Чукотка) в шахтах Билибинского ГОКа. Использовались автосамосвалы «Татра-138», оснащенные каталитическими нейтрализаторами выхлопных газов марки КИД-180С конструкции ЛАНЭ (Москва). Опыт применения автотранспорта при отработке шахт № 12 и № 28 с выемочной мощностью пласта песков 2,5–3 м позволил сделать следующие выводы [18].

1. Применение автосамосвалов для транспортирования песков в рациональное для складирования место на поверхности, а также отвалообразование технически целесообразно и экономически выгодно на шахтах с запасом песков не менее 50–100 тыс. м³.

Автомобильный шахтный транспорт в сочетании с другими высокопроизводительными ПДМ по выработкам панели позволяет поднять валовую производительность труда рабочих на очистной выемке песков до 15–20 м³/смену и снизить их себестоимость не менее чем на 10–15 %.

2. Эксплуатация автотранспорта особенно выгодна на крупных шахтах, где удельные расходы на вскрытие большого по площади шахтного поля будут намного меньше в сравнении с небольшим.

3. Вскрытие шахтных полей рационально производить двумя транспортными стволами (въездным и выездным), соединенными сборными штреками, с односторонним проездом автомобилей по этим капитальным выработкам.

4. Применение шахтного автотранспорта выгодно не только на очистных работах, но и при проведении подготовительных, нарезных и вскрывающих (капитальных) выработок – стволов и сборного штрека. При этом производительность труда рабочих при проведении подготовительных выработок увеличивается почти в 2 раза.

Использование автосамосвалов на проходке выработок позволяет значительно увеличить скорость их подвигания и значительно уменьшить сроки вскрытия и подготовки шахтных полей, а также уменьшить затраты на эти виды работ на 20–30 %, особенно выработок большой протяженности. При этом исключаются трудоемкие ручные операции на монтаж и демонтирование транспортных средств, как это требуется при транспортировании горной массы несколькими ставами ленточных конвейеров.

5. Эксплуатация дизельных автосамосвалов «Татра-138» при разработке россыпных месторождений (в течение длительной зимы на Северо-Востоке) признана безопасной, при достаточном разжижении выхлопных газов обособленной вентиляционной струей в выработках, по которым двигались автомобили. Минимальная токсичность выхлопных газов указанных автомобилей должна обеспечиваться использованием дизелей с моторесурсом не более 5 тыс. ч, применением каталитических нейтрализаторов типа КДН-240С с предварительным подогревом выхлопных газов, также применением присадок к топливу, понижающих токсичность выхлопных газов. При этом норма подачи свежего воздуха на один работающий в шахте автомобиль «Татра-138» при статическом разжижении выхлопных газов должна быть равна не менее $8 \text{ м}^3/\text{с}$. Выработки, предназначенные для продвижения автомобилей, должны проветриваться обособленной вентиляционной струей. Всасывающий способ проветривания (применявшийся на шахте № 12) не рекомендуется, так как не обеспечивает необходимой степени разжижения выхлопных газов и требует большей производительности вентиляторных установок, чем нагнетательный.

6. На шахтах, эксплуатирующихся с применением автотранспорта, обеспечивается возможность рационального складирования песков, что позволяет намного уменьшить расходы на их переработку на обогатительных установках. Кроме того, отвалы песков можно создавать оптимальной формы и параметров, укладывать пески нескольких шахт в одном общем отвале для высокопроизводительной обогатительной установки, а также избегать перемешивания песков с пустой породой от проходки шахтных стволов и складировать пески селективно в зависимости от среднего содержания в них полезного компонента.

2.3. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОХОДЧЕСКИХ И ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

По рекомендациям Якутского государственного университета в 1980-е гг. на шахтах ГОКа «Куларзолото» были успешно внедрены на проходке наклонных стволов с углом наклона до 14° горнопроходческие комбайны типа ГПК [19]. Наличие в верхней части склоновых отложений льда и однородных по литологическому составу илисто-глинистых пород (супесей, суглинков) благоприятствовало применению проходческих комбайнов с режущим исполнительным органом. Внедрение горнопроходческих комбайнов типа ГПК на россыпных шахтах позволило значительно снизить трудоемкость и повысить степень механи-

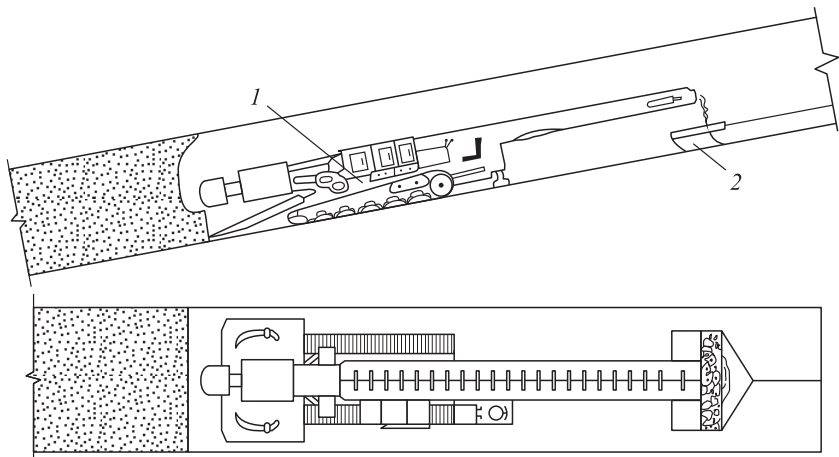


Рис. 2.4. Технологическая схема проходки стволов комбайном ГПКС.
 1 – ГПКС; 2 – скреперная лебедка

зации проходческих работ до 95 %, ускорить ввод в эксплуатацию шахтных полей, сократить затраты на поддержание стволов в период эксплуатации. Производительность труда горнорабочих при комбайновой проходке стволов длиной до 200 м составила 11–12 м³/чел. смену, при длине более 200 м – 6–7 м³/чел. смену, что в 2 раза выше, чем при буровзрывной проходке. Выработка на 1 машину в год составила до 1800 пог. м.

Наиболее распространенная технологическая схема проходки стволов с применением комбайнов ГПК приведена на рис. 2.4. Для этой схемы (сечение выработки равно 8,8 м²) подвигание за цикл составило 0,5 пог. м, а подвигание за сутки – 9 пог. м. В звене – 3 рабочих.

С ухудшением горно-геологических условий при достижении комбайнами аллювиальных отложений, где преобладают МКП, объемы комбайновой проходки резко сократились в связи с резким снижением среднесменной скорости проходки, не превышающей 0,5 пог. м, при удельном расходе резцов свыше 2 шт/м³. Основная причина выхода из строя резцов (более 75 %) – отрыв твердого сплава вследствие высоких ударных нагрузок при контакте резца с кварцевыми включениями. Кроме того, процесс разрушения таких пород сопровождался обильным пылевыведением, при этом комбайн работает с максимальной нагрузкой на исполнительном органе. В пределах слоя гравийно-галечниковых пород, где содержатся включения кварца крупностью свыше 80–100 мм (до 10 % по объему), комбайно-

Таблица 2.2

Основные показатели работы комбайнов ГПКС по ГОКу «Куларзолото» за 1983–1987 гг. [19]

Показатель	1983 г.	1984 г.	1985 г.	1986 г.	1987 г.
Списочное количество машин, шт.	1,4	9,0	8,7	7,1	8,9
Машино-часов в работе	4886	20 679	17 107	17 577	16 745
Общий объем проходки стволов, пог.м/тыс.м ³	3950/45,48	4764/50,29	4071/43,56	4327/49,3	5031/57,59
Объем проходки наклонных стволов комбайнами ГПКС	3691/40,36	4424/47,74	2384/24,18	3073/32,04	2758/26,59
Выработка на 1 списочную машину, пог.м/тыс.м ³	470,2/6,49	529,3/5,06	467,9/5,01	609,4/6,94	565,4/6,48
Производительность труда м ³ /чел.смену:					
БВР	5,4	5,5	5,5	5,8	6,0
ГПКС	5,8	6,4	6,4	6,7	6,9
Себестоимость проходки, руб/м ³ :					
БВР	23,54	22,85	22,83	22,72	22,73
ГПКС	20,79	20,18	20,11	19,37	20,18
Удельный вес проходки ГПКС, %	83,4	92,8	75,5	71,0	54,8
Экономический эффект, тыс.руб.		108,7		87,9	

вая проходка оказалась неэффективной вследствие чрезвычайно большого расхода режущего инструмента [20].

Основные показатели работы комбайна ГПК по ГОКу «Куларзолото» за 1983–1987 гг. приведены в табл. 2.2.

Опыт эксплуатации комбайнов в различных горно-геологических условиях россыпных месторождений Кулара выявил ряд конструктивных недостатков [20]. Наиболее слабыми узлами комбайна ГПК-3 являются механизм погрузки и скребковый конвейер – до 70 % всех отказов, до 10 % всех отказов дает гидравлическая система. Недостаточен и моторесурс гидронасосов НШ-32, который не превышает 200 машиночасов.

Одним из главных факторов, влияющих на эффективность разрушения МКП россыпных шахт Заполярья, является износостойкость режущего инструмента комбайна.

Кафедрой горных машин Якутского государственного университета были проведены комплексные исследования, позволившие вы-

явить закономерности процесса изнашивания резцов при проведении выработок комбайнами ГПК-3 в условиях россыпных шахт Кулара [20]. В табл. 2.3 приведены данные по износу резцов при проходке наклонных стволов в различных породах шахты «Энтузиастов».

Установлено, что средний удельный расход резцов И-90МБ и И-90В для условий проходки стволов по линзам льда, лигнитам и илам составил 0,04–0,12 шт./м³. При проходке стволов в иристо-глинистых отложениях с включениями гальки, щебня, кварца до 20 %, средний расход резцов составил 1,08 шт./м³, а при работе комбайна в таких же отложениях с включениями

Т а б л и ц а 2.3

Причины выхода из строя резцов И-90МБ при разрушении МКП [20]

Наименование породы	Причины выхода из строя резцов, %			
	износ	поломка, отрыв твердых сплавов пластин	поломка режущей части по телу резца	потери
Лед, льдистый ил	32,5	0,5	65	2,0
Иристо-песчано-глинистые отложения	22,0	4,0	72,0	2,0
Дресва, лигниты	33,0	2,5	64,0	3,5
Глины вязкие, с илами и песком	29,5	3,5	63,0	4,0
Мелко-, средне- и крупнозернистый песок с илами	15,3	12,0	68,7	4,0
Иристо-глинистые отложения с включениями гальки, щебня, кварца (до 20 %)	10,0	17,0	69,0	5,0
Иристо-глинистые отложения с включениями кварца (до 20 %)	7,0	25,0	48,0	10,0
Иристо-глинистые отложения с включениями гальки, щебня, мелкого кварца (до 30 %)	5,0	50,5	31,5	13,0
Песок мелко- и среднезернистый с включениями кварца крупностью до 100 мм, иристо-глинистые отложения с включениями кварца крупностью до 200 мм (свыше 30 %)	0,5	75,5	4,0	26,0

гальки, щебня и кварца до 30 % удельный расход резцов составил 3,00–3,48 шт./м³.

Анализ опыта работы проходческих комбайнов при проходке шахтных стволов в условиях Кулара позволил установить рациональные области их применения [19]. Относительно неблагоприятными условиями при проходке стволов комбайнами ГПК-3 следует считать илесто-глинистые отложения с мелкими включениями кварца до 10 % (крупностью до 20 мм). Коэффициент крепости пород равен 3. Среднесменная скорость проходки не превышала 1,5 м (при работе по илистым породам без включений – 3,8–5,5 м). Расход резцов составил 0,12 шт./м³. Выход резцов из строя за счет отрыва твердого сплава достигает 12–15 %.

Использование комбайнов неэффективно при наличии в породном массиве илесто-глинистых отложений включений кварца (кварцевые булыжники) крупностью свыше 20 мм в объеме до 20 %. Среднесменная скорость проходки составила 1,0–1,2 м, удельный расход резцов – 1,08 шт./м³, при этом доля выхода резцов за счет отрыва твердого сплава увеличена до 25 %.

Крайне неблагоприятным фактором являются илесто-глинистые отложения с включениями глин, щебня, кварца (до 30 %) с крупностью до 50 мм. Среднесменная скорость проходки стволов – 0,5–0,75 м, удельный расход резцов 3–3,4 шт./м³, выход резцов из строя превышает 50 %.

Проходка выработок комбайнами типа ГПК-3 практически невозможна при галечно-щебенистых отложениях (продуктивный пласт), с включениями кварца крупностью свыше 80–100 мм до 20 % по объему. Крепость пород по М.М. Протодяконову – 6. Среднесменная скорость проходки не превышала 0,5 м, удельный расход резцов – 4–5 шт./м³. Основной причиной выхода из строя резцов (более 75 %) является отрыв твердого сплава вследствие ударных нагрузок при контакте резца с кварцевыми включениями.

Таким образом, проходческие комбайны типа ГПК-3 целесообразно применять при проходке выработок в льдистых и илесто-глинистых породах с кварцевыми включениями размером не более 20 мм (до 10 %) с крепостью пород 3–4 по М.М. Протодяконову.

В работе [21] приводятся результаты испытаний проходческого комбайна ГПКС силами ВНИИ-1 в россыпных шахтах Магаданской области (Полярнинский ГОК).

На рис. 2.5 представлена зависимость расхода резцов от крепости пород (по буримости).

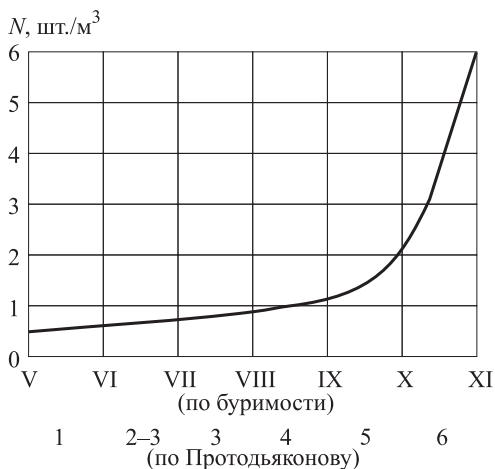


Рис. 2.5. Зависимость расхода резцов от крепости пород по буримости

Зависимость расхода резцов от крепости пород (рис. 2.5) иллюстрирует тот факт, что при разрушении льдонасыщенных пород с ограниченным числом включений крупностью до 50 мм до VI категории по буримости расход резцов составлял 0,5 шт./м³, а при отбойке пород крепостью XI категории, содержащих кварцевые включения гальки до 100 мм не более 20 % общего объема, расход увеличился до 6 шт./м³.

На рис. 2.6 представлена зависимость изменения среднего значения максимальной производительности комбайнов ГПКС от крепости пород (по буримости)

С увеличением крепости пород от 1 до 6 (по шкале Протодяконова) происходит снижение среднего значения максимальной производительности комбайна от 33 до 18 м³/смену.

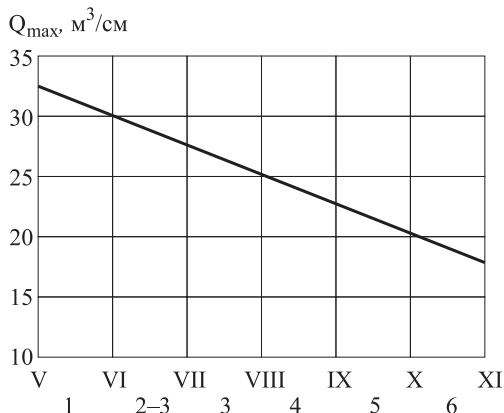


Рис. 2.6. Изменение среднего значения максимальной производительности от крепости пород

**Технико-экономические показатели проведения шахтных стволов комбайнами
ГПКС [22]**

Показатель	Шахта	
	№ 174	№ 158
Литологическая характеристика пород	Плотный галечник средней окатанности, сцементированный илисто-глинистыми отложениями. Крупность галечника 80–100 мм	
Температура воздуха в забое, °С	–20	–15
Угол наклона выработки, град.	12	16
Размеры выработки (ширина х высота), м	4,7 × 2,7	4,5 × 2,3
Тип режцового инструмента	РКС-1	И-90
Общий объем добытой породы, м ³	530	600
Расход режцового инструмента, шт./м ³	0,8	0,8
Средняя производительность, м ³ /ч	18	18
Максимальная производительность, м ³ /ч	23	20

Испытания комбайнов ГПКС и 4ПП-2 при проведении шахтных стволов и горизонтальных выработок в условиях шахт Комсомольского и Полярнинского ГОКов показали [22, 23]:

- при проходке ствола по породам VI–VII категории по буримости расход резцов составил 0,58 шт./м³;
- при проходке выработок в породах VII–IX категории расход резцов увеличился до 1,43 шт./м³;
- по породам X–XI категории расход резцов достиг 4,6–5,8 шт./м³;
- при проходке наклонного ствола комбайном 4ПП-2 по проходкам IX категории расход резцов РПП составил 1,5–1,0 шт./м³.

В табл. 2.4 приведены технико-экономические показатели проходки наклонных стволов комбайнами ГПКС.

Обобщенные показатели работы проходческих комбайнов типа ГПК, ГПКС и очистных комбайнов 1-ГШ-68 и 2К-52 приведены в табл. 2.5, 2.6 и 2.7.

Сравнительные показатели работы комбайна 2К-52 с резаками И-90В и РКС приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.5

Обобщенные показатели работы комбайнов ГПК-3, ГПКС [19, 20, 21, 22, 23]

Наименование породы	Расход резцов, т/м ³	Производительность, м ³ /смену	Категория по буримости	Коэффициент крепости по Протодьяконову, <i>f</i>
Чистый лед, илы льдистые	0,04–0,12	до 40	V–VI	1
Илисто-глинистые отложения	0,36	до 30	VI–VII	2–3
Илисто-глинистые отложения с мелкими включениями гальки, щебня (крупность до 20 мм) до 10 %	0,36–1	до 25	VII–VIII	3
Илисто-глинистые отложения с включениями кварцевых булыжников крупностью свыше 20 мм в объеме до 20 %. Глинистые сланцы (плотик)	1 и более	10–20	VIII–IX	4
(Продуктивный пласт) Илисто-глинистые отложения с включениями гальки, щебня, кварца свыше 20 % (до 30 %) крупностью до 50 мм. Песчанистые сланцы (плотик)	5–6	до 5	IX–XI	5
(Продуктивный пласт) Илисто-глинистые отложения с твердыми включениями крупностью свыше 80–00 мм до 20 % по объему	6	3–4	XI–XII	6–8

Как видно из табл. 2.7, применение резцов РКС-1 позволило снизить удельную энергоемкость разрушения в среднем на 15–20 %; при практически одинаковой потребляемой мощности (75 кВт). Скорость подачи комбайна 2К-52 возросла с 1,3 м/мин при применении резцов И-90В до 1,8 м/мин – при применении резцов РКС-1, что позволило снизить выход мелких классов разрушенной породы 0–25 мм на 10–15 %.

Т а б л и ц а 2.6

**Обобщенные показатели испытаний очистных комбайнов 1 ГШ-68 и 2К-52
на шахтах Магаданской области [24–28]**

Наименование породы	Расход резцов, т/м ³		Производительность, м ³ /смену	Категория по буримости	Коэффициент крепости по Протодьяконову, <i>f</i>
	ЗР-4-80	И-90В			
Шахта № 259 (Полярнинский ГОК) 1-ГШ-68					
Продуктивный пласт мощностью 1,6 м				VIII–IX	4
Верхняя часть: рыхлые отложения сложены галькой, щебнем (галька с размером 40–50 мм составляет 10–12 %, булыжники с размером 50–100 мм 3–4 %, валуны до 150 мм –0,1 %)					
Нижняя часть: коренные породы представлены глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, слабо выветренными, трещиноватыми	0,07–0,10	0,5–0,6	До 90	VIII–IX	4
Мощность 1,1 м					
Шахта № 40 (Прииск «Экспериментальный») 2К-52					
Верхняя часть: рыхлые отложения сложены разнозернистыми песчано-супесчаными породами с включением гальки и гравия средней окатанности	И-90В 5-1	РКС-1 4,8		X–XI	5
Нижняя часть продуктивного пласта представлена плотными глинистыми сланцами темно-серого цвета	И-90В 4,2	РКС-1 4,1		VIII–IX	4

Сравнительные показатели работы комбайна 2К-52 с резами И-90В и РКС-1 [24]

Показатель	Коренные породы		Рыхлые отложения	
	И-90В	РКС-1	И-90В	РКС-1
Шаг резания, мм	70	70	50	50
Средняя скорость подачи, м/мин	1,2	1,2	1,0	1,0
Потребляемая мощность, кВт	65	47	68,0	57,0
Энергоемкость разрушения, кВт · ч/м ³	2,2	1,7	3,5	3,0
Расход резцов на 1 пог. м /шт	4,2	4,1	5,1	4,8
Выход породы, % классов, мм				
0–25	64,0	54,0	52,0	39,0
25–50	34,0	31,0	42,0	53,0
50 и более	2,0	5,0	6,0	8,0

2.4. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

Современные проходческие комбайны выпускаются двух типов: избирательного и бурового действия. Наиболее широкое применение на шахтах зарубежных стран нашли проходческие комбайны избирательного действия. Основные их преимущества в сравнении с буровыми: высокая мобильность, меньшие габариты и вес, возможность производить селективные выемки полезного ископаемого, широкий диапазон работы по мощности пласта (от 1 до 6 м) [29].

В последние годы в России и за рубежом стали применять проходческие комбайны на очистной добыче как на открытых, так и на подземных работах. На смену комбайнам типа ГПКС, 4ПП-2 пришли три новые модели – КП-15, КП-20Б и КП-25, отвечающие современным техническим требованиям [30]. Основные технические характеристики комбайнов приведены в табл. 2.8.

Комбайн КП-20Б представляет собой модернизированный вариант комбайна 1ГПКС. В 1993 г. он успешно прошел промышленные испытания на шахте «Южно-Донбасская» (Украина). Было пройдено 750 м при скорости проходки 140 м/мес. при проходке конвейерных ходков сечением в свету 11,2 м². Выработки проводились по смешанному забою с присечкой пород прочностью 40–50 МПа. Отбитая горная масса транспортировалась ленточными (типа ЛТ-80 и Л-80) и скребковыми (СП-202) конвейерами в бункер.

При испытании были достигнуты следующие технико-экономические показатели: техническая производительность комбай-

Технические характеристики проходческих комбайнов ЦНИИ-подземмаша [29]

Наименование показателей	Показатели		
	КП-15	КП-20Б	КП-25
Рекомендуемая прочность разрушаемых пород, МПа	40	60	70
Масса (без перегружателя), т	15	27	42
Сечение проводимых выработок, м ²	4,0...15	4,4...20	7,0...30
Угол наклона выработок, град.	12	12	12
Техническая производительность по углю, т/мин и породе (30 МПа) по породе, м ³ /мин	1,4 0,15	1,83 0,22	2,4 0,2–0,3
Размеры выработок в проходке, м:			
высота	4,1	4,5	5,2
ширина	4,5	5,2	7,0
Габариты, мм:			
длина	6300	12 000	12 910
ширина	1480	1800	2400
высота	1300	1400	1700
Среднее удельное давление на почву, МПа	0,07	0,11	0,12
Клиренс, мм	250	250	300
Мощность электродвигателя исполнительного органа, кВт	55	90	140/75
Напряжение в сети, В	660	660	660

на (в плотном теле) – 0,75 м³/ч; скорость проходки в сутки – 8,1 м, в смену – 3,2 м; производительность проходчика 0,8 м/смену или 8,8 м³/смену.

Проходческий комбайн КП-25 испытывался на шахте им. Горького и на шахте им. Абакумова в Донецке в 1992 г. при проведении выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Испытания на шахте им. Абакумова осуществлялись при проведении квершлага сечением 18–21,0 м² по алевролитам, алевролитам с прослоями песчаника, аргиллитам и известнякам. Предел прочности пород одноосному сжатию составлял: алевролит – 60,0 МПа, песчаник – 78,0, известняк – 83,0 МПа; абразивность пород – от 8 до 11,6 мг.

В зависимости от крепости разрушаемых пород техническая производительность комбайна изменялась от 0,2 до 0,35 м³/мин, а удельный расход электроэнергии составил от 0,8 до 3,25 кВт · ч/м³. Два промышленных образца комбайна КП-25 были изготовлены Копейским машзаводом. При изготовлении комбайнов КП-20Б и КП-25 применялись высокопрочные марки сталей, полученные с заводов ВПК по конверсии, что позволяет достичь ресурса, сравнимого с зарубежными

ми аналогами. За рубежом проходческие комбайны избирательного действия выпускают машиностроительные фирмы в ФРГ, Великобритании, США, Японии, Австрии [29].

Авторами был выполнен анализ литературных источников по использованию зарубежных комбайнов избирательного действия за 10 лет [30–42].

В ФРГ проходческие комбайны избирательного действия выпускают пять фирм: «Паурат», «Зальцгиттер», «Вестфалия-Люнен», «Атлас Копко-Эйкгофф» и «Клекнер-Бекорит».

Комбайном фирмы «Атлас Копко-Эйкгофф» ET-110 массой 25–30 т с погрузочной платформой шириной 3,2 м была достигнута скорость проходки 17 м/сут при ширине выработки 4,8 м, высоте 3,5 м (площадь сечения 13 м²). Выработка проходила по углю и сланцу.

Фирма «Зальцгиттер» выпускает проходческие комбайны типа ТМ. Комбайн избирательного действия ТМ 300 с приводом исполнительного органа мощностью 315 кВт имеет установленную мощность 510 кВт. Комбайн из одного положения обеспечивает обработку забоя площадью 45 м² при размерах выработки по высоте 6,1 м и ширине 7,5 м. Масса комбайна – 120 т, максимальная производительность – 60 м³/ч.

Комбайн ТМ 200 массой 75 т той же фирмы предназначен для проведения штреков арочного и прямоугольного сечения площадью 40 м². Исполнительный орган позволяет разрабатывать породу с прочностью до 100 МПа (крепость по Протодюккону: $f = 7$).

Фирма «Вестфалия-Люнен» выпускает большое количество типов проходческих комбайнов избирательного действия (11 модификаций), начиная с WF-40 массой 9 т и до WAV-300 массой 90 т.

Проходческо-добычной комбайн WAV-230 может быть оснащен как поперечно расположенной, так и продольной режущей головкой и предназначен для проведения выработок по породе с сопротивлением сжатию до 100 МПа ($f = 7$).

Новый мощный проходческий комбайн избирательного действия WAV – 179/300 с приводом исполнительного органа мощностью 300 кВт предназначен для проходки тоннелей и выработок большого сечения и может, не меняя позиции, осуществлять разрушение забоя на высоту до 6100 мм, а благодаря шарнирной конструкции рукояти углубляться в кровлю выработки на 380 мм.

Фирма «Клекнер-Бекорит» выпускает проходческие комбайны различного типа, в том числе с исполнительным органом ударного действия как на колесном, так и на гусеничном

ходу. Погрузка осуществляется ковшом вместительностью $0,9 \text{ м}^3$, расположенным на специальной стреле, которая установлена ниже рабочего органа, что позволяет осуществлять проходку выработок большой высоты.

В Великобритании комбайны избирательного действия выпускают две фирмы «Андерсон Стресклайд» и «Доско Оверсиз Инжиниринг». Они отличаются от комбайнов фирм ФРГ меньшей массой и установленной мощностью приводов.

В Японии фирмы «Насима Кансэцу» и «Мицум и Миике» разработали самоходный проходческий комбайн МРН-200 для проведения выработок большого сечения в породах средней крепости ($f = 6-8$). Высота проводимой выработки – 6 м, ширина – 6,4 м, угол наклона $\pm 15^\circ$.

В Австрии концерн «VOEST-ALPINE Bergtechnik» является ведущим в мире производителем машин и оборудования для горной промышленности и туннелестроения: 90 % его продукции экспортируется за пределы Австрии. Комбайны избирательного действия фирмы серии ALPINE MINER во всех отношениях являются образцом качества и высокой производительности. В настоящее время более 2000 комбайнов этой серии успешно эксплуатируются в 50 странах мира.

На всех комбайнах установлена поперечная режущая головка. Погрузка и транспортировка породы осуществляются посредством нагребавших лап и консольного цепного конвейера. На комбайнах АМ-65, АМ-75 и АМ-100 АМ-105 используется система визуального контроля для диагностики неисправностей, причем информация выдается на экран терминала на пульте машиниста. Комбайны могут поставляться с системой орошения под давлением через зубки, устройствами для установки анкерной крепи, мостовым конвейером.

Разгрузка с конвейера производится на различной высоте. Каждая гусеница имеет свой привод. Конструкция режущего органа выполняется по заказу в зависимости от конкретных горно-геологических условий и принятой технологии.

В 1994 г. с целью усиления позиций концерна «VOEST-ALPINE Bergtechnik» на внешних рынках, прежде всего Германии, Франции, России и других стран СНГ, была создана дочерняя совместная австро-германская фирма ALPINE WESTFALIA [37–39]. В основу ее деятельности положена объединенная производственная программа обеих фирм-учредителей – выпуск комбайнов серии ALPINE MINER, а также машин марки WAV, производимых ранее фирмой WESTFALA BECORIT. Комбайны этой фирмы успешно работают на шахтах Рурского

Таблица 2.9

Технические характеристики комбайнов серии ALPINE MINER

Показатель	АМ-50-0	АМ-50-Р	АМ-65-0	АМ-65-Р	АМ-75-0	АМ-75-0
Рабочая масса, т	25,0	28,0	32,0	36,0	50,0	50,0
Мощность установленных двигателей, кВт	155	226	223	306	287	342
Мощность рабочего органа, кВт	100	130	132	175	200	200
Скорость резания, м/с	1,3	1,3	3,6	3,9	3,0	3,8
Удельное давление на почву, МПа	0,130	0,150	0,120	0,135	0,130	0,140
Скорость хода, м/мин	5	5	5/13	5/13	4,2/8,8	4,2/8,8

Пр и м е ч а н и е. 0 – очистной комбайн, Р – проходческий комбайн.

и Саарского угольных бассейнов. Семь комбайнов АМ-85 используются на добыче калия в Испании, где была достигнута рекордная производительность – 59 356 т в месяц.

Сообщается также, что комбайнами АМ-75 за 6 рабочих дней в Англии на одной из угольных шахт было пройдено 143 пог. м штрека с сечением 16 м². При этом было получено 2300 м³ отбитой горной массы, содержащей 40 % крепкой породы и 60 % угля. Две машины, работающие на другой британской шахте, также показали высокую скорость проходки – 56 и 58 м в неделю [36].

В 1998–1999 гг. алмазным рудником «Интернациональный» АК «АЛРОСА» для проходки выработок был приобретен АМ-75, и первые два года его эксплуатации показали высокую эффективность его применения.

В табл. 2.9 приведены технические характеристики комбайнов серии ALPINE MINER.

Ниже приведены сведения технологического плана, касающиеся комбайнов Австрии.

ALPINE MINER. АМ-50

Комбайн АМ-50 – наиболее массивный комбайн серии ALPINE MINER. Всего произведено более 750 таких комбайнов. Комбайн проходит выработки сечением от 8 до 18 м² в породах крепостью до 80 МПа, возможно резание отдельных включений пород крепостью до 100 МПа.

ALPINE MINER. АМ-65

Комбайн АМ-65 имеет компактную конструкцию и габариты, а также высокую мощность двигателей. Мо-

дильная конструкция позволяет оперативно производить замену узлов при ремонте. АМ-65 предназначен для проходки выработок сечением от 10 до 22 м² в породах крепостью до 100–110 МПа.

ALPINE MINER. АМ-75

Эта модель является самой распространенной в мире, своего класса. Наивысшая эффективность использования комбайна АМ-75 достигается за счет высокой эксплуатационной готовности и производительности.

АМ-75 предназначен для проходки выработок сечением от 13 до 28 м² в породах крепостью до 120 МПа, возможно резание отдельных включений пород крепостью до 140 МПа.

2.5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ КОМБАЙНОВ

На горнодобывающих предприятиях России и Республики Саха (Якутия) увеличивается количество зарубежных проходческих комбайнов, отличающихся от отечественных более высоким уровнем долговечности, надежности и производительности.

Изучение и обобщение зарубежных материалов проводилось на основе анализа рекламных проспектов с техническими параметрами более 50 проходческих комбайнов, разработанных 13 фирмами Австрии, Великобритании, Венгрии, Польши, Франции, Германии, Японии и Украины. Материалы классифицированы по странам, фирмам, моделям и типоразмерам, представлены в сравнении с отечественными комбайнами по основным техническим показателям [29–42].

Предел прочности разрушаемых пород – один из важнейших показателей, характеризующих технический уровень проходческих комбайнов. В табл. 2.10 приведены верхний предел прочности породы и номинальная мощность электродвигателя исполнительного органа отечественных и зарубежных комбайнов. Из табл. 2.10 следует, что у основной массы комбайнов верхний предел прочности породы находится в пределах 60–100 МПа и лишь у отдельных типов зарубежных комбайнов 4-го типоразмера составляет 120–150 МПа.

Для определения ожидаемых показателей возможного предела разрушаемых пород установлена зависимость между номинальной мощностью электродвигателя исполнительного органа и прочностью пород на основании технических данных 12 зарубежных и отечественных комбайнов (рис. 2.7).

Фактическая мощность электродвигателей исполнительных органов серийно изготавливаемых и опытных образцов отечественных комбайнов имеет потенциальную возможность увели-

Таблица 2.10

Верхний предел прочности породы и номинальная мощность электродвигателя исполнительного органа отечественных и зарубежных комбайнов

Типо-размер	Комбайн	Фирма, страна	Верхний предел прочности породы, МПа	Номинальная мощность электродвигателя исполнительного органа, кВт
1	1ГПКС	Россия	70	75
	F6-НКФ	Венгрия	50	30
	F8-I	Венгрия	60	70
	S50	«Mitsui Miike», Япония	40	50
	AM-50	Украина	80	155
2	КП-21	Россия	80	120
	П-110	Украина		
	МК-2В	«Dosko» Великобритания	90	
	RH-25	«Anderson Strathclyde», Великобритания	70	82
	RH-22	Великобритания	100	112
	AM-65	«Voest Alpine», Австрия	80	132
	F8-2	Венгрия	60	110
	S100	«Mitsui Miike», Япония	Породы средней крепости	100
	S125	«Mitsui Miike», Япония		75(125)
3	КСП-32	Украина	100	110
	П-160	Украина	100	160
	П-220	Украина		
	AM-75	«Voest Alpine», Австрия	100	160
	STM 160	«Salzgitter», ФРГ	100	160
	WAV 170	«Westfalia Lunen», ФРГ	100	200
	LH 1300	«Dosko» Великобритания	80	142
	RH I/4	«Anderson Strathclyde», Великобритания	110	112
	К-160	«Комар», Польша	110	160
S90	«Mitsui Miike», Япония	Для слабых пород	90	
4	КСП-42	Украина	120	200
	AM-105	«Voest Alpine», Австрия	120	200
	RH 90	«Anderson Strathclyde», Великобритания	150	150
	WAV 200	«Westfalia Lunen», ФРГ	100	200
	WAV 300	«Westfalia Lunen», ФРГ	100	300
	STM 200	«Salzgitter», ФРГ	120	200

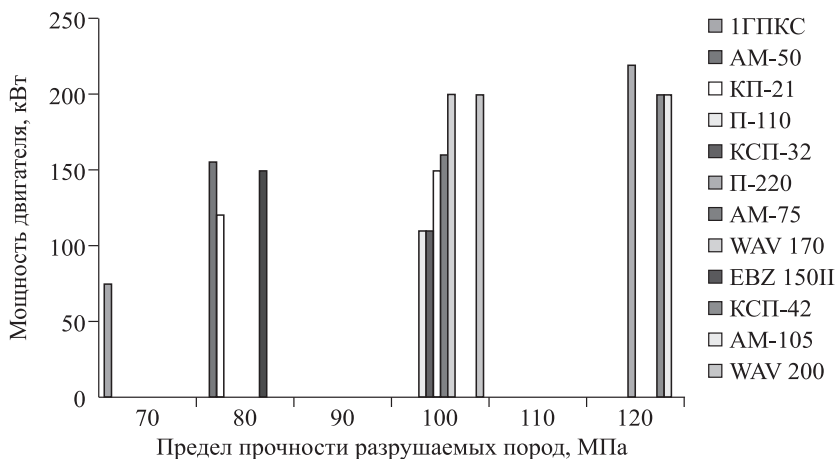


Рис. 2.7. Зависимость между мощностью электродвигателя исполнительного органа и прочностью пород

чения предела прочности разрушаемых пород во всех типоразмерах комбайнов без увеличения мощности электродвигателей исполнительных органов, при условии применения соответствующего режущего инструмента.

Оценка возможностей комбайна по пределу прочности разрушаемых пород должна учитывать усилие, создаваемое на коронке двигателем исполнительного органа. Проведению такого анализа препятствует отсутствие достаточного банка зарубежных данных (максимальный момент двигателя, диаметр коронки, число оборотов коронки).

Дальнейшее увеличение показателя $\sigma_{сж}$ до 130–140 МПа для исполнительных органов, оснащенных только резцовым инструментом (для разрушения пород указанной прочности в отечественной практике таковой отсутствует), повлечет рост номинальной мощности электродвигателей до 350–400 кВт.

Опыт эксплуатации, результаты испытаний и проведенные научно-исследовательские работы свидетельствуют, что применение комбайнов с исполнительными органами, оснащенными существующим режущим инструментом, по породам прочностью $\sigma_{сж} \geq 100$ МПа экономически неоправданно из-за невысокой их производительности и значительного расхода резцов. Создание отечественных резцов для $\sigma_{сж} \geq 120$ МПа является пока проблематичным [41].

При проведении горных выработок по породам прочностью $\sigma_{сж} \geq 120$ МПа в ряде зарубежных стран предпочтение отдается

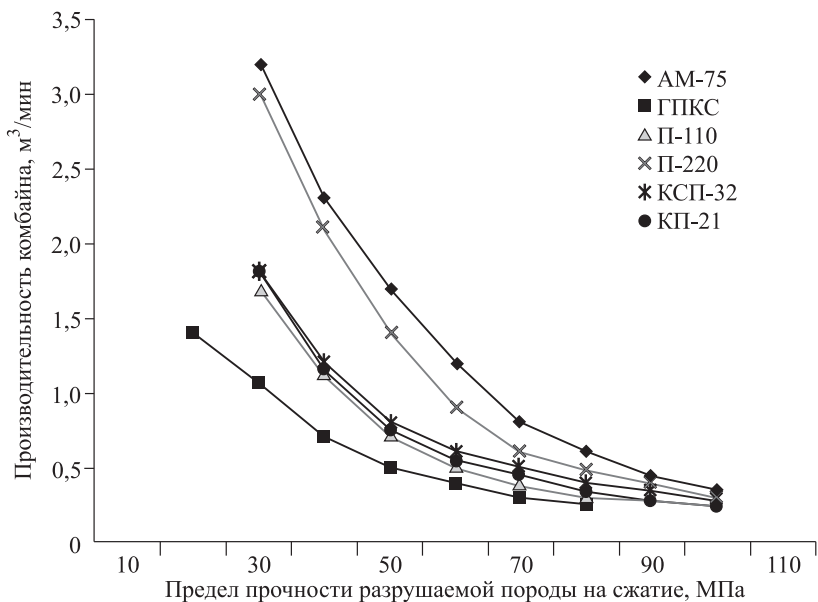


Рис. 2.8. Зависимость производительности комбайнов от прочности пород

проходческим комбайнам и комплексам роторного (бурового) типа, которые разработаны фирмами Германии, США, Великобритании и обеспечивают сплошную обработку забоя с высоким экономическим эффектом, в СССР были изготовлены комбайны такого класса – «Союз» и КРТ. Зависимость производительности комбайнов от прочности пород на сжатие приведена на рис. 2.8.

Характер зависимости и общие тенденции позволяют говорить о резком снижении производительности с 3,38 до 0,25 м³/мин в интервале прочности пород 25–60 МПа и дальнейшем его уменьшении по мере приближения к значениям предельной прочности разрушаемых пород. Из приведенной зависимости можно сделать вывод, что отечественные комбайны имеют значения по данному параметру несколько выше.

Номинальная мощность двигателя исполнительного органа – показатель, характеризующий энерговооруженность проходческого комбайна, имеет тенденцию к постоянному росту. Объясняется это практической необходимостью разрушения более прочных пород при наличии соответствующего горно-режущего инструмента и обеспечении надежного запаса прочности конструкции. Динамика роста мощности электрического дви-

Мощности электродвигателей исполнительного органа отечественных и СНГ комбайнов

Типо-размер	Мощность электродвигателя исполнительного органа, кВт							
	32	45	55	75	100	120	160	200
1			ГПКС	1ГПКС				
2						КП-21		
3								П-160
4								П-220 КСП-42

гателя исполнительного органа отечественных и СНГ комбайнов приведена в табл. 2.11.

Сравнение отечественных, СНГ (табл. 2.11) и зарубежных (табл. 2.10) показателей мощности электродвигателей проходческих комбайнов дает основание сделать следующие выводы:

- в комбайнах 1-го типоразмера энерговооруженность исполнительного органа находится примерно на одном уровне;

- в комбайнах 2-го типоразмера мощность электродвигателя исполнительного – органа КП-25 в основном выше зарубежных аналогов фирм Германии, Великобритании, Японии, Венгрии, но имеются комбайны типа АМ-65 и WAV 130, мощность двигателя у которых несколько выше, чем у КП-21;

- в комбайнах 3-го типоразмера некоторые зарубежные комбайны имеют мощность 90–100 кВт, что ниже, чем у комбайна 4ПП-2; комбайн П-160 находится на уровне зарубежных, но уступает комбайну WAV 170;

- в комбайнах 4-го типоразмера диапазон мощностей электродвигателей находится в пределах 150–300 кВт, причем более 30 % рассмотренных комбайнов имеют мощность более 200 кВт, что превышает показатель комбайна П-220. Комбайны, имеющие мощность 300 кВт, предназначены для проведения выработок сечением до 72 м².

Одним из главных параметров комбайнов, определяющих эффективность разрушения пород резцовым инструментом, является окружное усилие, создаваемое электродвигателем на резцовой коронке.

Окружное усилие на коронке и массы комбайнов рассматриваются в табл. 2.12.

Из табл. 2.12 следует, что у комбайнов фирм «VOEST Alpine» и «Salzgitter» окружные усилия на коронках значительно ниже, чем у зарубежных и российских аналогов, что вызывает сомне-

Окружное усилие на коронке и массы комбайнов

Комбайн	Фирма, страна	Окружное усилие на коронке, т	Масса, т	Мощность привода исполнительного органа, кВт
ГПКС	Россия	3,54	20,0	55
S65	«Mitsui Miike», Япония	3,8	20,0	65
AM-50	«Voest Alpine», Австрия	3,5	24,5	100
RH-25	«Anderson Strathclyde», Великобритания	4,5	25,4	82
MRH-S	«Mitsui Miike», Япония	5,65	27	100
STM-100	«Salzgitter», Германия	3,2	28	100
МД-1000	«Dosko», Великобритания	2,2	30	120
КП-21	Россия	6,0	30	120
AM-65	«Voest Alpine», Австрия	4,8	32	132
RH-22	«Anderson Strathclyde», Великобритания	10,2	37–40	112
S90	«Mitsui Miike», Япония	3,4	40	100/70
МК-2В	«Dosko», Великобритания	7,65	41	82
E-195	«Paurat», Германия	5,5	43	170
E-169	«Paurat», Германия	5,5	44	140
RH3J	«Nihon Koki», Япония	7,2	45	90
STM-160	«Salzgitter», Германия	6,25	45	160
КСП 32	Россия	8,0	45–48	120
AM-75	«Voest Alpine», Австрия	5,45	48	160
RH7J	«Nihon Koki», Япония	10	50	132
S200	«Mitsui Miike», Япония	9,3	50	200/110
E-134	«Paurat», Германия	9,05	70	115/230
КСП-42	Россия	12,27	75	200
МК-3	«Dosko», Великобритания	14	83	142
AM-100	«Voest Alpine», Австрия	8,5	84	250
E-200	«Paurat», Германия	19	110	175/350

ния в возможности реализации указанных в проспектах величин предельной прочности разрушаемых пород.

Сравнительный анализ весовых характеристик показывает, что по массе отечественные комбайны менее металлоемки: 1-го типоразмера – 12,5–20 т (ср. 16,2 т) против 11–24 т (ср. 16,8 т) у зарубежных: 2-го типоразмера – 30 т против 24–37,9 т (ср. 30 т); 3-го типоразмера – 45–48 т (ср. 46,5 т) против 40–66 т (ср. 50,8 т); 4-го типоразмера – 75 т против 70–110 т (ср. 85 т).

Значение максимального угла наклона проводимой выработки – один из показателей, характеризующий область применения комбайнов. Из сравнения различных значений этого показателя следует:

– для отечественных комбайнов он не превышает ± 10 – 12° (КП-21) и $+25$... -20° при работе с удерживающими средствами (1ГПКС);

– для зарубежных комбайнов (по результатам анализа 30 комбайнов шести стран) угол ± 12 – 18° предусмотрен в 67 % комбайнов и ± 20 – 25° в 33 % с применением распорных устройств. Преобладают углы наклона 14° (8 комбайнов), 18° (5 комбайнов) и 20° (6 комбайнов).

Критерием оценки технического уровня комбайна является также наличие средств механизации вспомогательных процессов, обеспечивающих сокращение трудоемкости ручных операций проходческого цикла. К ним относятся: средства механизации возведения крепи; средства автоматизации программного управления, диагностики, контроля; устройства, контролирующие направления выработки; приспособления, обеспечивающие установку навесного бурильного оборудования для бурения шпуров по забою и под анкеры.

В зарубежной практике решению этих вопросов уделяется повышенное внимание. Большинство комбайнов фирм ведущих стран оснащаются подъемниками верхняков, как и отечественные комбайны КП-21, 1ГПКС. Фирмы Австрии, Германии, Японии поставляют оборудование для бурения шпуров под анкеры по заказу потребителей. Комбайны 1ГПКС, КП-21, П-160, П-220 КСП-32, КСП-42 также оснащены крепеподъемниками, средствами автоматизации управления и устройствами контроля направления выработки.

Анализ опыта эксплуатации автотранспорта, ПДМ и БК показал техническую возможность и экономическую целесообразность их применения на россыпных шахтах. Между тем открытым остается вопрос эффективности применения проходческих и очистных комбайнов при подземной разработке МРМ. Как показали результаты экспериментальных исследований, использование проходческих комбайнов типа ГПКС и 4ПП-2 неэффективно при наличии в породном массиве илисто-глинистых отложений с включениями гальки, щебня, кварца свыше 20 % (до 30 %) крупностью до 50 мм и песчанистых сланцев, что соответствует IX–XI категории по буримости, при коэффициенте крепости, равном 5. Удельный расход резцов высок – 2–6 шт./м³, а производительность не превышает 5 м³/смену. В породах с включениями кварца крупностью свыше 80–100 мм до 20 % по объему проходка становится практически невозможной. Удельный расход резцов составляет 6 шт./м³ и более. Производительность не превышает 3–4 м³ в смену.

Дальнейшее повышение эффективности подземной разработки россыпных месторождений и обеспечение безопасности ведения горных работ требуют научного обоснования и внедрения современных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, базирующихся на применении высокопроизводительных горных машин и механизмов и на результатах научных исследований. Это обстоятельство предопределило направление дальнейших исследований, результаты которых приведены в следующей главе.

Глава 3

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ГОРНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

3.1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Многолетнемерзлые крупнообломочные породы широко распространены на территории Якутии и Северо-Востока России. К ним относятся четвертичные элювиальные, делювиальные делювиально-солифлюкационные, пролювиальные, аллювиальные и ледниковые отложения районов горного рельефа, а также обширные толщи аллювия на прилегающих к горным областям низменностях.

Изучением физико-механических свойств МКП россыпных месторождений занимались ВНИИ-1, Институт мерзлотоведения СО АН СССР, ИрГИредмет и ИГДС ЯФ СО АН СССР [43–49].

Значительный вклад в изучение физико-механических свойств таких пород внес В.Н. Тайбашев (ВНИИ-1) [43]. Им в результате многолетних исследований определены прочностные и деформационные свойства МКП, в основном на искусственно замороженных образцах. Экспериментально установлены особенности процессов ползучести и закономерности изменения прочностных и деформационных свойств этих пород в зависимости от их состава и сложения, температуры, вида напряженного состояния, величины и времени действия нагрузки. Были исследованы искусственные образцы пород, отличающихся друг от друга соотношением крупнообломочной и мелкозернистой фракций, а также составом заполнителя, характеризующего гранулометрический состав пород россыпных месторождений. В табл. 3.1 приведены литологический и гранулометрический состав испытываемых образцов и результаты исследований прочностных свойств МКП [43].

Исследования механических свойств МКП россыпных месторождений Якутии непосредственно в шахтных условиях были проведены Институтом мерзлотоведения СО АН СССР; ИрГИредметом и ИФТПС ЯФ СО АН СССР [11, 47–49].

По методике Института мерзлотоведения СО АН СССР проводились исследования прочностных свойств горных пород

Т а б л и ц а 3.1
Прочностные свойства многолетнемерзлых крупнообломочных пород по результатам испытаний искусственно замороженных смесей [43]

Наименование породы	Гранулометрический состав, %								Температура, °С	Влажность, %	Прочность на сжатие (кратковременное), МПа	Прочность на растяжение (кратковременное), МПа
	крупная фракция, мм				заполнитель, мм							
	40–20	20–10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,2	<0,2				
Гравий и галька с супесчаным заполнителем (крупнообломочный материал – 70 %, заполнитель – 30 %)	10,5	24,5	18,9	16,1	5,1	3,0	3,0	18,9	–5	12,3	4,2	1,2
Песчаный гравий с галькой (крупнообломочный материал – 52 %, заполнитель – 48 %)	8	18	14	12	20	13	8	7	–5	13	5,0	1,6
Супесчаный гравий с галькой (крупнообломочный материал – 52 %, заполнитель – 48 %)	8	18	14	12	8	5	5	30	–5	12	4	1,2

месторождений Аллах-Юня и Кулара по двум видам испытаний – одноосному сжатию и изгибу [47,48].

Определение прочностных свойств МКП россыпных месторождений Индигирки проводилось ИрГИРедметом на образцах неправильной формы по методике Л.И. Барона [47]. Результаты проведенных испытаний прочностных свойств горных пород россыпных месторождений Якутии приведены в табл. 3.2. Наиболее полным и целенаправленным исследованиям были подвергнуты четвертичные аллювиальные отложения, пески, супеси, суглинки, глины – в основном до глубины 10–15 м, т.е. в пределах, представляющих практический интерес для возведения сооружений и как объект для работы землеройной техники [50–55].

Исследования физико-механических свойств россыпных месторождений Якутии в настоящее время еще нельзя считать завершенными. Более того, объем проведенных работ чрезвычайно мал. В основном они связаны с изучением ползучести МКП при длительном нагружении образцов применительно к решению задач управления горным давлением.

При разрушении МГП должны создаваться условия, способствующие развитию трещин, а характеристикой должна быть условно-мгновенная прочность, определяемая скоростями приложения внешних воздействий.

В настоящее время принципиально доказана возможность разрушения МКП россыпных шахт устройствами ударного действия [56–60]. Применение ударных устройств на проходческих комбайнах открывает широкие возможности для комплексной механизации проходческих и очистных работ и расширяет область их использования. В этой связи возникает необходимость в изучении физико-механических свойств МКП как объекта разрушения.

3.2. ВЫБОР МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время применительно к испытаниям МГП существуют два метода – лабораторный и натурный. В отличие от лабораторного метода натурный метод учитывает такие важные характеристики мерзлых пород, как влажность (льדיстость), криогенная структура и текстура, температура и напряженно-деформированное состояние. Если для обычных условий натурные испытания проводят в основном с целью обобщения лабораторных испытаний, то для МКП это наиболее полный источ-

Прочностные свойства мерзлых рыхлых отложений россыпных месторождений Якутии [11]

Характеристика пород	Температура, °С	Влажность, %	Условно мгновенная прочность, МПа		Длительная прочность, МПа			Исследователь
			на сжатие	на растяжение	на сжатие	на растяжение	модуль деформации	
<i>Месторождения Аллаха-Юня</i>								
Элювий (щебенка глинистых сланцев, сцементированная мерзлым суглинком)	-6				1,1	0,6	$0,11 \cdot 10^3$	Зильберборд А.Ф., Гречищев С.П. (ИМ СО АН СССР)
	-9				1,5	0,85		
<i>Месторождения Индигирки</i>								
Аллювиальные отложения (гравийно-галечный материал, сцементированный песком и глиной)	-1	7-9	1,36					Костромитинов К.И., Николенко Б.Д. (ИрГИРедмет)
	-6		2,81		1,14			
	-9		3,68		1,48			
	-18		4,22	1,08				
Аллювиальные отложения (песчано-глинистый материал с включением гальки, щебня и дресвы)	-2	21,5			0,2			
<i>Месторождения Кулара</i>								
Аллювиальные отложения (гравий, галька сцементированный песчано-глинистым заполнителем)	-5	10			1,48	0,3	$0,11 \cdot 10^3$	Ушаков Г.С. (ИГДС ЯФ СО АН СССР)
	-9	16			1,95	0,7		

ник достоверной информации, так как практически невозможно в лаборатории воссоздать естественные геокриологические условия.

Нами были проведены широкомасштабные исследования физико-механических и деформационных свойств МКП всех эксплуатируемых месторождений ГОК «Куларзолото» в натуральных условиях. При детальном изучении горно-геологических условий залегания россыпных месторождений Кулара нами были выделены следующие основные инженерно-геологические комплексы пород: I – однородные супесчано-суглинистые породы (кровля); II – переслаивание песка крупно- и мелкозернистого с прослоями лигнитов и глин (кровля); III – галечник глинистых сланцев, сцементированный супесчано-суглинистым заполнителем (продуктивный пласт); IV – разрушенные песчаные или глинистые сланцы (плотик).

Ниже приведены методики исследования физико-механических свойств МКП, разработанные и апробированные в условиях россыпных шахт Кулара.

При определении таких свойств пород, как влажность, плотность, гранулометрический состав, использовались стандартные методики, подробно описанные в литературе [61–63].

3.2.1. Методика определения прочностных и деформационных характеристик в натуральных условиях

В комплект оборудования входят давящая установка БУ-28, высоконапорный гидронасос БН-10, разработанные и изготовленные опытно-экспериментальным заводом ВНИМИ [64, 65]. Давильный цилиндр соединяется в гидравлическую систему с помощью медных трубок $6 \times 1,5$ мм. Для измерения давления в гидросистеме установки использовались манометры. Схема давящей установки БУ-28 приведена на рис. 3.1.

Измерение деформации между установленными в шпурах реперами производилось с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм. При выборе участков проведения натуральных испытаний необходимо соблюдать следующие требования. Место проведения испытаний должно быть удалено от устья воздухоподающей выработки на расстояние, где температура воздушной струи становится примерно равной температуре породного массива и практически не зависит от колебаний температуры воздуха на поверхности. Участки натуральных испытаний должны выбираться вне зоны интенсивного влияния опорного давления.

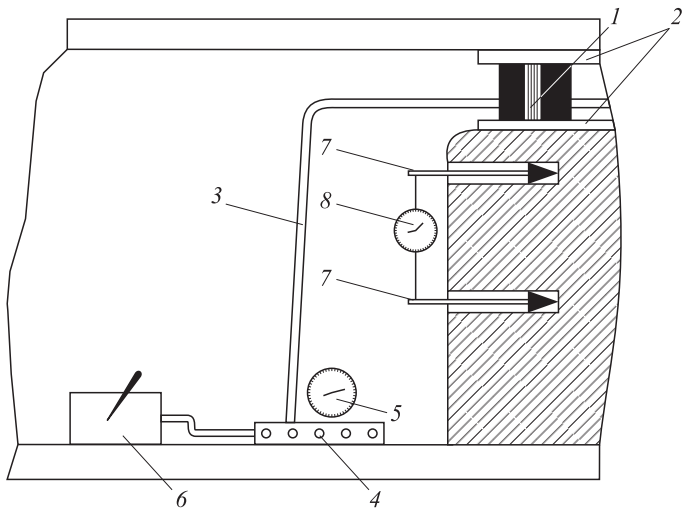


Рис. 3.1. Схема давяльной установки БУ-28.

1 – давяльные цилиндры; 2 – опорные плиты; 3 – соединительные трубки; 4 – коллектор; 5 – манометр; 6 – гидронасос БН-10; 7 – реперы; 8 – индикаторы часового типа

Натурные испытания следует проводить в бортах выработок, пройденных комбайном или с помощью буровзрывных работ. В выработках, пройденных с помощью взрывных работ, борт выработки в месте испытаний следует обирать до неразрушенного породного массива и проходить специальную нишу.

Методика проведения натурных испытаний на сжатие. Существуют три схемы натурных испытаний на сжатие (рис. 3.2, а, б, в). Схема (а) дает возможность получить необходимые прочностные характеристики пород на блоках любых размеров. Она свободна от многих недостатков принципиального порядка. Схема (б) допускает некоторые погрешности в определяемых показателях, но значительно снижает трудоемкость изготовления блоков – одна боковая грань блока не отделяется от породного массива. Недостатком обеих схем является возможность разрушения блока в момент изготовления в результате механических повреждений. Схема (в) не обеспечивает получения непосредственного показателя прочности при одноосном сжатии. Однако минимальное число обнаженных плоскостей, отсутствие нарушений при подготовке к испытаниям и достаточная площадь, на которой проводятся испытания, с целью учесть структурные особенности породного массива, дают основание считать, что по

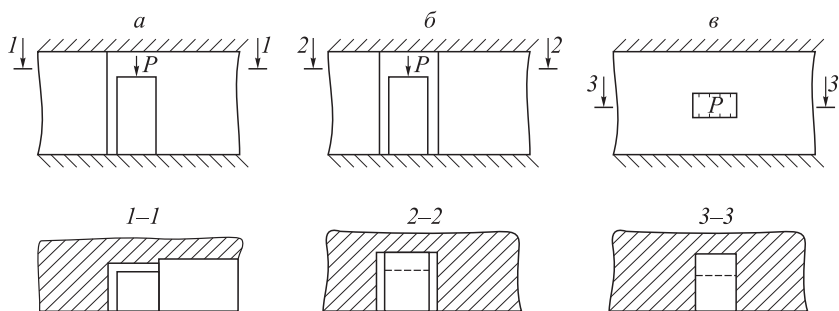


Рис. 3.2. Схемы натуральных испытаний на сжатие.

a – полностью оконтуренные блоки; *б* – частично оконтуренные блоки; *в* – породный массив с одной обнаженной плоскостью

этой схеме можно определить прочность породного массива за пределами ощутимого влияния масштабного фактора в естественных геокриологических условиях. Именно поэтому схему (*в*) рекомендуется принимать в качестве основной, а схемы (*a*) и (*б*) использовать для сопоставления и уточнения полученных данных.

После подготовки борта выработки с помощью отбойного молотка вырубается ниша, имеющая параметры, необходимые для установки плит размерами 150×150 мм. Высоту ниш принимают равной высоте давяльного цилиндра (домкрата) плюс суммарная толщина двух опорных плит с некоторым запасом (2–3 см) для удобства установки домкрата и плит.

Перед проведением испытаний необходимо измерить температуру горных пород в массиве, а для этого должен быть пробурен шпур на глубину, соответствующую средней величине заглубления ниш в породный массив. За сутки до проведения испытаний в шпур помещается температурный датчик, после чего шпур герметически закрывается. Вскрытие шпура и измерение температуры производится непосредственно перед испытанием.

Для измерения деформационных характеристик породного массива под и над нишей бурятся по две пары неглубоких шпуров – два по вертикальной линии и два по горизонтальной (крест – накрест). В шпуры устанавливаются металлические реперы, которые расклиниваются в шпурах с помощью деревянных пробок. Реперы одной из установленных пар должны быть длиннее, чем другой, чтобы не было помех при установке между парами реперов индикаторов часового типа, служащих для

измерения деформаций массива. Расстояние между реперами каждой пары должно быть около 10 см. Расстояние от ближайшего репера до края ниши также должно составлять 10 см. Длина шпуров под реперы должна выбираться с таким расчетом, чтобы центр утолщенной части репера был закреплен под серединой опорной плиты. Для измерения деформаций применяются индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. От тщательности установки реперов зависят качество и достоверность деформационных характеристик, получаемых по данным натуральных испытаний.

После установки нижней опорной плиты производится монтаж гидросистемы. Устанавливаются цилиндры, их соединяют трубками между собой, а также с коллектором, к которому подключают насос и манометр. Заводится верхняя опорная плита и расклинивается с помощью металлических подкладок. Монтируются индикаторы между реперами для замеров деформаций. После подготовки блока к испытанию проводятся его зарисовка и описание, в которых должно быть отмечено расположение блока (ниши) относительно элементов залеганий пласта (расстояние между реперами, характер трещиноватости, криогенная структура, текстура пород и др.). Общий вид давяльной установки после монтажа приведен на рис. 3.3.

По методике ВНИМИ для измерения деформаций пород-

ного массива применялись индикаторы часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Их устанавливали между реперами, а снятие показаний с индикаторов осуществлялось визуально двумя или тремя исследователями, так как процесс перемещения реперов при нагружении породного массива гидродомкратом происходит довольно быстро – в течение 1,5–2,0 мин) – измерение $\sigma_{сж}^{МГН}$. При этом, естественно, допускаются погрешности ввиду необ-



Рис. 3.3. Общий вид давяльной установки

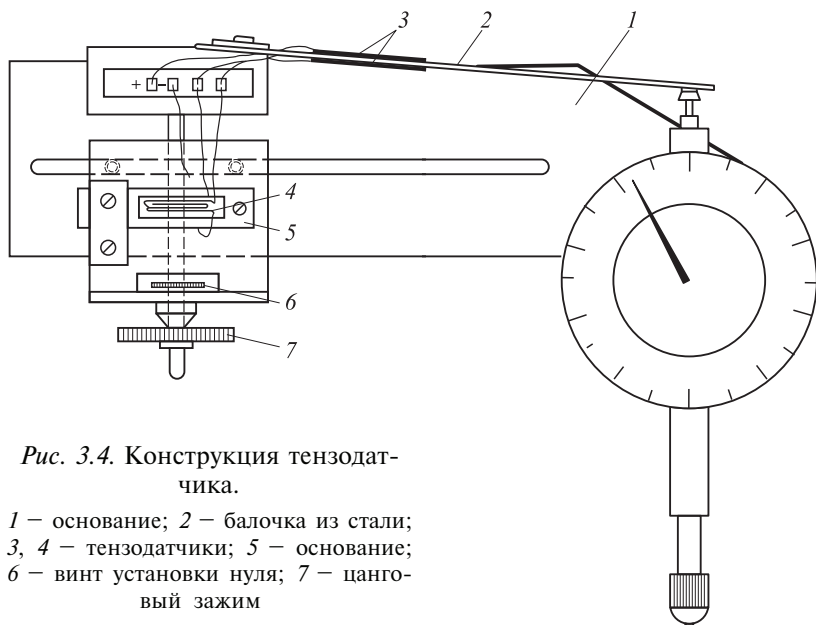


Рис. 3.4. Конструкция тензодатчика.

1 — основание; 2 — балочка из стали;
 3, 4 — тензодатчики; 5 — основание;
 6 — винт установки нуля; 7 — цанговый зажим

ходимости одновременного снятия показаний приборов и их записи в полевом журнале. В связи с этим была разработана конструкция тензометрического датчика, причем узел крепления индикатора часового типа при существующем варианте не изменялся. Это было достигнуто благодаря тому, что на заднюю стенку индикатора устанавливалось основание 1 из листового дюралюминия, на котором и размещался тензометрический датчик (рис. 3.4). В качестве чувствительного элемента использовалась балочка 2 из стали 30 ХГСА, на которой наклеены два тензодатчика 3, являющихся полумостом измерительной схемы. Второй полумост из двух тензодатчиков 4 крепился отдельно на основании 5 и служил для более точной установки нуля. Грубая установка нуля производится винтом 6 с последующей фиксацией цанговым зажимом 7.

Регистрирующим прибором являлся автоматический потенциометр КСП-4, чувствительностью 10 мВ. Питание измерительного моста осуществлялось от стабилизированного источника (рис. 3.4)

Автоматизация измерения деформаций позволила повысить точность снятия отсчетов и уменьшить трудоемкость работ в 2–3 раза. Испытания блока заключались в постепенном его нагружении с фиксированием давления в гидросистеме по маномет-

ру, а продольных и поперечных деформаций – потенциометром КСП-4. После разрушения испытываемого блока следует сделать зарисовку характера разрушения. При наступлении разрушения породы давление в гидросистеме падает или длительное время остается постоянным.

Порядок проведения испытаний при трех обнаженных плоскостях такой же, за исключением того, что выпиливаются боковые щели. По конечным замерам давления вычисляется удельная разрушающая нагрузка, которая соответствует прочности при одной обнаженной плоскости. В случаях испытания по этой схеме нагрузка определяется по формуле [64]

$$P = \frac{\pi d^2 n q}{4S}, \quad (3.1)$$

где d – диаметр плунжера домкрата, см; n – количество домкратов; q – конечное показание манометра, МПа; S – площадь опорной плиты, см².

При испытаниях с одной обнаженной плоскостью переход к кубиковой прочности на одноосное осуществляется по формуле [65]:

$$R = \frac{P}{K_n}, \quad (3.2)$$

где K_n – переходной коэффициент, определяется экспериментально.

По измеренным в процессе испытаний абсолютным деформациям блоков вычисляются относительные деформации путем деления величин абсолютных горизонтальных и вертикальных деформаций на расстояние между реперами. По относительным вертикальным деформациям и усредненным напряжениям, возникающим в процессе нагружения испытываемого блока, строится график «напряжение – деформация». Усредненные напряжения вычисляются по формуле (3.3). Построенная диаграмма «напряжение – деформация» позволяет определять модуль деформации E :

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon, \quad (3.3)$$

где $\Delta\sigma$ – приращение напряжений, МПа; $\Delta\varepsilon$ – приращение относительной вертикальной деформации, мм.

По вычисленным относительным вертикальным ε_y и горизонтальным ε_x деформациям блока находится коэффициент Пуассона (модуль поперечной деформации):

$$\mu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}. \quad (3.4)$$

Рис. 3.5. Схема установки БУ-39.

1 – образец; 2 – шариковые инденторы;
3 – рукоять нагрузочного устройства; 4 –
динамометр ДОСМ-1

Испытание многолетнемерзлых пород на растяжение проводилось с помощью пробника БУ-39 или аксиатора БУ-11 при наличии прессового оборудования. Принцип работы пробника заключается в том, что испытываемый образец породы раскалывается между соосно направленными шариковыми инденторами (рис. 3.5) [66].

Для испытаний на раскалывание пробником БУ-39 пригодны образцы произвольной формы. Их максимальные размеры при испытании на прочность определяют исходя из условия, что площадь поверхности разрыва должна быть не более 100 см^2 . Минимальные размеры образцов при испытании на прочность находят при из следующих условиях:

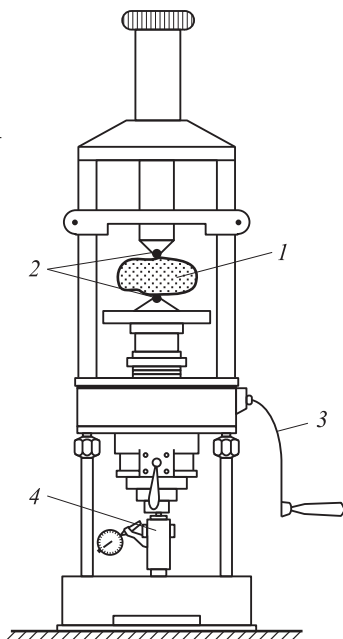
- площадь поверхности разрыва должна быть не менее 5 см^2 ;
- экстремальные линейные размеры образцов в пределах вероятной поверхности разрыва не должны отличаться более чем в 5 раз [66].

При испытаниях образцов пород необходимо измерять их первоначальную температуру, льдистость. После испытания образца по измеренным разрушающей нагрузке p_0 и площади разрушения F определяют его прочность на растяжение по формуле

$$R_p = 0,75 \frac{p_0}{F}. \quad (3.5)$$

Наиболее вероятным видом разрушения образца является раскалывание его на две части. Возможно раскалывание его и на большее число частей. В этом случае расчетная площадь поверхности определяется по формуле

$$F = 2 \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{n}, \quad (3.6)$$



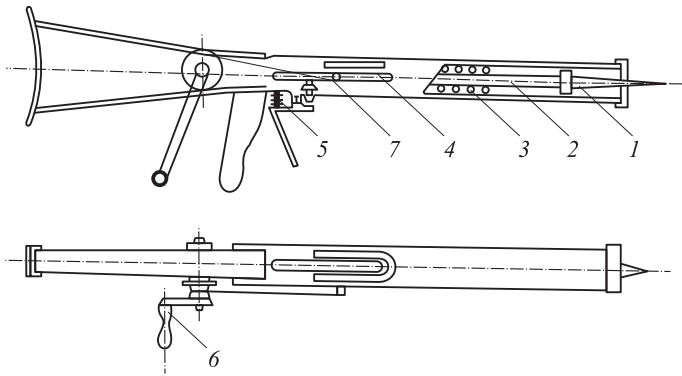


Рис. 3.6. Конструкция прочностномера П-1.

1 – стальной конус; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – шкала; 5 – спусковой механизм; 6 – рукоятка; 7 – тросик

где $F_1 + F_2 + \dots + F_n$ – площади поверхностей по каждому из направлений разрушения; n – число частей, на которое расколется образец.

Определение прочности многолетнемерзлых пород прочностномером П-1. Показатель прочности определялся по глубине внедрения в породный массив стального корпуса, которому сообщается энергия удара при помощи пружинного механизма. Прибор позволяет делать 2–3 замера в минуту [67].

Прочностномером П-1 можно оперативно оценить прочность пород непосредственно на месте испытаний (рис. 3.6). Для дальнейшего пользования прочностномером нами проводился комплекс тарировочных работ по установлению корреляционной связи между значениями прочности породного массива и глубиной внедрения конуса.

На рис. 3.7 приведены экспериментальная кривая – 1 и кривая регрессии – 2. В данном случае теоретическая линия регрессии описывается уравнением гиперболического типа:

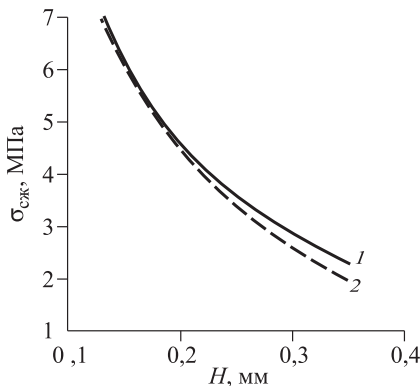


Рис. 3.7. Тарировочная кривая прочностномера.

1 – экспериментальная кривая; 2 – кривая регрессии (расчетная)

$$\sigma_{сж} = \frac{140}{H} - 1,8, \quad (3.7)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород при одноосном сжатии, МПа; H – условный показатель прочности, мм.

Приведенное уравнение имеет достаточно высокое значение корреляционного отношения r , равное 0,93, при коэффициенте надежности t_{ϕ} , равном 6.6.

Определение модуля упругости. Метод основан на зависимости величин упругой и остаточной составляющих глубины лунки вдавливания стальных шариков в поверхность породного образца соответственно от модулей упругости и пластичности [66]. Применяемое для испытаний оборудование – БУ-39 или соосник БУ-11.

Вдавливание инденторов в образец выполняется ступенями нагружения с разгрузками в следующем порядке:

- поджатие прижимной нагрузкой $P_0 = 20\text{--}30H$, обеспечивающей смятие шероховатостей под инденторами и стабильные условия измерения деформаций; показания индикаторов при этом принимаются за начало отсчета последующих сближений инденторов;

- нагружение до величины первой ступени нагрузки P_1 , равной 1 кН для пород с $\sigma_p \geq 3$ МПа, 0,5 кН – для пород с $\sigma_p = 0,75\text{--}3,0$ МПа и 0,3 кН для менее прочных пород; по показаниям индикаторов регистрируется сближение инденторов Δ_1 , мкм;

- разгружение до величин прижимной нагрузки P_0 ; по соответствующему изменению показания индикатора регистрируется величина остаточного сближения инденторов $\Delta_{пл.1}$, мкм;

- нагружение до величины второй ступени нагрузки:

P_2 , кН	σ_p , МПа
3	11
2,5	6–11
2	3–6
1	1,5–3
0,75	0,75–1,5
0,5	0,75

По показаниям индикаторов регистрируется сближение индикаторов Δ , мкм, соответствующее приложенной нагрузке;

- разгружение до величины прижимной нагрузки P_0 ; регистрируется величина остаточного сближения инденторов $\Delta_{пл.2}$, мкм.

Для расчета модуля упругости образца используют данные об упругом восстановлении лунок при разгрузке после второй ступени нагружения:

$$\Delta_y = \Delta - \Delta_{пл2} - \Delta_c, \quad (3.8)$$

где Δ_c мкм – доля сближения инденторов, обусловленная упругими деформациями нагрузочной системы при действии нагрузки P_2 и определяемая тарировкой нагрузочного устройства.

Модуль упругости рассчитывают по формуле (МПа)

$$E = \frac{1,13 \cdot 10^5}{1,82 \frac{\Delta_y}{P_2} \sqrt{(0,5\Delta_y + \Delta_{пл2}) \cdot 10^3} - 0,043}. \quad (3.9)$$

Обработка результатов наблюдений. Окончательную обработку результатов по испытанию образцов (вычисления среднего арифметического значения прочности $\bar{\sigma}$, среднего квадратичного отклонения Δ и коэффициента вариации ν) производят по формулам математической статистики [68].

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum(\sigma_1 - \bar{\sigma})^2}{n - 1}}, \quad (3.10)$$

$$\nu = \frac{\Delta}{\bar{\sigma}} 100 \%, \quad (3.11)$$

где n – число испытаний; ν – коэффициент вариации; t – нормированное отклонение.

Величина « t » принимается в зависимости от создаваемой степени надежности (P):

Задаваемая надежность, P	0,68	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,99
Нормированное отклонение, t	1	1,04	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,58

3.3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Результаты исследований можно использовать применительно к решению задач управления горным давлением (определение параметров ползучести и длительных прочностей пород) и при выборе средств и способов разрушения горных пород (определение условно-мгновенных прочностей, динамических характеристик горных пород и коэффициента крепости горных пород f). В данной работе приведены результаты исследований только второго направления.

Результаты исследований влажности, плотности и гранулометрического состава пород, слагающих упомянутые выше месторождения, приведены в табл. 3.3.

Вследствие большой неоднородности литологического состава пород, слагающих россыпи, влажность их колеблется в широких пределах (от 5 до 30 %) и зависит от соотношения гравийно-галечного материала и песчано-глинистого заполнителя. Из табл. 3.3 видно, что наибольшая влажность – 28–32 % наблюдается в супесчано-суглинистых породах (супеси, суглинки), в песчаных породах влажность составляет 20–25 %, в гравийно-галечных отложениях, цементированных песчано-глинистым заполнителем, – 19–25 %; наименьшей влажностью характеризуются коренные породы – глинистые сланцы – 6 %.

Наибольшую плотность 2400–2600 кг/м³ имеют коренные породы, а также породы, содержащие большое количество гравийно-галечного материала – 2200–2400 кг/м³. Увеличение песчано-глинистого заполнителя приводит к уменьшению плотности. Так, плотность супесчано-глинистых пород (илы, суглинки), целиком состоящих из мелкозема, составляет 1800–1900 кг/м³.

Гранулометрический состав супесчано-суглинистых пород (ил, суглинки) практически полностью представлен фракцией менее 0,14 мм. Гранулометрический состав пород кровли и продуктивного пласта характеризуется следующим образом: содержание гравийно-галечного материала, щебня, дресвы (фракция 10 мм и выше) колеблется от 20 до 40 %, содержание фракции 10–2 мм – от 15 до 40 %, остальная часть пород представлена фракциями менее 2 мм.

Как видно из табл. 3.3, значения условно-мгновенных прочностей на сжатие покрывающих пород кровли и продуктивного пласта незначительно отличаются друг от друга, что объясняется относительно однородным литологическим составом пород кровли и продуктивного пласта.

При испытании МКП в качестве основной была использована схема испытания пород с одной обнаженной плоскостью, которая позволяет исключить трудоемкие процессы подготовки блока, характерные для других схем. При этом возникает необходимость определения значения коэффициента перехода K_{Π} от прочности массива к кубиковой прочности.

Существуют два метода определения значения коэффициента перехода K_{Π} . Первый предусматривает полное отделение блока от массива, что практически неосуществимо без механического повреждения образца. В связи с этим для оценки результатов, полученных при одной обнаженной плоскости, в тех же выработках проводились испытания по раздавливанию породных блоков с тремя обнаженными плоскостями без его от-

Результаты исследования физико-механических свойств мн

Тип пород	Наименование, гранулометрический состав породы	Глубина разработки, м	Температура пород, °С
1	2	3	4

Шахта № 1

I	Основная кровля. Супесчано-суглинистые породы; 0,14 – 100 %	0,2–20	–12
II	Основная кровля. Переслаивание песка крупнозернистого и мелкозернистого с прослоями лигнитов и глин	20–85	–10
III	Породы кровли и продуктивного пласта: галечник глинистых сланцев, цементированный супесчано-суглинистым заполнителем; +10,0 – 38,6 %; +7,0 – 15,7 %; +5,0 – 12,6 %; +3,0 – 12,5 %; +2,0 – 4,9 %; +1,0 – 4,2 %; 0,5 – 3,2 %; +0,14 – 2,4 %; – 0,14 – 5,7 %	85–100	–9
IV	Плотик. Глинистые сланцы темно-серого цвета	100 м и ниже	–9

Шахта № 2

III	Продуктивный пласт. Супесчаный гравий и галька: +2,0 – 53 %; – 2,0 – 47 %	30	–12
-----	--	----	-----

Шахта № 3

III	Продуктивный пласт. Супесчаный гравий и галька: +2,0 – 51 %; – 2,0 – 49 %	40	–10
-----	--	----	-----

Шахта № 4

I	Основная кровля. Однородные супесчано-суглинистые породы: – 0,14 – 100 %	0,5–28	–15
	Непосредственная кровля		–8

Т а б л и ц а 3.3

голетнемерзлых крупнообломочных пород россыпей Кулара

Влажность породы, %	Плотность, кг/м ³	Условно-мгновенная прочность на сжатие			Условно-мгновенная прочность на растяжение		
		Количество опытов	МПа	Коэффициент вариации, %	Количество опытов	МПа	Коэффициент вариации, %
5	6	7	8	9	10	11	12

32	1850	6	7,4	12	—	—	—
20–25	1820	6	7,2	15	3	2,0	9,5
14,7	2350	4	7,5	9	6	2,0	11,2

Модуль Юнга * $E = 5200$ МПа, коэффициент Пуассона ** $\mu = 0,24$

6	2600		50,0		10	4,85	9
---	------	--	------	--	----	------	---

* $E = 42\ 000$ МПа

22	2000	7	8,0	14,6			
----	------	---	-----	------	--	--	--

* $E = 8000$ МПа, * $\mu = 0,15$

10	2200	6	6,2	12	5	1,8	6
25–30	1900	3	7,8	9	4	2,6	6
25	1900	5	5,2	6	5	1,5	10

1	2	3	4
III	Продуктивный пласт: +10 – 19,4 %; + 7,0 – 50 %; +5,0 – 3,8 %; +3,0 – 5,3 %; +2,0 – 4 %; +1,0 – 9,7 %; +0,5 – 21 %; +0,25 – 19,2 %; –0,25 – 12,6 %	30	–9

Шахта № 5

I	Основная кровля. Однородные супесчано- суглинистые породы: – 0,14 – 100 %	0,5–30	–15
III	Продуктивный пласт: +10,0 – 28,9 %; +7,0 – 8 %; +5,0 – 9,3 %; +3,0 – 12,8 %; +2,0 – 9,6 %; +1,0 – 15 %; +0,5 – 8,2 %; +0,25 – 5,6 %; +0,14 – 2,6 %	40	–9,5

Шахта № 6

I	Основная кровля. Однородные супесчано- суглинистые породы: – 0,14 – 100 %	0,5–30	–15
III	Продуктивный пласт: +10,0 – 26,47 %; +7,0 – 3,74 %; +5,0 – 5,17 %; +3,0 – 7,09 %; +2,0 – 5,79 %; +1,0 – 7,83%; 0,5 – 6,57 %; +0,25 – 4,7 %; +0,14 – 32,64 %	40–45	–9,5

деления от массива. Согласно работе [64], прочность этих блоков максимально приближается к прочности полностью оконтурированных блоков. Результаты испытаний приведены в табл. 3.4.

Коэффициент перехода от прочности массива к кубиковой прочности, определенный экспериментально (при трех обнаженных плоскостях), $K_{\pi} = 2$.

Более высокие показатели пределов прочности на растяжение и на сжатие имеют залегающие ниже продуктивного пласта глинистые сланцы темно-серого цвета. Пределы прочности их на сжатие и на растяжение соответственно составляют 59,0 и 4,85 МПа.

Модуль Юнга E для испытанных пород составлял от 5000–8000 МПа, а коэффициент Пуассона – 0,15–0,24. Коэффицици-

Окончание табл. 3.3

5	6	7	8	9	10	11	12
11	2300	6	6,0	8	4	1,8	9
		3	6,2	9			

* $E = 5200$ МПа, ** $\mu = 0,25$

30	1900	6	7,2	6	3	2,8	10
15,4	2400	6	6,8	6	4	2,3	9,5

* $E = 6000$ МПа, ** $\mu = 0,24$

28	1900	6	8,2	10	4	2,5	9
22	2200	9	6,9	12	3	1,9	12

* $E = 6300$ МПа, ** $\mu = 0,30$

Таблица 3.4

Определение коэффициента перехода K_n от прочности массива к кубиковой прочности пород

Место проведения испытаний	Количество	Усилия, возникающие при одной плоскости обнажения, МПа	Усилия, возникающие при трех плоскостях обнажения, МПа	K_n
Шахта № 4 (11) (см. табл. 3.3)	6	12,0	6,0	2,0
		12,1	6,0	1,9
		12,0	6,0	2,0
		12,2	6,1	2,0
		12,1	6,0	1,9
		12,2	6,0	2,0

ент вариации прочностных характеристик находится в пределах 15 %.

Результаты исследований были использованы при аналитических расчетах параметров разрушения МКП ударным устройством, при разработке исходных требований для проектирования навесного оборудования проходческих комбайнов.

3.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Обобщенный литологический разрез рыхлых отложений золотосодержащего месторождения Кулара, где проводились испытания, приводится ниже.

Кровля – высоко льдистые отложения с маломощными прослоями галечника. Массивные ледяные внедрения в виде жил, клиньев и пролинзовок. Общая льдистость – 60–65 %.

Продуктивный пласт:

1. Горизонт галечников желтого кварца с мелким беспорядочно ориентированным щебнем углисто-глинистого сланца равномерно рассортирован в льдистом цементе. Льдистость 20–30 %.

2. Горизонт элювиального сланцевого щебня, с беспорядочно ориентированной льдистостью. Льдистость – до 15 %.

Плотик сложен глинистыми сланцами, местами сильно разрушенными, встречаются прожилки льда.

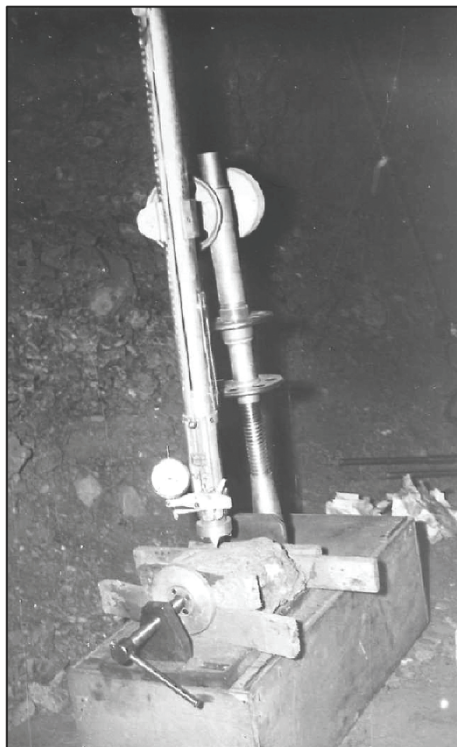
Исследованиям прочностных и деформационных свойств многолетнемерзлых крупнообломочных и дисперсных пород в условиях статического нагружения посвящены работы [43–55, 69]. В настоящее время факты изучения закономерностей разрушения МКП при воздействии динамических нагрузок нам не известны.

Температура воздуха в выработке и породного массива равнялась –10 °С. Для испытания отбирались образцы породы полуправильной формы с двумя параллельными гранями. Поверхности образцов не подвергались дополнительной механической обработке.

Подготовка прибора ДП-8К к испытаниям и выбор размеров образцов пород проводились согласно методике [70]. На рис. 3.8 показан общий вид прибора ДП-8К.

После испытаний разрушенный материал образцов подвергался ситовому анализу для определения гранулометрического состава, плотности и влажности (льдистости).

Рис. 3.8. Общий вид прибора ДП-8К



Результаты исследований испытанных пород даны в табл. 3.5.

Средние показания прибора в зависимости от высоты сбрасывания груза-ударника с индентором и вычисленные нагрузочные характеристики МКП приведены в табл. 3.6.

График зависимости силы взаимодействия штампа с породой P_n и глубины внедрения $L_{вн}$ от скорости соударения штампа с породой V показаны на рис. 3.9. Изменение силы взаимодействия штампа с породой P_n носит нелинейный характер. При приближении к критической скорости V сила P_n нарастает медленно и при достижении точки V стабилизируется. Критическая скорость, при которой происходит разрушение горной породы, $V_{кр} = 1,38$ м/с.

Величина деформирования горной породы под штампом тоже возрастает нелинейно и при достижении критической скорости резко возрастает.

Таблица 3.5

Гранулометрический состав, влажность и плотность многолетнемерзлых крупнообломочных пород

Физические характеристики пород	Супесчаный гравий с галькой и щебнем
Гранулометрический состав пород, %:	
гравий, галька, щебень, дресва >2 мм	40
заполнитель (песок, супесь, глина).	60
Влажность пород, % :	
породного массива	14
заполнителя	30
Плотность породного массива, кг/ м ³	2100

Динамические нагрузочные характеристики многолетнемерзлых крупнообломочных пород

Высота сбрасывания, $H_{сбр}$, м	Глубина внедрения, $L_{вн}$, 10^{-3} м	Скорость соударения штампа с породой, V , м/с	Сила взаимодействия штампа с породой, P_n , Н	Условная контактная прочность, P_g , МПа
0,02	0,4	0,2	580	184,7
0,05	0,6	0,3	962,8	306,0
0,07	0,8	1,17	1020,8	325,0
0,10	1,0	1,38	1160,0	369,4
0,12	1,0	1,51	1392,0	443,0
0,15	1,3	1,71	1338,4	426,4
0,20	1,7	1,98	1364,7	434,6
0,25	2,2	2,20	1310,0	419,0
0,30	2,6	2,40	1338,4	426,2

Характер изменения P_n от V (рис. 3.9) показывает, что МКП, судя по структурным и текстурным особенностям, обладают резко выраженными вязко-пластичными свойствами.

Судить о моменте хрупкого разрушения по отскоку груза-ударника от горной породы, как описано в методике, нам не удалось. В силу большой пластичности МКП и малой прочности, отскок груза-ударника был минимальным.

В результате проведенных исследований динамических нагрузочных характеристик МКП получены следующие основные характеристики:

- условная контактная прочность $P_g = 369$ МПа;
- условная динамическая вязкость $\mu = 267,6$ Н · с/м³;
- критическая скорость, при которой происходит разрушение, $V_{кр} = 1,38$ м/с.

В методике [69] дана формула для определения предела прочности (статического по ГОСТ 21153 4-75) на сжатие.

$$R_{сж} = K (Ж + \mu) V_{кр}, \text{ Па} \quad (3.12)$$

где $K = 0,0165$ – коэффициент, учитывающий напряженное состояние под штампом и масштабный фактор; $V_{кр}$ – критическая скорость деформирования (соударения), м/с; $Ж$ – условный показатель динамической контактной жесткости, Па с/м; μ – условный показатель динамической контактной вязкости, Па с/м.

Учитывая резко выраженные вязко-пластические свойства МКП, показателем контактной жесткости $Ж$ можно пренебречь.

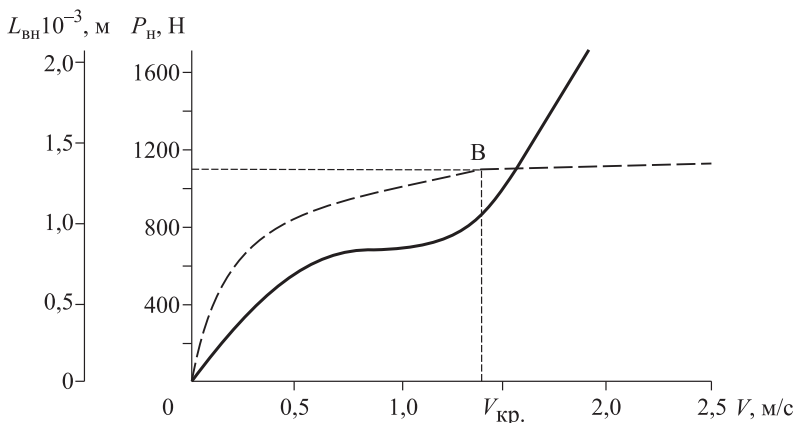


Рис. 3.9. График зависимости P_n и $L_{\text{вн}}$ от скорости соударения штампа с породой V

Условный показатель динамической контактной вязкости μ_k определяется по формуле

$$\mu_k = Pg/V_{\text{кр}} = 36,9 \cdot 10^7 / 1,38 = 26,76 \cdot 10^7 \text{ Па с/м} \quad (3.12)$$

$$R_{\text{сж}} = 0,0165 (26,76 \cdot 10^7) 1,38 = 60,9 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 6,1 \text{ МПа.}$$

Расчитанное по формуле (3.12) значение $R_{\text{сж}} = 6,1$ МПа показывает хорошую сходимость с результатами, полученными нами по методике ВНИМИ непосредственно в породном массиве [69] при тех же условиях.

3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

Вот уже несколько поколений специалистов горного дела в России и за рубежом применяют в своей повседневной практике коэффициент крепости f , значением которого определяется выбор способов и средств разрушения горных пород.

Обобщенная относительная оценка горнотехнических свойств пород коэффициентами крепости была предложена более 100 лет назад классиком отечественной горной науки – д-ром техн. наук, проф. М.М. Протодяконовым и не потеряла своей значимости в настоящее время.

В своем классическом труде «Материалы для урочного положения горных работ» М.М. Протодяконов определил крепость породы как сопротивляемость ее временным усилиям и отметил, что в каждом конкретном случае «сопротивляемость

эта обуславливается некоторой комбинацией элементарных сопротивлений растяжению, сжатию, сдвигу, которая так же разнообразна, как разнообразен способ воздействия усилий» [71].

Коэффициент крепости пород f – это относительный показатель, приближенно характеризующий сопротивляемость данной породы разнообразным (причем, как правило, сложным) силовым воздействиям в различных процессах горной технологии.

Большая заслуга ученого заключается в том, что он предложил не определять абсолютные величины сопротивляемости породы, а лишь сравнивать породы между собой, группируя их на классы по крепости, т.е. составляя тем самым единую классификацию пород по крепости.

Из существующих методов определения крепости пород f наиболее распространенным является метод испытания образцов пород на временное сопротивление их одноосному $\sigma_{сж}^{вп}$ с последующим вычислением его по известной формуле М.М.Протодьяконова [72]

$$f = \frac{\sigma_{сж}^{вп}}{10}. \quad (3.13)$$

Впоследствии формула (3.13) была уточнена Л.И. Бароном и представлена выражением (3.14):

$$f_b = \frac{\sigma + 10\sigma_1}{60} + \sqrt{\frac{\sigma + 10\sigma_1}{12}}, \quad (3.14)$$

где σ и σ_1 – временное сопротивление образцов одноосному сжатию соответственно правильной и неправильной форм, МПа.

Общим недостатком формул (3.13) и (3.14) является то, что по ним затруднительно получить достоверные показатели коэффициента крепости МКП. Так, по результатам наших исследований временное сопротивление на сжатие МКП, представленного супесчаным суглинком с галькой и щебнем с включениями кварцевых булыжников, при температуре -5°C равно 6 МПа [69]. Тогда по формуле (3.13)

$$f = \frac{5}{10} = 0,6,$$

а по формуле (3.14.) при $\sigma_{сж} = 6$ МПа , $\sigma_1 = 3,7$

$$f_b = \frac{6 + 10 \cdot 3,7}{60} + \sqrt{\frac{6 + 10 \cdot 3,7}{12}} \approx 2,7.$$

Вместе с тем по шкале буримости горных пород, предложенной МинГео СССР, данные породы отнесены к VI–X кате-

гории с коэффициентом крепости 4–5 [73]. Результаты определения коэффициентов крепости пород по формулам (3.13) и (3.14) не отражают реальное физико-механическое состояние МКП и дают заниженные цифры о прочностных свойствах таких пород. Поэтому определение коэффициентов крепости f по вышеприведенным формулам может привести к необоснованным техническим решениям по выбору техники и технологии разработки месторождений полезных ископаемых.

Методика и результаты определения. Авторами предлагается определение коэффициента крепости f МКП осуществлять следующим образом: от породного массива отбираются пробы методом бороздового опробования. Вес одной пробы должен быть не менее 3 кг. Породу взвешивают, высушивают и просеивают по фракциям. Твердые включения более 2 мм отделяют от заполнителя, группируют по фракциям, определяют их процентное содержание относительно объема твердых включений в пробе. Сущность предлагаемого метода заключается в суммировании коэффициентов крепости заполнителя и твердых включений, составляющих образец из выражения [74,75]:

$$f_{\text{обр}} = \frac{\sigma_{\text{зап}}}{10} + \left(\frac{\sigma_1^{\text{сж}} \cdot n_1}{10} + \dots + \frac{\sigma_n^{\text{сж}} \cdot n_n}{10} \right),$$

или

$$f_{\text{обр}} = f_{\text{зап}} + (f_1^n + \dots + f_n^n),$$

где $f_{\text{зап}} = \frac{\sigma_{\text{зап}}^{\text{сж}}}{10}$ – коэффициенты крепости заполнителя; $f_1^n = \frac{\sigma_1^{\text{сж}} n_1}{10}$,

$f_n^n = \frac{\sigma_n^{\text{сж}} n_n}{10}$ – коэффициент крепости пород отдельных составля-

ющих испытываемого образца; $\sigma_{\text{сж}}$, $\sigma_1^{\text{сж}}$, $\sigma_n^{\text{сж}}$ – временное сопротивление на одноосное сжатие соответственно заполнителя, 1-й и n -й фракций крупнообломочных пород составляющих испытуемый образец; $n_1 \dots n_n$ – содержание 1-й и n -й фракций крупнообломочных пород относительно общего объема.

Рассмотрим пример определения коэффициента крепости МКП, представленных твердыми включениями (50 %) и заполнителем (50 %), характерными для россыпных месторождений Якутии. В табл. 3.7 приведены гранулометрический состав пробы, принятые и расчетные значения коэффициента крепости.

Значение коэффициента крепости f кварцевых булыжников равно 20, но в данном примере с учетом его содержания в долях единицы относительно объема твердых включений, со-

Характеристики исследуемых пород и расчетные значения крепости пород МКП

Наименование породы	Температура пород, °С	Влажность, %	Гранулометрический состав, мм	Временное сопротивление на одноосное сжатие $\sigma_{сж}^{вр}$, МПа	Содержание в долях единицы	f	
						по Прото- дьякову	расчетная
Заполнитель Супесчаный суглинок Твердые включения кварцевые булыжники галька, щебень песчаных сланцев	-5	15	<2	6	0,5	0,6	0,6
	-5	-	50-100	200	0,1	20	2
	-5	5	10-50	60	0,4	6	2,4

ставляющего всего 0,1, принимается значение $f = 2$. Таким же образом определяется значение коэффициента крепости для песчанистых сланцев, которое с учетом содержания пород в долях единицы с коэффициентом крепости $f = 6$, (0,4) принято $f = 2,4$. Коэффициент крепости заполнителя (песок, супесь, суглинок) определяется прямым испытанием на сжатие или при наличии данных ранее проведенных исследований используются их значения в зависимости от значений температуры и влажности пород с применением формулы (3.13). В нашем примере $f = 0,6$. Причем значения коэффициента крепости заполнителя определяются без учета процентного содержания, так как по нашим и по исследованиям В.Н. Тайбашева (ВНИИ-1) для пород, крупнообломочная фракция в которых составляет менее 70 % общего веса скелета породы, прочностные и деформационные свойства определяются только составом заполнителя [43, 69].

$$f_{обр} = f_{зап} + (f_1 n_1 + f_2 n_2),$$

$$f_{обр} = 0,6 + (20 \cdot 0,1 + 6 \cdot 0,4) = 5,$$

где $f_{зап}$ – коэффициент крепости заполнителя; f_1 – коэффициент крепости кварцевых булыжников; f_2 – коэффициент крепости гальки и щебня песчанистых сланцев; n_1 – содержание кварцевых булыжников

относительно твердых включений; n_2 – содержание гальки и щебня песчаных сланцев относительно твердых включений (в долях единицы).

Итак, значение коэффициента крепости для МКП, представленных супесчаным суглинком с галькой и щебнем с включениями кварцевых булыжников, равно 5.

Предлагаемый способ определения общего коэффициента крепости f позволяет получить достоверное значение этого параметра для данных пород. Еще одним немаловажным преимуществом такой оценки f является то, что значение f можно определить расчетным путем, зная состав отдельных фракций в пробе и их процентное содержание с использованием справочных данных по прочностным свойствам с соответствующим коэффициентом крепости f и суммируя их, можно получить общий коэффициент крепости для МКП.

Пригодность предложенного способа определения коэффициентов f МКП предлагаемым способом подтверждается данными, приведенными в Единых нормах выработки (времени) Министерства геологии СССР на горнопроходческие работы 1969 г., где принята классификация горных пород с разделением на 20 категорий крепости, в которой МКП отнесены к VI категории с коэффициентом $f = 4-5$ [73].

Глава 4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

4.1. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В технологическом процессе добычи полезных ископаемых разрушение горных пород является основной и одной из наиболее энергоемких операций. В условиях резкого роста в мире стоимости энергоносителей особую роль в развитии горной техники приобретают изыскание новых и совершенствование существующих способов разрушения горных пород, от эффективности и экономичности которых зависит общее энергопотребление на горных предприятиях.

Среди известных способов разрушения наибольшее распространение получили механические: взрывной, резание, ударное разрушение. В последние годы в горной промышленности постепенно расширяется применение гидравлического, термического и комбинированных способов. Стадии экспериментальных исследований и промышленных испытаний проходят электрофизические и химические способы разрушения.

Основными показателями, характеризующими эффективность разрушения, являются: производительность или интенсивность, удельные энергозатраты и материалоемкость, критерии потери качества полезного ископаемого, показатели безопасности труда и техногенной нагрузки на окружающую среду. Одним из важных критериев оценки перспективности какого-либо способа отбойки полезного ископаемого следует также считать его технологичность, т.е. возможность создания на основе этого способа высокопроизводительной техники и технологии, которые бы позволили механизировать и автоматизировать все операции добычного цикла.

Среди названных показателей удельная энергоемкость, определяемая затратами энергии при дроблении материала, непосредственно связана с проблемой ресурсосбережения в горной промышленности. Общие энергозатраты на разрушение горной породы, согласно академику П.А. Ребиндеру, складываются из двух основных составляющих: работы упругоэластических

деформаций разрушаемого объема материала и работы, необходимой для образования новых поверхностей, возникающих при разрушении [76]. Поскольку удельная поверхностная энергия трудно поддается количественной оценке, особенно в производственных условиях, в практике пользуются интегральным показателем – удельной объемной работой ($\text{Дж}/\text{м}^3$ или $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$), т.е. объемной энергоемкостью разрушения.

В табл. 4.1 представлены результаты анализа многочисленных исследований по оценке энергоемкости современных способов разрушения горных пород, используемых в России и за рубежом за последние 20 лет [77, 78]. В качестве критерия оценки их эффективности принята средняя величина удельной энергоемкости, отнесенная к значению крепости (по шкале Протодьяконова) разрушаемой горной породы.

Из табл. 4.1 видно, что наименьшей удельной энергоемкостью характеризуется взрывной способ, который к тому же универсален, обеспечивает высокую производительность и не имеет ограничений по прочности пород. В то же время ему изначально присущ ряд серьезных недостатков, в том числе многооперационность и связанная с ней сложность организации работ, высокая стоимость, сейсмичность, повышенная опасность, ухудшение экологической обстановки в горнодобывающих регионах и др. Несмотря на его постоянную модернизацию, проводимую в последнее время за счет использования новых взрывчатых веществ, совершенствования буровой техники, средств взрывания и т.п., повышающих его технологичность и безопасность, полностью нейтрализовать названные выше факторы не удастся. В связи с этим в странах с развитой горнодобывающей промышленностью ведутся настойчивые поиски альтернативных способов разрушения горных пород.

Отечественный и мировой опыт показывает, что в настоящее время и на прогнозируемый период по-прежнему основными способами разрушения горных пород будут являться взрывной и механические. Привлекательность механических способов разрушения заключается в их технологичности, хорошей адаптации к горно-геологическим условиям, возможности локализации энергии, передаваемой массиву, и непрерывном контроле за процессами.

На рис. 4.1 представлены графики, зависимости удельной энергоемкости от прочности пород наиболее эффективных и применяемых в настоящее время механических способов разрушения [77, 78].

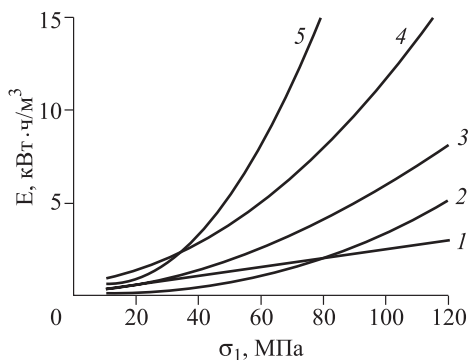
Таблица 4.1

**Удельная энергоёмкость различных способов разрушения горных пород,
отнесенная к значению крепости горных пород (по шкале Протождьяконова)**

Способ разрушения	<i>E/f</i>
1. Механический	
взрывной:	
а) рыхление горного массива	0,04
б) выброс горной массы	0,12
в) разработка горного массива экскаватором с применением БВР	0,25
г) разрушение негабаритов накладным зарядом	0,65
д) » » шпуровым зарядом	0,02
резание:	
а) тангенциальные вращающиеся резцы	1,0
б) дисковые шарошки при режиме свободного скалывания	2,0
в) то же при режиме повторно-блокированного разрушения	0,6
г) шарошечное бурение (СБР-160, СБШ-250)	7,7
ударное разрушение:	
а) разрушение негабаритов	0,1
б) послонное разрушение	0,25
в) бурение погружными ударниками	5,4
г) бурение перфораторами (ПР-19)	12,5
гидравлическое разрушение струей высокого давления	2,5
2. Термический:	
а) плазменный	7,3
б) высокотемпературная газовая струя	30
3. Электрофизический	
разрушение негабаритов:	
а) токами промышленной частоты (НЧ)	0,8
б) токами высокой частоты (ВЧ)	0,5
в) токами сверхвысокой частоты (СВЧ)	0,15
г) электрогидравлическим разрядом	0,05
отбойка горных пород:	5,0
а) СВЧ	30
б) электронно-лучевой	
4 Комбинированный	
механический:	
а) режуще-отрывной	0,2
б) режуще-ударный	0,25
гидромеханический:	
а) очистная выемка (уголь)	0,6
б) проходка горных выработок	1,5
термомеханический	
проходка горных выработок	7

Рис. 4.1. Зависимость удельной энергоемкости разрушения горных пород от их прочности:

1 – взрывной способ разрушения; 2 – послойное ударное разрушение (удельная энергия удара – 100 Дж/см лезвия зуба); 3 – повторно-блокированное резание дисковыми шарошками; 4 – резание вращающимися тангенциальными резцами; 5 – свободное резание шарошками



Разрушение резанием (резцовым и шарошечным инструментом) широко используется в исполнительных органах добычных и проходческих горных машин. Наиболее эффективно применение резцового инструмента при разрушении угля и вмещающих пород прочностью (предел прочности на сжатие – σ_1) до 20–30 МПа.

Значительное переизмельчение отбиваемой горной породы и пылеобразование характерно и для традиционного шарошечного инструмента. Повышение технико-экономических показателей горных машин с режущими исполнительными органами в настоящее время обеспечивается в основном за счет увеличения энерговооруженности машин с одновременным и обязательным повышением ресурса и надежности средств разрушения.

Зарубежные фирмы-изготовители горной техники, добившиеся в последние годы значительных результатов в повышении эффективности процесса разрушения горных пород резанием, решают эту проблему благодаря непрерывному совершенствованию существующих и созданию новых средств разрушения и увеличения мощности приводов.

Так, применение в последние годы тангенциальных вращающихся резцов в исполнительных органах горных машин, в том числе в машинах послойного фрезерования типа КСМ, позволило расширить область эффективного, хотя и с достаточно высокой удельной энергоемкостью, использования режущего инструмента на породах прочностью от 30–40 до 70–80 МПа [79]. Однако с повышением прочности и абразивности породы резко возрастают удельная энергоемкость и темп износа режущего инструмента.

Использование шарошечного инструмента, особенно дисковых шарошек, расширяет границы эффективного приме-

ния резания пород прочностью до 80 МПа, позволяет в сравнении с резцовыми инструментами снизить удельную энергоемкость, динамичность работы исполнительных органов, расход инструмента, пылеобразование. Дополнительные перспективы использования дисковых шарошек для разрушения крепких пород открывает предложенный режим повторно-блокированного резания, названный позднее малоцикловым силовым разрушением [78, 80]. В этом случае разрушение массива происходит после многократного прокатывания дисковой шарошки, что приводит к накоплению остаточных напряжений и последующему разрушению. Дальнейший рост и развитие микротрещин при повторных проходах происходят даже при значительном снижении подводимой энергии. Применение малоциклового силового разрушения по оптимистическому прогнозу авторов позволит расширить область эффективного использования резания пород прочностью до 100–140 МПа, увеличить производительность до 800–1000 м³/ч, снизить удельную энергоемкость разрушения (рис. 4.1, кривая 3) [80]. Однако чтобы достичь этого, необходимо значительно повысить напорные усилия на исполнительном органе, а это неизбежно приведет к увеличению массы и установленной мощности горной машины.

Ударное разрушение в принципе применимо в породах любой крепости, однако более эффективно оно в хрупких породах. Благодаря практически мгновенному переходу энергии удара в разрушаемую породу, данный способ позволяет получить на лезвии инструмента в момент удара большие усилия (3–4 МН), что практически невозможно достигнуть в статическом режиме. Важно и то, что реакция породы при этом замыкается в системе порода – инструмент – ударник машины, лишь малая ее часть передается на узлы основной конструкции, что позволяет использовать большие усилия разрушения без увеличения прочности и массы базовой машины.

В исследованиях ударного способа разрушения, проведенных в ИГД СО РАН, рассматривались две схемы нагружения [81]. Первая из них отражает процессы, связанные с разрушением негабаритов горных пород, вторая свойственна технологическим процессам разработки породного массива. Если в первой результатом воздействия ударов является раскол куска горной породы на части, то вторая предполагает непрерывное послойное отделение горной породы от породного массива. Разрушение по второй схеме, в отличие от ударного, можно рассматривать как комбинированный ударно-режущий процесс, включающий этапы ударного разрушения в зоне внедрения ин-

струмента в массив горных пород и резание образующейся за ней зоны с нарушенными связями.

Для осуществления эффективного ударного разрушения удельная ударная энергия, отнесенная к длине лезвия клинового инструмента, в зависимости от прочности горных пород должна быть не ниже $100\text{--}120 \text{ Дж/м} \cdot 10^{-2}$ и может достигать величин $200\text{--}250 \text{ Дж/м} \cdot 10^{-2}$. Скорость перемещения ударного исполнительного органа при послойном разрушении определяется

$$V = ln, \quad (4.1)$$

где l – величина отрезка пути между двумя последовательными ударами, м; n – частота ударов, Гц.

Интенсивность процесса ударного разрушения, определяемая как $J = SV$ (S – сечение снимаемой стружки, м), зависит от прочности разрушаемой породы, сечения стружки и мощности привода ударных зубьев $N = An$ (A – энергия единичного удара, Дж).

Процесс послойного ударного разрушения, характеризующийся увеличенными параметрами стружки в сравнении с резанием, обладает более высокой интенсивностью. Так, при разрушении мерзлых грунтов и углей одним ударным инструментом с энергией единичного удара 1000 Дж и частотой 9,5 Гц она составляет $150\text{--}200 \text{ м}^3/\text{ч}$ [82]. Более высокая интенсивность разрушения была получена при работе ковша активного действия карьерного экскаватора ЭКГ-5В, оснащенного тремя ударными зубьями [83].

В табл. 4.2 приведены результаты расчета интенсивности послойного разрушения для одного долотчато-клинового инструмента (зуба экскаватора) с энергией единичного удара 1700 Дж и частотой 7 Гц. Высокие значения интенсивности в данном случае объясняются наличием взаимодействия ударных инструментов, двух статических зубьев между ними, значительными тяговыми усилиями на блоке ковша (до 500 кН) и высокой скоростью перемещения ковша относительно забоя (до 0,9 м/с).

Кроме высокой интенсивности разрушения, ударный способ благодаря меньшей степени дробления материала характеризуется сравнительно низкой удельной энергоемкостью, причем с увеличением прочности породы темп ее роста значительно ниже, чем при резании (рис. 4.1, кривая 2).

Таким образом, современные ударные устройства, используемые в активных исполнительных органах горных машин, позволяют обеспечить эффективное разрушение горных пород прочностью до 100 МПа. Расширение границ применения удар-

Интенсивность процесса ударного разрушения различных по прочности горных пород

Наименование породы, предприятие	Прочность породы, σ_1 , МПа	Интенсивность разрушения, J , м ³ /ч
Алевролит (разрез «Красногорский», Кузбасс)	50–60	340
Песчаник (разрез Красногорский», Кузбасс)		350
Уголь марки СС, матовый (разрез «Новосергеевский», Кузбасс)	20–30	460
Уголь (разрез «Майкюбенский», ГАО Экибастузкомир, Казахстан)	20	500
Кварцит после сотрясательного взрывания (Антоновский рудник, Кузбасс)	120–160	200
Смешанная свинцово-цинковая руда (Жайремский ГОК, Казахстан)	60–120	300
Многолетнемерзлые алевролиты на известковистом цементе (карьер «Мир», ПНО Якуталмаз)	30–90	280
Карбонатные породы (ПО «Гремячевнеруд», Нижегородская область)	60–80	250

ного способа на более крепкие породы возможно за счет увеличения удельной ударной энергии на зубе экскаватора, а также повышения их надежности и долговечности.

Наряду с постоянным совершенствованием механических способов разрушения в мировой и отечественной практике ведется поиск новых, нетрадиционных способов разрушения с использованием различных источников энергии: инфракрасное, лазерное, электронно-лучевое, электромагнитные волны, электроимпульсные разряды и др. Однако, за исключением создания некоторых опытных образцов, эти способы до настоящего времени не нашли практического применения в горнодобывающих технологиях.

Основными причинами, ограничивающими внедрение нетрадиционных способов, являются: высокая удельная энергоемкость разрушения большинства из них, селективность (повышенная зависимость от физических свойств горных пород), технологическая несовместимость с другими операциями, высокая стоимость при низкой их эффективности.

В последние годы в горной промышленности находят применение комбинированные способы, основанные на сочетании различных механических способов разрушения (режущее-ударный, режущее-отрывной, алмазно-ударный, буроскалывающий и

т.п.), а также на сочетании механического способа с гидравлическим, термическим и электрофизическим.

Работы по изучению комбинированного гидромеханического способа разрушения пород и созданию на его основе новых конструкций исполнительных органов проходческих комбайнов в нашей стране и за рубежом были начаты в 1970-е гг. В России эти работы ведутся в основном в ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского и ТулГТУ, а за рубежом – известными фирмами: «Роббинс» (США), «Вирт» (ФРГ), «Доско», «Андерсон Стрэклайд» (Великобритания) и др. Экспериментально установлено, что применение в исполнительных органах проходческих комбайнов высокоскоростных струй воды давлением более 120 МПа в сочетании с механическим инструментом (резцами или дисковыми шарошками) позволяет: снизить на 30–40 % усилия резания и подачи, значительно уменьшить износ механического инструмента и пылеобразование [84]. При проведении ГВ по известнякам прочностью 110–135 МПа комбайном «Доско МК2А» с девятью насадками достигнуто двукратное увеличение скорости проходки при двукратном снижении удельных энергозатрат [85]. Одной из существенных проблем, которая ограничивает область применения гидромеханических исполнительных органов, является невозможность их работы при отрицательной температуре. Недостатком его являются конструктивная сложность подвода к забою воды под высоким давлением (300–400 МПа), значительной дополнительной мощностью, а также быстрый износ форсунок.

Таким образом, на основании проведенной оценки эффективности современных способов разрушения горных пород можно сделать следующие выводы:

1. Среди существующих в настоящее время способов разрушения горных пород, применяемых при разработке полезных ископаемых, наибольшее распространение получили традиционные механические способы, в том числе взрывной, резание и ударное разрушение. Каждый из них в зависимости от прочности разрушаемых горных пород имеет свою область эффективного применения:

- резание – до 60 МПа;
- ударное разрушение – от 20 до 100 МПа;
- взрывной – более 100 МПа.

2. Взрывной способ не имеет ограничений по прочности пород, универсален, в то же время его применение в горной промышленности оказывает вредное воздействие на окружающую среду, он дорог и небезопасен. Резание и ударное разру-

шение в силу их технологических преимуществ перед взрывным постоянно совершенствуются, расширяя границы эффективного своего применения, оставляя взрывному способу область крепких и особо крепких пород.

3. Положительные результаты исследований по совершенствованию нетрадиционных способов разрушения позволяют предположить, что сочетание механических способов с некоторыми новыми может в недалеком будущем расширить область применения безвзрывной технологии с переходом на крепкие, особо крепкие и абразивные горные породы, а также повысить ее эффективность.

4.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СХЕМ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ КРЕПКИХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе исследований ударного разрушения крепких геоматериалов и строительных изделий были испытаны две схемы нагружения (рис. 4.2). Первая из них отражает различные встречающиеся в практике технологические процессы, связанные с разрушением образцов конечных размеров (негабариты различных горных пород, плитовые, блочные материалы и т.д.). Вторая – свойственна технологическим процессам отделения слоя материала при его добыче и разработке. Если первая связана с единичным воздействием инструмента, завершающимся расколом образца, то вторая предполагает некую непрерывность процесса, поэтому и реализующее ее устройство должно обладать высокой производительностью. В результате теоретических и экспериментальных исследований процесса ударного разрушения различных крепких материалов был установлен ряд весьма важных в научном и практическом отношении зависимостей, позволяющих достаточно обоснованно подходить к решению вопроса о параметрах ударных устройств для этих целей [90–92].

Механизм разрушения состоит в следующем. В процессе последовательных ударов по первой схеме, наносимых по индентору, последний, внедряясь в материал, сминает его своей контактной поверхностью и образует под ней зону уплотнения – ядро.

Последовательное увеличение этой зоны на пер-

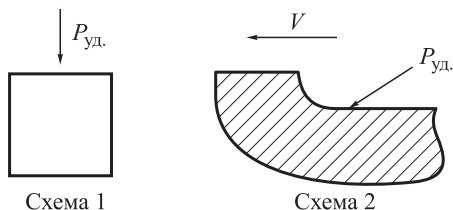


Рис. 4.2. Схемы приложения сил при разрушении образцов

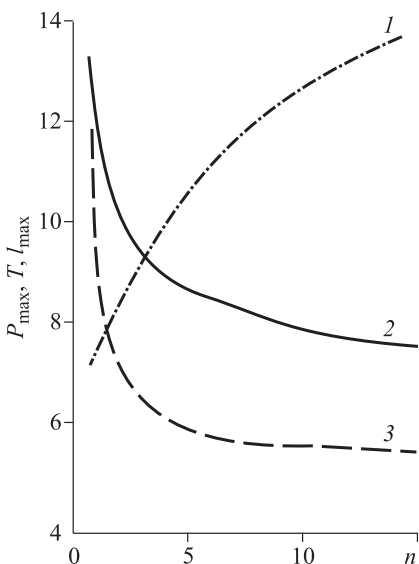
вых порах вызывает образование сколов вокруг индентора на поверхности материала. В дальнейшем деформации уплотненной зоны достигают определенного предела, при котором в материале под ядром образуются трещины, выходящие в процессе своего развития на поверхность. Материал уплотненной зоны, находящийся, скорее всего, в объемном напряженном состоянии, при образовании трещин начинает деформироваться в них и образует оперения остающейся после разрушения части ядра. На последнем этапе процесса разрушения давление уплотненной зоны под индентором доводит образующиеся внутри трещины до открытой поверхности и разрывает образец. Однако это может произойти лишь в том случае, если в начале процесса удельные нагрузки на контакте индентора и материала достигают величин, обеспечивающих разрушение и смятие последнего.

Полученные экспериментальные зависимости некоторых параметров процесса удара (максимальной силы P_{\max} , длины импульса T , максимальной глубины внедрения за удар l_{\max}) от количества последовательно наносимых ударов n по клиновому индентору показывают довольно резкое изменение их значений от удара к удару (рис. 4.3).

Характер графика силы P_{\max} свидетельствует об изменении под индентором свойств материала, меняющего от удара к удару свои прочностные свойства, и позволяет сделать важные заключения. Можно утверждать, что традиционные показатели механических свойств материала характеризуют лишь его состояние перед первым ударом и не могут применяться в процессе развития напряжений под инструментом. Вместе с тем ясно, что величина

Рис. 4.3. Зависимость максимальной силы P_{\max} , длины импульса T , максимальной глубины внедрения за удар l_{\max} от последовательно наносимых ударов n по индентору.

l – длина импульса; 2 – максимальная сила; 3 – максимальная глубина внедрения



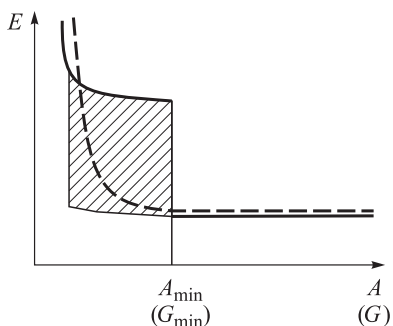


Рис. 4.4. Зависимость удельной энергоёмкости разрушения E от энергии удара A

максимальной силы оказывает наиболее существенное влияние на интенсивность процесса (глубину внедрения индентора) в самом начале процесса разрушения, при первых ударах.

Таким образом, для оценки эффективности ударного разрушения следует применять интегральные показатели, характеризующие его в целом и включающие в себя интенсивность процесса. Таким показателем может быть энергоёмкость разрушения материала. Кроме того, существенное влияние максимальной силы на начальный период развития процесса требует учета критерия его интенсивности. Исходя из сформировавшейся по результатам исследований, на первый взгляд, тривиальной точки зрения, процесс интенсивного ударного разрушения может начаться лишь при определенном значении нагрузки, приходящейся на единицу размера индентора. В связи с этим для клинового инструмента было введено понятие «погонной ударной энергии».

В результате экспериментов с образцами конечных размеров было установлено, что энергоёмкость разрушения E существенно зависит от энергии удара A (рис. 4.4). Для обеспечения хода процесса в режиме объемного разрушения, при достаточно низкой энергоёмкости, энергия и масса ударника должны быть не ниже некоторых минимальных величин (A_{\min} и G_{\min}). После превышения оптимального значения энергии A_{\min} энергоёмкость изменяется весьма мало, в связи с чем повышение ударной мощности должно повлечь за собой рост производительности дробления.

Числовые значения параметров удара по энергии и массе ударника должны выбираться с учетом физико-технических характеристик разрушаемого материала. Например, для эффективного течения процесса ударного разрушения образцов конечных размеров «погонная ударная энергия», т.е. энергия, отнесенная к длине лезвия клинового инструмента, обладающего, как было установлено, ориентированным эффектом разрушения, для большинства горных пород и других крепких материалов должна быть не ниже $120\text{--}150 \text{ Дж/м} \cdot 10^{-2}$.

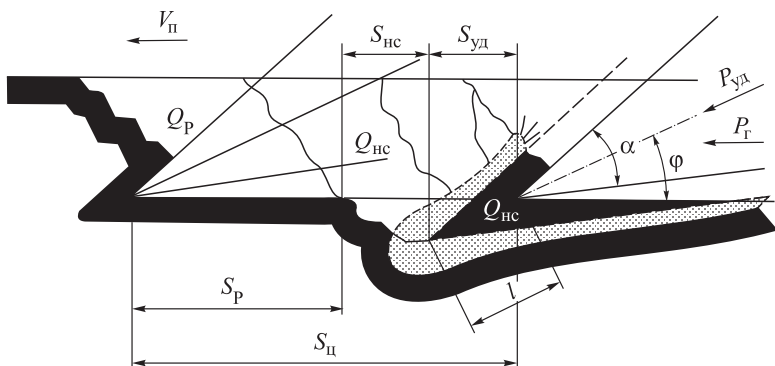


Рис. 4.5. Статико-динамический процесс разрушения горных пород.
 P_r – горизонтальная сила перемещения; V_n – скорость перемещения; $P_{уд}$ – сила удара; Q_p – зона резания; $Q_{нс}$ – зона с нарушенными связями; $Q_{уд}$ – зона ударного разрушения; $S_{ц}$ – путь, пройденный инструментом за один цикл (между двумя ударами); S_p , $S_{нс}$, $S_{уд}$ – составляющие пути разрушения одного цикла; l – глубина внедрения за удар

В ИГД СО РАН совместно с другими организациями проводились работы по исследованию и второй схемы нагружения или так называемого послойного ударного разрушения различных крепких материалов (рис. 4.2). Эти эксперименты выявили качественную и количественную стороны процесса отделения слоя определенной толщины и позволили установить его силовые и энергетические параметры.

Наши представления о физической сущности изучаемого процесса послойного ударного разрушения в настоящее время сводятся к схеме, представленной на рис. 4.5. Согласно этой схеме, статико-динамический процесс послойного разрушения материала исполнительным органом ударного действия можно условно разделить на три этапа: ударное разрушение зоны $Q_{уд}$ под действием $P_{уд}$; резание зоны с нарушенными связями $Q_{нс}$ силой P_r и, наконец, резание зоны Q_p под действием силы P_r .

В зависимости от того, с какой скоростью V_n перемещается рабочий орган, могут быть три частных случая:

1. При $V_n \leq S_{уд}/t_{ц}$ или $V_n \leq nl \cos \varphi/60$, где $t_{ц}$ – время между ударами, n – число ударов в минуту, происходит ударное разрушение – инструмент внедряется под воздействием силы $P_{уд}$, создавая впереди себя нарушенную зону $Q_{нс}$. Сила P_r в этом случае преодолевает только силы трения при перемещении рабочего органа.

2. При $\frac{S_{\text{нс}} + S_{\text{уд}}}{t_{\text{ц}}} \geq V_{\text{п}} \geq \frac{S_{\text{уд}}}{t_{\text{ц}}}$ сначала осуществляется ударное

разрушение с помощью силы $P_{\text{уд}}$, затем под действием силы $P_{\text{г}}$ материал отделяется в зоне, предварительно нарушенной ударной нагрузкой.

3. Наконец, при $V_{\text{п}} \geq \frac{S_{\text{нс}} + S_{\text{уд}}}{t_{\text{ц}}}$ имеют место все три этапа

разрушения, в том числе и резание нетронутого материала на длине $S_{\text{р}}$.

Наиболее благоприятным с точки зрения интенсивности разрушения, величины силы $P_{\text{г}}$ и удельных энергозатрат процесса является второй случай, когда можно получить достаточно высокую скорость перемещения рабочего органа $V_{\text{п}}$ при сравнительно небольших тяговых усилиях. Оптимальные значения параметров процесса зависят от свойств разрушаемой среды. Например, для обеспечения необходимой величины внедрения клинового инструмента при разрушении слоем некоторой толщины мерзлого грунта требуются погонные ударные энергии не ниже $80\text{--}100 \text{ Дж/м} \cdot 10^{-2}$.

На основании полученных в процессе опытов значений погонной ударной энергии значение предела $A_{\text{мин}}$ для большинства практических случаев должно быть не ниже $800\text{--}1000 \text{ Дж}$ (рис. 4.4).

Машины с ударными рабочими органами имеют наиболее удачную схему взаимодействия с разрушаемым материалом. Так, в процессе обычного резания материала реакция, достигающая в некоторых случаях значительной величины, вся воспринимается конструкцией машины, что, безусловно, должно приводить к увеличению ее веса и габаритов. В машинах, рабочие органы которых осуществляют ударное воздействие на разрушаемый материал, большие силы, возникающие при соударении, замыкаются в системе материал – инструмент – ударник. Поэтому конструкция агрегата не испытывает значительных нагрузок, и от машин с рабочими органами ударного действия следует ожидать большей компактности и меньшего веса.

4.3. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УДАРНОГО СПОСОБА ПРИ РАЗРУШЕНИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

Литологический состав, структурные особенности и физико-механические свойства пород, разрабатываемых при проведении вскрывающих, подготовительно-нарезных и очистных

выработок в условиях РШ в зоне многолетней мерзлоты весьма разнообразны и требуют дифференцированного подхода к выбору способа разрушения, техники и технологии очистных и проходческих работ.

Одним из способов, реально претендующих в настоящее время на использование для разработки МКП, является ударный. Этому в большей степени способствовали многочисленные исследования процесса ударного разрушения крепких материалов, проведенные рядом научно-исследовательских учреждений. ИГД СО РАН изучался процесс ударного разрушения мерзлых грунтов, горных пород и других крепких материалов, создавались устройства ударного действия для горных и строительных машин различного назначения [83, 86–94].

В качестве привода ударных устройств использовалась пневматика. Такой выбор основывался, прежде всего, на стремлении к быстрой и уверенной реализации самой идеи активизации рабочих органов машин. Объясняется это тем, что в то время в ИГД СО РАН была сформирована и активно работала под руководством проф. Б.В. Суднишникова научная школа по созданию пневматических ударных машин различного назначения: пневмопробойники, погружные пневмоударники, навесные пневмомолоты, перфораторы, ручные отбойные молотки, трамбовки и др.

Многие из этих машин нашли широкое применение в различных сферах производства и до сих пор, несмотря на кризис машиностроительной отрасли в России, выпускаются заводами по заказам горных и строительных предприятий.

На базе навесных пневмомолотов был создан целый ряд специализированных машин для дробления: плит ферросплавов, нормального и легированного корунда в абразивной промышленности, негабаритов горных пород в подземных условиях, в карьерах и на приемных грохотах обогатительных фабрик; машин для ломки футеровки печей и ремонта конвертеров в черной металлургии, демонтажа подин электролизеров в алюминиевой промышленности. На базе пневмомолота ПН-1300 было создано сменное рабочее оборудование с ковшом активного действия к экскаватору ЭО-4121, позволяющее разрабатывать мерзлые грунты V–VIII категории, а также трещиноватые горные породы крепостью до 80 МПа без предварительного рыхления [83].

Кроме того, были созданы экспериментальные образцы исполнительных органов ударного действия проходческого комбайна и динамического струга, которые показали перспектив-

ность применения устройств ударного действия в качестве рабочих органов горных машин для разрушения углей и горных пород [93, 94].

За рубежом к настоящему времени накоплен значительный опыт по созданию различных импульсных систем: пневматических, электрических, гидравлических, гидропневматических и других, имеющих широкий спектр энергетических параметров. Машины ударного действия нашли широкое применение при дроблении крепких материалов [95], а в последние годы — в проходческих комбайнах [95–99]. За границей наиболее известны комбайны английских фирм «Галлик–Добсон», «Шенд», западногерманских «Зальцгиттер», «Хаусхерр» и др.

Все эти машины идентичны по конструкции и отличаются лишь размерами, ходовыми механизмами и энергетическими параметрами ударных устройств. Они предназначены для проведения выработок по углю и горным породам с коэффициентом крепости $f = 6–8$, а также для дробления крупных кусков пород на почве выработок и состоят из ходовой части, привода, телескопической стрелы и ударного механизма. В качестве рабочих органов проходческих комбайнов заграничных фирм используются в основном гидравлические и гидропневматические ударные устройства.

Первые исследования ударного разрушения многолетнемерзлых продуктивных пластов с целью создания очистной машины с ударным исполнительным органом были проведены Карагандинским политехническим институтом при участии ВНИИ-1 и ПО «Северовостокзолото» в 1969–1972 гг. Была выявлена принципиальная возможность ударного разрушения МГП и получены данные, необходимые для проектирования экспериментального образца очистной машины для разрушения многолетнемерзлых песков ОМК-1. Эта машина предназначалась для непосредственного разрушения пород продуктивного пласта в условиях многолетней мерзлоты и представляла собой струг с двусторонним многолезвийным ударным исполнительным органом [100–102]. В качестве источника динамических нагрузок применялись мощные гидропневматические ударные устройства с расчетными параметрами: суммарная энергия единичного удара — 50 кДж, частота — 60 уд/мин. Длина машины составляла 6500 мм, высота 1800, ширина 735 мм, масса 23 т, предназначалась она для выемки пласта мощностью 1,8 м при толщине стружки 0,2–0,3 м и суточной добыче в объеме 326 м³.

Результаты ее первых испытаний на прииске «Экспериментальный» Магаданской области выявили сложность конструк-

ции, низкую работоспособность гидропневматических ударных устройств и распорно-подающего механизма. В дальнейшем в связи с отсутствием финансирования работы по совершенствованию ее конструкции были прекращены.

Таким образом, из анализа эффективности существующих способов разрушения крепких горных пород и мерзлых грунтов следует, что наиболее перспективным является ударный. Он дает возможность развивать на рабочем инструменте значительные усилия, позволяющие резко повысить толщину снимаемой стружки, что ведет к повышению производительности, снижению удельной энергоемкости процесса разрушения и пылеобразования. Относительная эффектность применения ударного способа в сравнении с резанием повышается при увеличении крепости разрушаемых пород, в то время как показатели резания в этом случае резко ухудшаются.

Учитывая большой накопленный опыт в изучении процесса ударного разрушения крепких материалов, а также значительный задел в области создания исполнительных органов ударного действия горных и строительных машин, в 1980 г. ИГДС СО РАН и ИГД СО РАН приняли решение совместно продолжить работы по изысканию средств механизации разработки МРМ безвзрывным способом. С целью определения силовых и энергетических параметров процесса ударного разрушения МКП на РШ ГОК «Куларзолото» были проведены первые экспериментальные исследования.

4.4. Исследования ударного разрушения многолетнемерзлых крупнообломочных пород в шахтных условиях

4.4.1. Ударное разрушение уступа породного массива с двумя плоскостями обнажения

Первый натурный эксперимент был проведен на шахте Омолой в 1980 г. для оценки эффективности разрушения МКП ударным способом.

В качестве разрушающего ударного устройства использовался пневмомолот ПН-1300 конструкции ИГД СО РАН, серийно выпускаемый, а манипулятором служило рабочее оборудование экскаватора ЭО-2621. Общая схема экспериментальной установки показана на рис. 4.6.

Разрушаемый участок пласта был представлен крупнообломочным материалом, включающим до 50–60 % твердых фракций, преимущественно кварца, и 50–40 % заполнителя – супеси

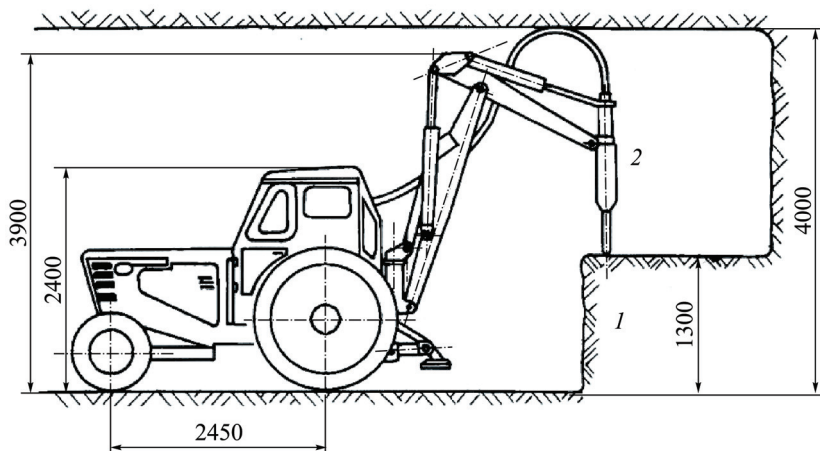


Рис. 4.6. Схема установки экскаватора с навешенным пневмомолотом в специальной камере.

1 – породный уступ; 2 – пневмомолот ПН-1300

с глиной. Температура породного массива составляла $-7-8^{\circ}\text{C}$, влажность 20–30 %.

Для проведения эксперимента в шахте была подготовлена специальная камера высотой около 4 м, шириной 6 и длиной 7–8 м. Высота уступа, предназначенного для разрушения, составляла 1,3 м, длина – 3,5 и ширина – 2,0 м. Подвод сжатого воздуха к пневмомолоту от компрессора 6ВКМ осуществлялся от магистрального трубопровода по резинотканевому шлангу.

В процессе исследования ударного разрушения МКП определялись следующие параметры:

- толщина отделяемой стружки;
- поперечное сечение и длина борозды, образующейся в уступе после прохода пневмомолота;
- усилие в опорах пневмомолота;
- угол наклона оси пневмомолота к вертикали;
- продолжительность прохода пневмомолота;
- давление сжатого воздуха;
- физико-механические свойства разрушаемой породы.

Породный уступ, предназначенный для разрушения, имел форму параллелепипеда, размерами $3,5 \times 2,0 \times 1,3$ м, три плоскости которого представляли собой породный массив, а три другие были обнажены. Разрушение производилось при двух и трех плоскостях обнажения.

Для определения основных параметров процесса разрушения МКП пневмомолотом была проведена серия испытаний при различной толщине стружки и угла атаки. Давление сжатого воздуха в пневмосети оставалось практически постоянным и составляло 0,7 МПа, что обеспечивало получение энергии единичного удара 1,5 кДж с частотой 480 уд./мин при расходе 14–16 м³/мин.

Было установлено, что разрушение МКП рабочим органом ударного действия происходило эффективно и сопровождалось периодическим отделением крупных кусков породы (рис. 4.7). Средний размер куска составлял 25 × 25 × 10 см. Сравнение показателей разрушения уступа, имеющего две или три плоскости обнажения, показало, что в последнем случае процесс разрушения сопровождался более крупным сколом и отдельные куски породы достигали размеров 65 × 40 × 25 см.

После прохода рабочего инструмента в уступе образовывались борозды шириной 40–80 см. При разработке уступа на один след разрушения длиной 70 см приходилось около 40 включений кварца размерами в среднем 8 × 7 × 4 см, а иногда 20 × 10 × 8 см.

При разрушении уступа при толщине стружки 30–35 см и угле атаки 45° (угол между осью пневмомолота и касательной к траектории его движения) инструмент заглублялся на всю его длину, при этом скола породы не происходило, так как букса пневмомолота упиралась в породный массив и процесс разрушения останавливался. Причиной этому был большой угол атаки, при котором нормальная составляющая реакции забоя, направленная в сторону забоя, затягивает инструмент вглубь уступа.

Наиболее эффективно процесс разрушения МКП



Рис. 4.7. Характер разрушения уступа породного массива с двумя плоскостями обнажения пневмомолотом

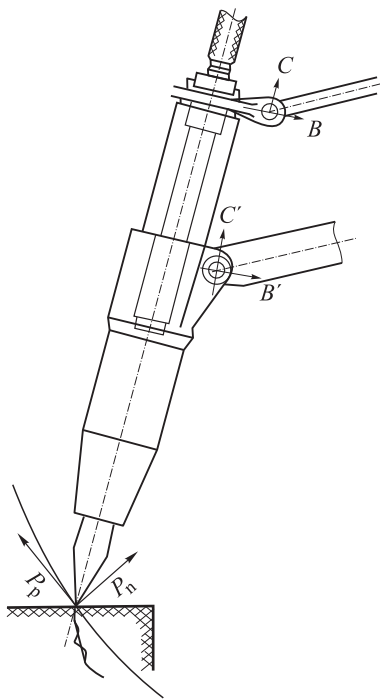


Рис. 4.8. Схема сил, действующих на пневмомолот.

P_p – сила сопротивления перемещению рабочего органа, направленная по касательной к траектории перемещения рабочего органа; P_n – нормальная сила, направленная по нормали к траектории перемещения рабочего органа; C, B, C', B' – составляющие сил реакции в шарнирах крепления пневмомолота

происходил при толщине стружки 20–25 см, при этом ширина борозды составляла 50–80 см. Скорость перемещения пневмомолота в процессе разрушения колебалась в пределах 0,05–0,1 м/с.

Составляющие реакции забоя: суммарное сопротивление перемещению рабочего органа – P_p и нормальная сила – P_n , отжимающая или затягивающая инструмент по отношению к забою (рис. 4.8), определялись после

расшифровки осциллограмм. Максимальные значения этих сил в зависимости от толщины стружки колебались в пределах $P_p = 130–140$ кН, $P_n = 90–110$ кН, а средние значения соответственно: $P_p = 40–60$ кН, $P_n = 30–50$ кН. Процесс разрушения уступа ударом характеризовался неравномерностью ударной нагрузки на рабочем органе, что вызвано неоднородным строением продуктивного пласта. Коэффициент неравномерности нагрузки при этом колебался в пределах 2,0–2,2.

Интенсивность разрушения МКП менялась в зависимости от условий разрушения в пределах 15–25 м³/ч и составляла в среднем 20 м³/ч. Общая удельная энергоёмкость, складывающаяся из энергоёмкости перемещения рабочего органа и энергоёмкости по затраченному воздуху, колебалась в пределах 1,0–1,5 кВт/м³.

Кроме того, проводились испытания по разрушению породного массива ударным устройством при одной обнаженной плоскости. Пневмомолот при этом подводился не к уступу, а к боковой стенке выработки под углом не менее 35–40°. Ударный инструмент заглублялся в массив на глубину около 20 см и, опи-

сывая с помощью манипулятора дугу определенного радиуса, разрушал стенку выработки. При этом образовывался четкий след разрушения, близкий по форме к трапецевидному. Размеры отколотых кусков породы достигали $30 \times 30 \times 8$ см. Составляющие реакции забоя в процессе разрушения стенки оказались выше, чем при разрушении уступа: в среднем $P_p = 50-70$ кН, $P_n = 40-60$ кН. Пиковые значения усилий достигали $150-160$ кН. Интенсивность разрушения – в среднем 18 м³/ч. Общая удельная энергоемкость разрушения составляла не более $1,5$ кВт · ч/м³.

Проводились также эксперименты по разрушению пород почвы пласта, представленной глинистыми трещиноватыми сланцами. Кинематические возможности манипулятора экскаватора позволяли устанавливать пневмомолот относительно разрушаемой поверхности (почвы пласта) под углом $60-80^\circ$. Поскольку пневмомолот можно было перемещать только вглубь, а не вдоль почвы пласта, то можно было проверить лишь возможность заглубления ударного инструмента. При этом было установлено, что инструмент эффективно углублялся в почву пласта до упора буксы пневмомолота в породный массив.

По результатам проведенных первых натуральных экспериментов ударного разрушения МГП пневмомолотом ПН-1300 были сделаны следующие выводы:

- установлена принципиальная возможность ударного разрушения МКП:

- ударный процесс разрушения МКП протекал достаточно эффективно и сопровождался отделением крупных элементов скола с образованием борозды с трапецевидным развалом, что свидетельствует о склонности этих пород к хрупкому разрушению;

- при создании безвзрывной технологии разработки МРМ подземным способом могут найти применение пневматические и гидравлические ударные устройства.

4.4.2. Ударное разрушение многолетнемерзлых крупнообломочных пород с выровненной поверхностью забоя

Исследования процесса ударного разрушения МКП были продолжены в шахтных условиях, максимально приближенных к работе очистных машин в забое, не нарушенном буровзрывной отбойкой и имеющем одну плоскость обнажения.

В качестве базовой машины экспериментальной установки использовался проходческий комбайн ГПК (рис. 4.9). Для этого со стрелы комбайна демонтировалась режущая коронка и к

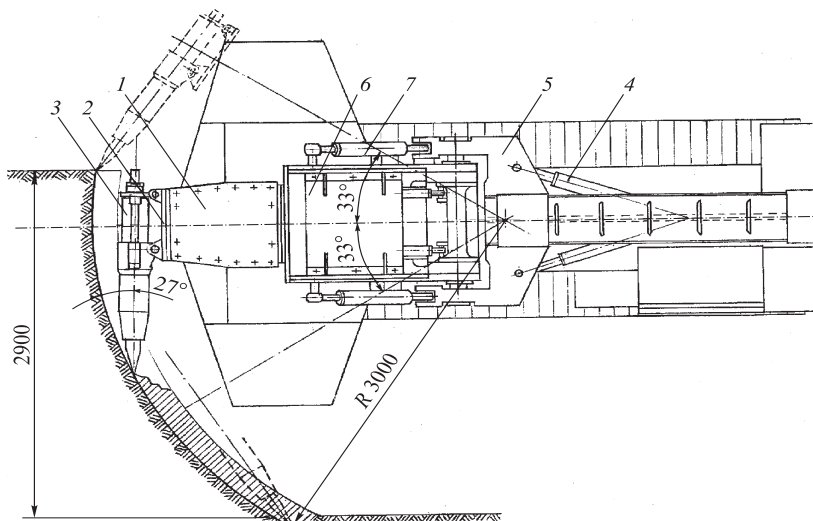


Рис. 4.9. Экспериментальный рабочий орган ударного действия.

1 – корпус редуктора; 2 – кронштейн; 3 – ударное устройство (пневмомолот); 4 – гидродомкраты поворота стрелы; 5 – поворотная турель; 6 – телескопическая стрела комбайна; 7 – гидродомкраты подъема стрелы

корпусу редуктора рабочего органа 1 с помощью специально изготовленных кронштейнов 2 крепилось ударное устройство (пневмомолот) 3. Приводом экспериментального исполнительного органа служили гидроцилиндры 4 поворота турели 5 комбайна. В качестве рабочего органа применяли пневмомолоты ПН-1300 и ПН-1700.

Техническая характеристика пневмомолотов

	ПН-1300	ПН-1700
Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,6	0,6
Энергия единичного удара, Дж	1300	1700
Частота ударов, мин ⁻¹	500	400
Внутренний диаметр воздухоподводящего шланга, мм	50	50
Расход воздуха при повторно-кратковременном режиме работы, м ³ /мин	10	12
Габаритные размеры, мм		
длина (без инструмента)	1500	1700
ширина	420	420
Масса, кг (без инструмента)	350	490

Общий вид экспериментальной установки на базе проходческого комбайна ГПКС представлен на рис. 4.10. Эксперимен-



Рис. 4.10. Проходческий комбайн ГПКС с навесным пневмомолотом ПН-1700 в шахте «Омолойд»

тальная установка располагалась в предварительно подготовленном забое таким образом, чтобы при повороте стрелы комбайна рабочий орган разрушал забой с одинаковой толщиной разрушаемого слоя на максимально возможной длине.

Применение в качестве базовой машины экспериментальной установки проходческого комбайна ГПКС позволило разрушать забой высотой 2 м и шириной 2,5 м, а также убирать разрушенную породу из призабойного пространства транспортером комбайна. Установка рабочего органа для разрушения забоя с определенной толщиной стружки осуществлялась с помощью ходовой частью комбайна передвижением «вперед – назад», а также с помощью телескопической стрелы комбайна.

Продуктивный пласт был представлен галечником и валунами кварца (до $0,3 \times 0,3 \times 0,3$ м), щебнем углисто-глинистого сланца, цементированных илом и льдом (общая льдистость 20–30 %). Температура пород составляла – 10 °С.

Использовались три различных рабочих инструмента, два из которых были долотчатыми и отличались друг от друга шириной режущей кромки (9 и 14 см), а третий имел скругленную режущую кромку (рис. 4.11). Угол наклона оси инструмента к плоскости забоя был постоянным и составлял 27°.

В процессе исследования измерялись следующие параметры:
– толщина разрушаемого слоя;

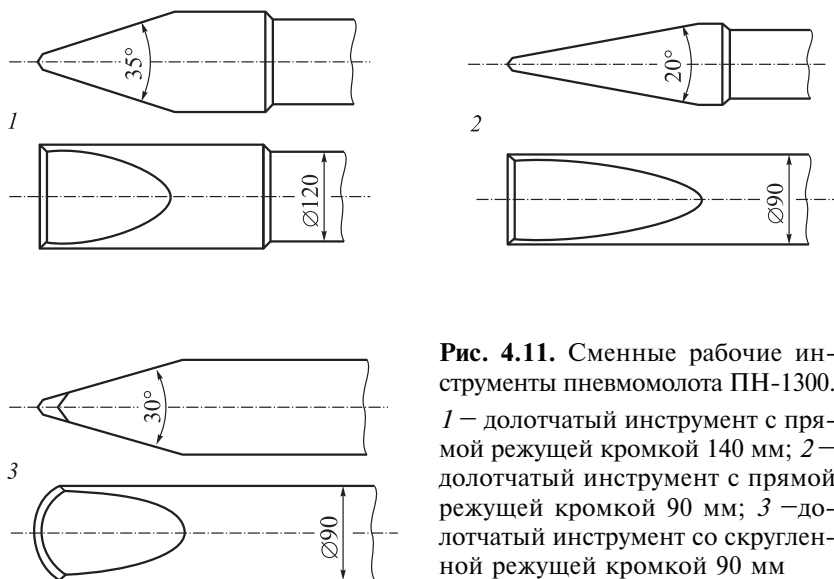


Рис. 4.11. Сменные рабочие инструменты пневмомолота ПН-1300.

1 – долотчатый инструмент с прямой режущей кромкой 140 мм; 2 – долотчатый инструмент с прямой режущей кромкой 90 мм; 3 – долотчатый инструмент со скругленной режущей кромкой 90 мм

- длина борозды, образуемой в забое после прохода рабочего органа;
- продолжительность прохода рабочего органа;
- скорость движения рабочего органа при разрушении породы;
- усилия в шарнирных опорах пневмомолота;
- угол наклона оси рабочего органа к траектории движения режущей кромки;
- давление сжатого воздуха в воздухоподводящей системе.

Длина борозды разрушения измерялась реостатной стойкой, установленной на комбайне и являющейся датчиком перемещения рабочего органа, а также потенциометром КСП-4, которым осуществлялась запись этого перемещения на специальную регистрирующую ленту, что позволяло при заданной скорости записи определять время и скорость движения рабочего органа.

В процессе послойного разрушения МГП ударным исполнительным органом на рабочий инструмент воздействует реакция забоя R , которую можно разложить на две составляющие (рис. 4.12):

P_p – горизонтальная составляющая усилия перемещения рабочего инструмента в плоскости касательной к траектории его движения;

P_n – нормальная составляющая усилия перемещения.

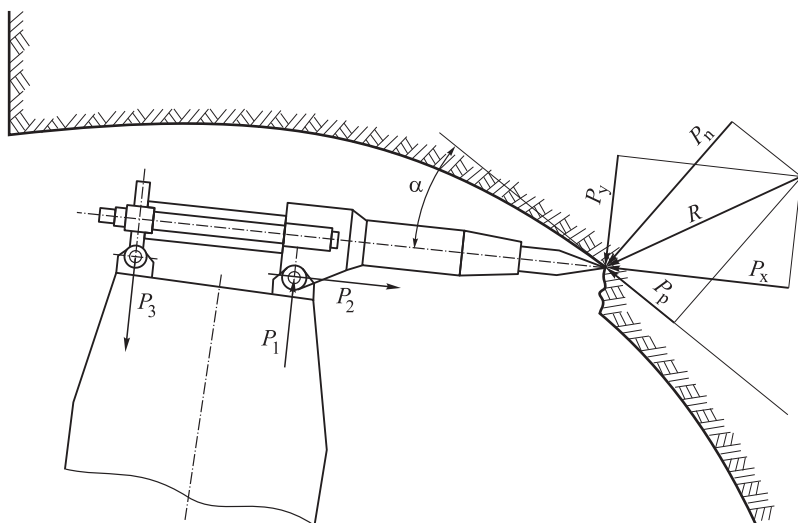


Рис. 4.12. Схема сил, действующих на рабочий орган в процессе разрушения забоя

Эти силовые параметры определялись после расшифровки осциллограмм усилий в опорах пневмомолота P_1 , P_2 и P_3 . Из условия равновесия системы сил, действующих на исполнительный орган, имеем

$$P_x = P_2 \quad (4.2)$$

$$P_y = P_1 - P_3 \quad (4.3)$$

При угле наклона оси рабочего органа к касательной к траектории движения рабочего инструмента (угол атаки), равном α , и известных реакциях в опорах

$$P_p = P_x \cos \alpha - P_y \sin \alpha \quad (4.4)$$

$$P_n = P_x \sin \alpha + P_y \cos \alpha \quad (4.5)$$

С целью определения направления усилий в опорах были проведены специальные испытания с приложением на инструмент усилия определенного направления. Для этого рабочий инструмент упирали в забой (воздух при этом перекрывался) и перемещали стрелу комбайна слева направо, вперед и назад. По отклонению записи на регистрирующей ленте определяли направление усилий в опорах.

В качестве основного показателя, характеризующего процесс разрушения МКП ударной нагрузкой, была принята удель-

ная энергоёмкость E – отношение затраченной на разрушение мощности N к интенсивности разрушения i

$$E = \frac{N}{i}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3. \quad (4.6)$$

Интенсивность разрушения определялась из выражения

$$I = 3600 \frac{FV_p}{t} = 3600 G/t, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.7)$$

где F – средняя площадь поперечного сечения следа разрушения, м^2 ; V_p – средняя скорость перемещения рабочего органа, м/с ; G – объем следа разрушения, м^3 ; t – время разрушения, с .

Общая удельная энергоёмкость ударного разрушения МКП пневмомолотом представляла собой сумму удельных энергозатрат на перемещение рабочего органа E_p и энергозатрат по сжатию воздуха E_v :

$$E = E_p + E_v \quad (4.8)$$

$$E_p = \frac{N_p}{i} = \frac{P_p V_p}{103 \cdot 3600 F V_p} = \frac{P_p}{36 \cdot 700 F}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/м} \quad (4.9)$$

$$E_v = \frac{N_v}{i} = \frac{1635 P_{\text{ати}} Q_v}{3600 F V_p} = \frac{P_{\text{ати}} Q_v}{2200 F V_p}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}, \quad (4.10)$$

где $P_{\text{ати}}$ – среднее избыточное давление сжатого воздуха на участке, МПа ; Q_v – средний расход сжатого воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$. Расход сжатого воздуха Q_v выражается через свободный (при атмосферном давлении) Q_0

$$Q_v = Q_0 \frac{T P_0}{T_0 P_{\text{ати}}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (4.11)$$

где $T_0 = 273 \text{ }^\circ\text{C}$; $P_0 = 0,1033 \text{ МПа}$; $T = 273 \text{ }^\circ\text{C} \pm$ температура воздуха; $P_{\text{ати}} = P_{\text{ати}} + 0,1033$, МПа – абсолютное давление воздуха.

Так как в настоящих экспериментах расход воздуха не измерялся из-за отсутствия необходимой аппаратуры, его определяли по расходным характеристикам в зависимости от рабочего давления сжатого воздуха.

Одной из задач настоящих исследований явилось изучение динамики процесса послойного ударного разрушения мерзлых песков. В качестве основных показателей динамики изучаемого процесса были приняты коэффициент неравномерности (динамичности) нагрузки

$$K_1 = \frac{\sum P_{\text{пик}}}{n_{\text{пик}} P_{\text{p ср}}}, \quad (4.12)$$

где $\Sigma P_{n \text{ пик}}$ – арифметическая сумма значений пиковых (максимальных) нагрузок на участке обработанной осциллограммы, H ; $n_{\text{пик}}$ – число пик на обработанном участке осциллограммы; $P_{p \text{ ср}}$ – среднее значение составляющей перемещения, H .

Также вычислялось отношение максимальной нагрузки к ее среднему значению

$$K_2 = \frac{P_{p \text{ max}}}{P_{p \text{ ср}}}. \quad (4.13)$$

Измерение усилий в шарнирных опорах пневмомолота в процессе разрушения осуществлялось с помощью специальных тензометрических пальцев, соединяющих рабочий орган со стрелой комбайна. На пальцы в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях наклеивались тензорезисторы, сигнал с которых поступал на усилитель УТ-4-1, а затем регистрировался самописцем Н-338-4. Тензометрические пальцы предварительно были заранее протарированы с использованием пресса.

В ходе проведения экспериментов выяснилась общая картина разрушения МКП инструментом посредством ударной нагрузки. Было установлено, что разрушение протекало достаточно эффективно, при этом отделение разрушенной породы от породного массива происходило кусками различных размеров: от 2–5 см в поперечнике до крупных кусков с размерами 50 × 30 × 20 см (рис. 4.13).

При анализе результатов исследования использовалась классификация форм отделения породы, предложенная Л.И. Баро-



Рис. 4.13. Куски отколотой породы после ударного разрушения.



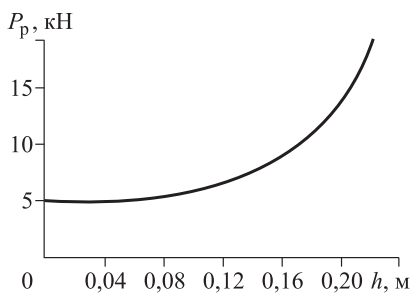
Рис. 4.14. След в забое после блокированного разрушения

ном [103]. В качестве основной формы, с которой сравнивались усилия перемещения и удельные энергоёмкости разрушения всех других форм отделения, была принята блокированная (с выровненной поверхностью). На рис. 4.14 показан след в забое после прохода рабочего органа в режиме блокированного разрушения, когда ударные инструменты удалены на такое расстояние, при котором не обнаруживается взаимное их влияние на процесс разрушения. При полублокированном разрушении, когда следы расположены близко друг к другу, происходит взаимодействие ударных инструментов и усилие перемещения на каждый инструмент снижается по сравнению с инструментом, работающим в блокированном режиме

После прохода рабочего органа при блокированном разрушении образовывалась борозда трапецеидального сечения с углом между боковой поверхностью и вертикалью от 5 до 150°. Этот угол зависит от толщины разрушаемого слоя и с увеличением последнего уменьшается, что свидетельствует о степени вязкости МКП.

Возможность полублокированного разрушения определялась расстоянием между осью инструмента и открытой боковой поверхностью, которое зависело от толщины разрушаемого слоя, физико-механических свойств породы и составляло в среднем 0,18–0,20 м при толщине стружки 0,15 м. По мере увеличения этого расстояния полублокированное разрушение переходило в блокированное, с образованием гребня между бороздами.

Рис. 4.15. Зависимость усилия перемещения рабочего органа от толщины срезаемой стружки



Экспериментальные исследования показали, что средние значения горизонтальной составляющей усилия перемещения рабочего органа P_p изменялись от 5 до 20 кН, а нормальной составляющей от - 15 до + 45 кН. Знак «минус» усилия P_n показывает, что оно воздействует на инструмент в сторону забоя, а знак «плюс» – от забоя. Установлено, что нормальная составляющая усилия перемещения действовала в основном от забоя, при этом работа была более устойчивой, чем при затягивающих усилиях, когда инструмент внедряли в забой, вызывая резкое увеличение усилия P_p до максимального значения, ограниченного силовыми возможностями базовой машины. Зависимость усилия перемещения от толщины разрушаемого слоя является одной из основных изучаемых в процессе ударного разрушения, так как она в конечном итоге характеризует удельное усилие и удельную энергоёмкость разрушения МКП.

Результаты исследований показали, что усилие P_p с увеличением толщины разрушаемого слоя возрастает по параболическому закону (рис. 4.15). Величина горизонтальной составляющей усилия перемещения зависит от степени блокированности следа разрушения. Если условно принять величину P_p в относительных единицах, то ее соотношение при блокированной, полублокированной и свободной формах разрушения составит 1 : 0,5 : 0,3. Увеличение погонной энергии единичного удара от 125 до 165 Дж/см, которое достигалось использованием инструментов с различной шириной режущей кромки, вызывало незначительное снижение усилия P_p . При работе инструмента со скругленной режущей кромкой процесс разрушения протекал эффективно, но сопровождался частым затягиванием инструмента в забой с прекращением разрушения.

Нормальная составляющая усилия перемещения рабочего органа при постоянном угле атаки не зависела от толщины разрушаемого слоя и колебалась около определенного уровня и составляла для данных условий разрушения около 18 кН. При разрушении МКП инструментами, имеющими меньший угол заострения, наблюдалось снижение усилия P_n , которое часто

принимало отрицательные значения, т.е. было направлено в сторону забоя. Усилие перемещения рабочего органа в процессе разрушения зависит от толщины разрушаемого слоя, степени блокированности следа разрушения, геометрических параметров используемого инструмента.

Интенсивность разрушения, определяемая произведением площади поперечного сечения следа разрушения и скорости перемещения рабочего органа, возрастала пропорционально толщине отделяемого слоя до $17 \text{ м}^3/\text{ч}$, после чего (при толщине более $0,2 \text{ м}$) снижалась. Объясняется это падением скорости перемещения рабочего органа с $0,17$ до $0,07 \text{ м/с}$ – по мере увеличения толщины разрушаемого слоя. Одной из причин ее снижения является то, что гидроцилиндры поворота турели комбайна по своим техническим возможностям не могли развивать тяговое усилие на экспериментальном рабочем органе более 20 кН . Такое усилие недостаточно для преодоления сил сопротивления перемещению рабочего органа с толщиной более $0,2 \text{ м}$.

При оценке степени эффективности процесса разрушения использовался показатель удельной энергоёмкости. Общие удельные затраты энергии определялись суммой энергозатрат на перемещение рабочего органа и энергозатрат на сжатый воздух, доля последних составляла $93\text{--}94 \%$.

Зависимость удельной энергоёмкости разрушения от толщины разрушаемого слоя при блокированном разрушении показана на рис. 4.16. Как видно из рис. 4.16, с увеличением толщины разрушаемого слоя общая удельная энергоёмкость снижается примерно до $1,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, а затем (при толщине слоя около $0,2 \text{ м}$) повышается. Для увеличения толщины слоя, при которой процесс разрушения оставался оптимальным, необходимо повысить мощность ударных устройств и привода рабочего органа.

В процессе разрушения МКП определялись пылеобразование малогабаритным прибором пылевого контроля ППО-2 с использованием тка-

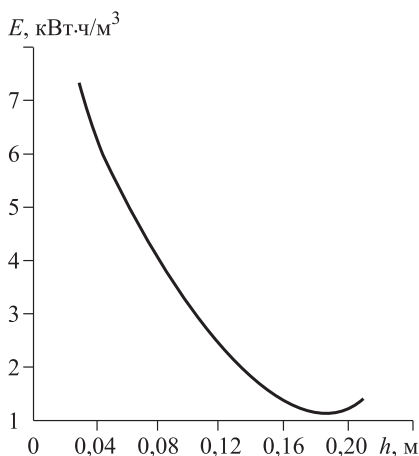


Рис. 4.16. Зависимость удельной энергоёмкости разрушения МКП от толщины стружки

невых фильтров АФА-В-10 и АФА-В-18. Отбор проб осуществлялся непосредственно на месте отбойки и на рабочем месте машиниста комбайна. Запыленность воздуха на месте отбойки – 15–20 мг/м³, на рабочем месте машиниста – 8–10 мг/м³. Это на порядок ниже, чем при бурении шпуров перфоратором ПР-30: 250–300 мг/м³.

Проведенные экспериментальные исследования ударного разрушения МКП в шахтных условиях позволяют сделать следующее заключение. Процесс послойного ударного разрушения исследуемых пород протекал эффективно с отделением крупных элементов скола. Величина скалывающих элементов зависела от степени блокированности разрушаемого участка в массиве и толщины стружки. Весьма высокая вязкость разрушаемой породы обуславливала образование следа разрушения с малыми углами развала боковых поверхностей.

Боковые поверхности следа разрушения были неровными и шероховатыми, а дно уплотнено. Такое состояние поверхностей позволяет предположить, что по боковым сторонам следа имеет место деформация отрыва, а состояние дна борозды свидетельствует о деформациях смятия и сдвига. При этом величина зоны смятия, которая в какой-то степени определяется шириной инструмента, относительно общей площади поперечного сечения следа разрушения уменьшается с увеличением толщины разрушаемого слоя. Учитывая, что сопротивление смятию по величине значительно превышает сопротивление отрыву, следует признать энергетически более целесообразным разрушение его толстыми слоями. Интенсивность процесса послойного разрушения МКП росла при увеличении толщины стружки до определенной величины, после чего снижалась. Объясняется это недостаточной мощностью привода экспериментальной установки: с увеличением толщины стружки сопротивляемость перемещению рабочего органа резко повышается, тяговое усилие возрастает, а скорость перемещения падает.

Геометрические параметры рабочего органа (угол атаки, угол заострения, ширина инструмента) оказывают влияние на силовые параметры процесса разрушения. Удельная энергоёмкость разрушения зависит от схемы разрушения: наибольшее ее значение отмечается при блокированном разрушении, наименьшее – при свободном разрушении.

Энергоёмкость процесса разрушения снижается (как и интенсивность) с увеличением толщины разрушаемого слоя до определенного предела, после чего наблюдается ее рост, вызванный снижением интенсивности разрушения и увеличением

усилия перемещения рабочего органа. При разрушении МКП различными инструментами наименьшая энергоемкость наблюдалась при использовании инструмента с шириной 120 мм и углом заострения 35° . Это объясняется большей площадью поперечного сечения следа разрушения при равных или меньших усилиях перемещения рабочего органа, по сравнению с другими испытанными инструментами. Изменение скорости перемещения рабочего органа в процессе разрушения было следствием ограниченных силовых возможностей базовой машины экспериментальной установки – при увеличении усилия перемещения скорость равномерно снижалась.

Динамичность процесса разрушения характеризовалась коэффициентом неравномерности нагрузки K_1 , колеблющимся в пределах $1,3 \div 2,5$. С увеличением толщины разрушаемого слоя динамичность процесса снижается, являясь в то же время функцией ряда факторов, влияние которых не изучалось.

Таким образом, проведенные исследования процесса послойного ударного разрушения МКП показали его эффективность и доказали возможность применения ударных устройств в качестве исполнительных органов проходческих и очистных машин при подземной разработке россыпных месторождений. Полученные зависимости силовых параметров процесса ударного разрушения МКП могут найти применение на ранней стадии проектирования экспериментальных и опытных образцов рабочих органов ударного действия.

4.4.3. Шахтные испытания экспериментального образца исполнительного органа проходческого комбайна

Горнодобывающие предприятия Заполярья, учитывая специфические особенности залегания россыпных месторождений, для проходки шахтных стволов применяли проходческие комбайны типа ГПКС. Однако область применения этих комбайнов ограничивалась выработками, проходимыми по тонкодисперсным породам с содержанием кварцевых включений размером не более 20 мм (до 10 %). В пределах слоя гравийно-галечниковых пород, где содержатся включения кварца крупностью свыше 80–100 мм (до 10 % по объему), комбайновая проходка оказалась неэффективной вследствие недопустимо большого расхода режущего инструмента [104]. В этой связи задача создания проходческого комплекса для проходки подготовительных и нарезных выработок по продуктивным пластам РШ приобретает актуальное значение.

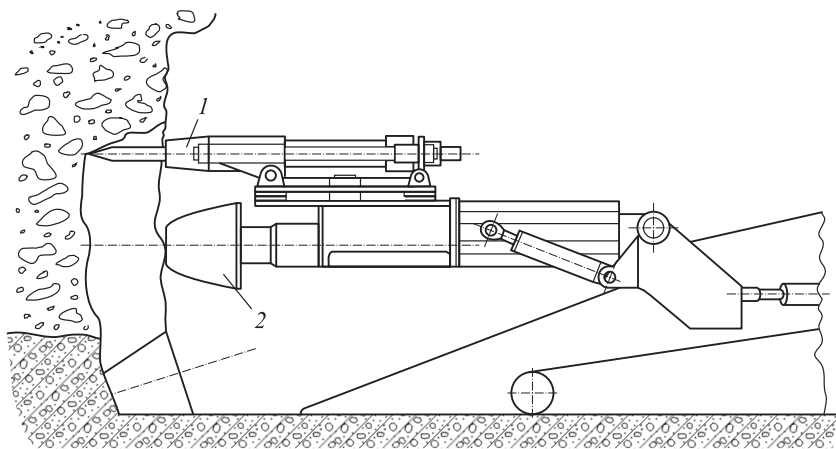


Рис. 4.17. Проходческий комбайн с комбинированным исполнительным органом.

1 – ударный исполнительный орган; 2 – режущий исполнительный орган

Объектом испытаний являлся экспериментальный образец ударного исполнительного органа проходческого комбайна, представляющий собой поворотный механизм, состоящий из двух плит: нижняя со шкворнем, жестко закрепленная на стреле комбайна ГПКС, и верхняя плита с втулкой, с помощью которой она может поворачиваться вокруг оси шкворня (рис. 4.17). Пневмомолот ПН-1700 монтировался на верхней плите с помощью кронштейнов и пальцев. При помощи гидродомкрата поворотной турели исполнительный орган в горизонтальной плоскости имел возможность поворачиваться на угол 66° . Перемещение исполнительного органа в вертикальной плоскости – вверх на 43° и вниз на 19° – обеспечивалось гидродомкратами подъема и опускания стрелы. Кроме того, пневмомолот при работе режущей головки исполнительного органа может перемещаться в горизонтальной плоскости на 280° .

Подача исполнительного органа на забой проводилась гидродомкратами выдвигания телескопической стрелы комбайна. Величина подачи за цикл – 500 мм. Нормальное усилие подачи для ПН-1300 и ПН-1700 – не менее 10 кН, максимальный расход сжатого воздуха до $14 \text{ м}^3/\text{мин}$, допустимое давление в сети воздухопровода – 0,7 МПа.

При первом цикле проведения выработки сечением 7 м^2 с применением навесного ударного исполнительного органа, закрепленного на телескопической стреле комбайна ГПКС, была

достигнута скорость проходки всего 1,7 м/сут. Основной причиной низкой производительности экспериментальной установки явилась высокая трудоемкость образования вруба ударным рабочим органом. Известно, что эффективность разрушения горных пород во многом зависит от выбранной схемы разрушения [105]. Наибольший эффект достигается при послышной схеме, когда забой имеет две обнаженные поверхности, а инструмент наклонен к одной из них под углом 20–30° (отбойка сколом). Для создания двух плоскостей обнажения при проходческих работах необходимо было образовать вруб, для чего производится отбойка выколом (разрушение «в лоб забоя»), когда инструмент наклонен к поверхности забоя под углом, близким к 90°. Энергоемкость процесса отбойки выколом, согласно Ю.И. Протасову, на два порядка больше, чем при разрушении сколом [105]. О низкой эффективности отбойки выколом свидетельствует и тот факт, что затраты времени на образование вруба при проведении выработки составили около 50 % продолжительности проходческого цикла в целом [106].

Из анализа горно-геологических условий россыпных месторождений Заполярья следует, что подготовительные горные выработки в большинстве случаев (до 98 %) проходят по продуктивному пласту, верхняя часть которого содержит МКП, а нижняя часть – глинистые или песчаные сланцы плотика (коренные породы) [107]. Учитывая такую неоднородность строения породного массива по сечению выработки, определяющую неравнозначную сопротивляемость механическому разрушению отдельных его участков, для создания исполнительных органов проходческих и очистных машин в этих условиях была предложена комбинированная схема разрушения забоя, основанная на использовании известных преимуществ принципа резания и ударного разрушения.

Такая схема разрушения была апробирована при проходке ГВ проходческим комбайном ГПКС, оснащенным режущей коронкой с приводом мощностью 55 кВт и ударным исполнительным органом с энергией единичного удара 1,7 кДж. На рис. 4.17 изображена схема экспериментального комбинированного исполнительного органа, а на рис. 4.18 – его вид в шахте.

Эксперименты проводились в одной из РШ ПО «Якутзолото» [108–112]. Забой нарезной выработки сечением 7 м² был представлен галечником кварца и мелким, беспорядочно ориентированным щебнем, сцементированным песчано-глинистым заполнителем. Над коренными породами в продуктивном пласте залегал слой мощностью до 0,5 м с отдельными включения-



Рис. 4.18. Экспериментальный исполнительный орган проходческого комбайна в шахте

ми кварцевых валунов. Их размеры в поперечнике достигали 0,1–0,15 м. Коренные породы в нижней части забоя (плотик) были представлены глинистыми сланцами. Температура массива составляла – 8 °С при средней весовой влажности пород 18 %.

Комбинированный исполнительный орган включал режущую коронку проходческого комбайна ГПКС, оснащенную резцами ЗР 4-80 с приводом мощностью 55 кВт и навесное ударное устройство – пневмомолот ПН-1700. Для работы только режущей коронкой ударное устройство убиралось из рабочего положения поворотом в горизонтальной плоскости.

В процессе исследования измеряли толщину разрушаемого слоя, параметры следа разрушения, образуемого в забое после прохода пневмомолота, угол наклона оси инструмента к плоскости забоя, усилия в опорах пневмомолота, угол наклона оси инструмента к плоскости забоя, усилия в опорах пневмомолота, давление сжатого воздуха в сети воздухопровода.

Разработка забоя выработки осуществлялась по следующей схеме. В первую очередь по подошве забоя (плотику) режущим органом комбайна проходилась вруб. Высота вруба равнялась диаметру шнека – 0,7 м, а глубина соответствовала величине хода гидродомкратов телескопической стрелы и составляла 0,5 м. Образованием вруба создавалась дополнительная (вторая) обнаженная плоскость, которая обеспечивала наиболее эффектив-

ное разрушение породного массива. При благоприятных горно-геологических условиях проходка врубовых щелей в разных местах забоя возможна была одной режущей коронкой с целью получения дополнительных обнаженных плоскостей, повышающих эффективность дальнейшего ударного разрушения породного массива.

После образования вруба последовательными сколами стружки в сторону обнаженной поверхности осуществлялось окончательное доведение сечения выработки до проектных размеров. Толщина сколов колебалась от 0,15 до 0,30 м, угол наклона оси инструмента к плоскости забоя изменялся от 80 (в нижней части забоя) до 95° (у кровли). Средняя продолжительность рабочего хода при скорости перемещения 0,05 м/с составляла 10 с. Давление сжатого воздуха в пневмосети при работе пневмомолота поддерживалось на уровне 0,7 МПа, что обеспечивало поддержание энергии единичного удара исполнительного органа на уровне 1,7 кДж.

В ходе экспериментов обеспечивалось эффективное разрушение породы исполнительным органом ударного действия в средней части забоя. При этом разрушенная порода отделялась от породного массива кусками различных размеров – от нескольких сантиметров в поперечнике до крупных кусков размерами 0,5 × 0,3 × 0,2 м.

Вместе с тем было установлено, что отбойка пород ударным устройством на контуре выработки затруднена. В связи с этим окончательное оконтуривание забоя по предварительно ослабленному ударными нагрузками слою осуществлялось режущей коронкой комбайна.

В качестве рабочего инструмента были использованы два типа долот – цельный симметричный клин с углом заострения 35° и асимметричный клин со съёмной коронкой, имеющей угол заострения 30°. По результатам измерений усилий, действующих в шарнирных соединениях крепления пневмомолота, не установлено существенных различий при использовании долот обоих типов.

Шахтные испытания экспериментального образца комбинированного исполнительного органа проходческого комбайна позволили выбрать следующую схему и порядок обработки забоя подготовительных выработок россыпных шахт (рис. 4.19): проходка врубовой щели режущей коронкой комбайна – 1; разрушение ударным исполнительным органом основной части забоя – 2; обработка режущей коронкой приконтурного слоя выработки до проектного сечения – 3.

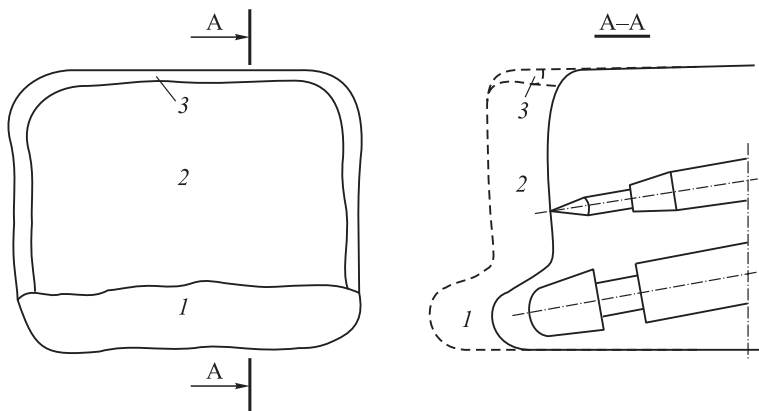


Рис. 4.19. Схема обработки забоя подготовительной выработки.

1, 3 – зоны разрушения режущим органом; *2* – зона разрушения ударным органом

На основании анализа результатов экспериментов комбинированного способа разрушения МКП с точки зрения энергопотребления (табл. 4.3) был сделан вывод, что при проведении ГВ сечением 7 м^2 средняя удельная энергоёмкость более чем в 2 раза ниже этого показателя, полученного при проходке резанием [113].

Основным итогом испытаний проходческого комбайна ГПКС с комбинированным исполнительным органом можно считать обоснование рациональности применения двухстадийной технологической схемы обработки забоя подготовительных выработок в условиях РШ:

I стадия – обработка контура выработки до проектного сечения с последующим образованием вруба режущей коронкой комбайна по коренным породам или ледяным включениям;

II стадия – разрушение основной (центральной) части забоя исполнительным органом ударного действия.

Анализ горно-геологических условий разработки россыпных месторождений Кулара, проведенный в ИГДС СО РАН, показывает, что типы забоев подготовительных и очистных выработок (включая вскрывающие) можно классифицировать следующим образом (рис. 4.20) [107]:

- забой представлен однородными тонкодисперсными породами с содержанием крупнообломочных включений до 10–15 % по объему (I, *a*);

- площадь забоя состоит из двух типов МГП: верхняя часть – тонкодисперсные породы с малым содержанием крупнообло-

Таблица 4.3

Удельная энергоёмкость разрушения забоя подготовительной выработки

Составляющие технологического цикла проходки выработки	Объем разрушения, м ³	Производительность, м ³ /ч	Удельная энергоёмкость, кВт·ч/м ³	Средняя удельная энергоёмкость по забою, кВт·ч/м ³	Скорость проходки, пог. м/ч
Образование вруба резанием (в плотике)	0,9	5,4	10,2	4,9	0,98
Ударное разрушение основной части забоя	2,08	8,5	1,2		
Обработка контура выработки резанием	4,8	4,8	11,5		

мочных включений (аналогично схеме I, *a*), нижняя часть – породы, содержащие крупнообломочные включения свыше 15 % (II, *a*);

– вся площадь забоя представлена МГП, содержащими значительное (свыше 15 %) количество крупнообломочных включений и валунов (III, *a*);

– забой состоит из двух типов пород: верхняя часть – породы со значительным (свыше 15 %) содержанием крупнообломочных включений и валунов, нижняя-коренные породы (глинистые сланцы) (IV, *a*);

– часть мощности пласта представлена крупнообломочными породами и илами (V, *a*).

Для всех пяти классов (I, *a* – V, *a*) в продуктивных пластах с наличием повторно-жильных льдов типичными являются варианты с частичной или полной присечкой жилы льда (I, *b* – V, *b*). В отдельных случаях возможно фронтальное пересечение выработкой ледяной жилы по всей площади забоя (I, *в* – V, *в*).

Представленные классами I–V типичные структуры забоев в общем объеме проводимых вскрывающих, подготовительных и очистных выработок имеют различный удельный вес (рис. 4.20).

Учитывая, что подавляющая часть объемов при ведении проходческих и очистных работ связана с забоями, соответствующими классу IV, обработку такого забоя необходимо осуществлять комбинированным способом: начинать с резания плотика и образования горизонтального вруба, а остающуюся часть забоя с двумя плоскостями обнажения, представленную МКП, разрушать ударно-скалывающим инструментом. При наличии прослоев ила или ледяных жил в верхней части

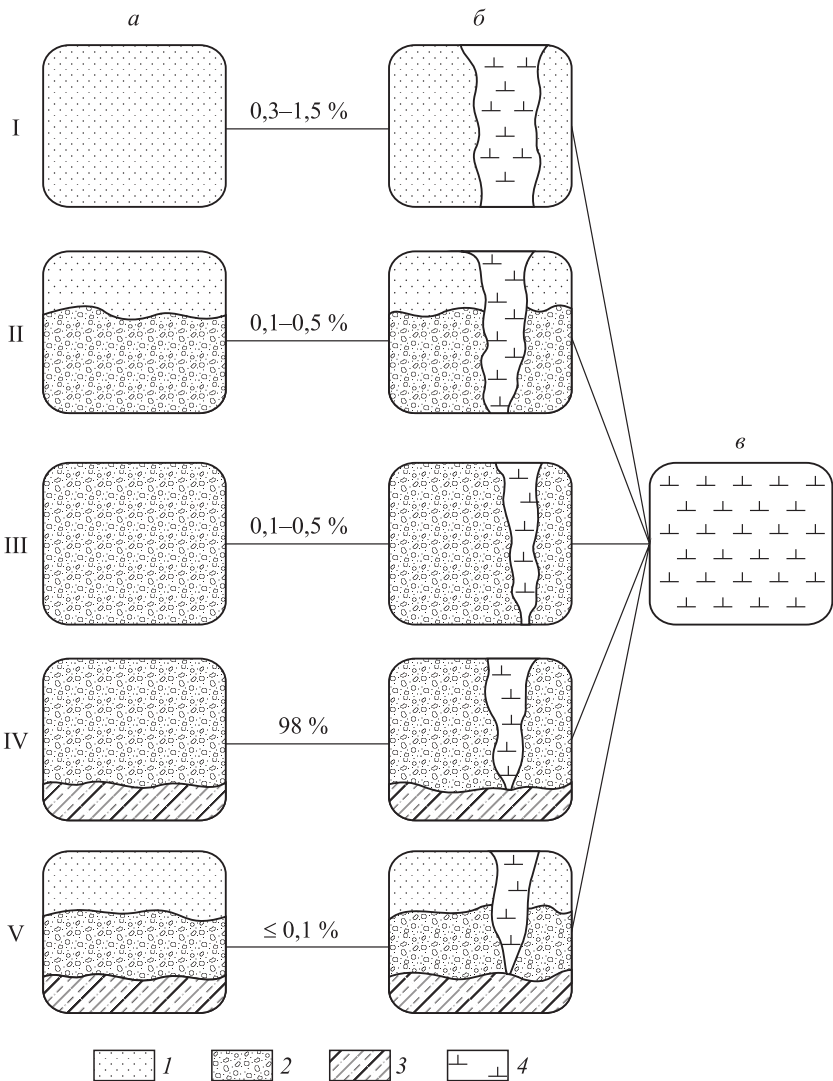


Рис. 4.20. Классификация структуры пород проходческих и очистных забоев высоко льдистых россыпей Кулара.

I–V – основные классы структур пород: а – породы, не содержащие ледяных включений; б – породы, расчлененные ледяной коркой; в – забой полностью представлен ледяной жилой.

1 – однородные супесчано-глинистые породы; 2 – многолетнемерзлые крупнообломочные породы; 3 – коренные породы; 4 – лед

Область применения проходческого комбайна с комбинированным исполнительным органом

Показатель	Классы структур пород проходческого забоя				
	I	II	III	IV	V
Виды выработок	Вскрывающие		Подготовительные, нарезные		
Протяженность выработок, %	0,3–1,5	0,1–0,5	0,1–0,5	98	≤ 0,1
Льдистость, %	До 60	30–40	12–15	15–20	20–30
Температура, °С			–6 ÷ – 10		
Абразивность, мг	5	До 6	Более 20	12–15	Более 10
Расход резцов, шт./м ³	0,01–0,03	0,55	2 и более	0,4–1,5	0,4–1,5
Энергоемкость разрушения, кВт·ч/м ³ : режущей коронкой	0,3	0,3–1,2	10–15 и более	10–15 и более	–
комбинированным исполнительным органом	0,3	0,3–1,2	2–5	2–2,5	1–2
Условия применения комбайнов типа: с режущей коронкой	Благоприятные	Благоприятные	Неблагоприятные	Неблагоприятные	Неблагоприятные
с комбинированным исполнительным органом	Благоприятные	Благоприятные	Благоприятные	Благоприятные	Благоприятные

пласта их, как и плотик, необходимо вначале отрабатывать режущим органом.

Анализ структуры пород проходческих забоев и опыт их проходки в условиях РШ Севера позволили определить область применения проходческих комбайнов с комбинированными исполнительными органами (табл. 4.4).

Как видно из табл. 4.4, для комбайнов с режущим исполнительным органом благоприятными условиями применений являются классы структур пород проходческих забоев I и II, а классы III, IV, V не рекомендуется разрушать режущим исполнительным органом из-за большой энергоемкости и недопустимо большого расхода резцов. Комбайны с комбинированными исполнительными органами практически могут найти повсеместное применение.

Таким образом, предлагаемая технологическая схема обработки забоя позволяет осуществлять работу режущим и ударным органами в условиях, где достигается максимально возможная эффективность отбойки горных пород. Расчеты, проведенные на основании экспериментальных данных, показали, что техническая скорость проходки составила около 1 пог. м/ч, а эксплуатационная, при соответствующей организации ведения горных работ, может составить 10–12 пог. м/сут, что почти в 3 раза выше, чем буровзрывной проходкой.

Предложенный комбинированный способ разрушения, сочетающий основные преимущества резания – непрерывность процесса и чистоту обработки контура выработки, и удара – низкую удельную энергоемкость разрушения, является перспективным при проходке горных выработок с неоднородным по прочности забоем.

Энергопотребление на комбинированное разрушение в сравнении с резанием можно снизить в зависимости от структуры и прочности пород в забое в 2–4 раза и в таких же пропорциях увеличить скорость проходки.

Наибольший эффект применения комбинированного способа ожидается при проходке выработок по смешанному забою с присечкой крепких пород, проведение которых в настоящее время остается актуальной задачей в горнодобывающей промышленности.

4.4.4. Шахтные испытания экспериментального образца исполнительного органа очистного комбайна

На прииске «Экспериментальный» (Магаданская обл.) были проведены шахтные испытания экспериментального образца ударного исполнительного органа, установленного на очистном комбайне.

Породы кровли и пласта были представлены многолетнемерзлыми аллювиальными отложениями террасового типа. Верхние слои рыхлых отложений сложены разнозернистыми песчано-супесчаными породами с включением гальки и гравия средней окатанности. Лыдность – 10–15 %. Температура пород – 5–6 °С. Породы кровли относятся к I классу устойчивости, предел длительной прочности на сжатие – 1,8–2,5 МПа, на растяжение – 0,36 МПа. Нижняя часть продуктивного пласта представлена плотными глинистыми сланцами. Высота забоя составляла 1,5–1,7 м, длина лавы – 30 м.

На рис. 4.21 представлена схема ударного исполнительного органа, а на рис. 4.22 – его вид в забое РШ. В качестве базо-

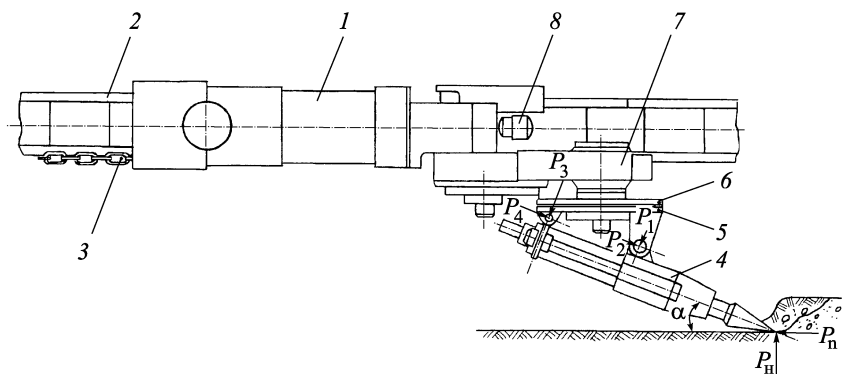


Рис. 4.21. Экспериментальный ударный исполнительный орган очистного комбайна.

1 – корпус комбайна; 2 – скребковый конвейер; 3 – тяговая цепь; 4 – ударное устройство; 5 – подвижная плита; 6 – неподвижная плита; 7 – корпус редуктора; 8 – гидродомкрат

вой машины экспериментальной установки использовался угольный комбайн 2К-52. В процессе работы комбайн 1 перемещался по стволу скребкового конвейера 2 вдоль забоя при помощи механизма подачи и тяговой цепи 3. Навесное экспериментальное оборудование состояло из ударного устройства 4, плиты 5 с кронштейнами и плиты 6, закрепленной на корпусе редуктора 7 нижнего шнека комбайна. Плита 5 установлена с возможностью поворота и фиксации относительно плиты 6. Изменение положения рабочего органа в плоскости забоя осуществлялось



Рис. 4.22. Экспериментальный исполнительный орган очистного комбайна в шахте

поворотом редуктора нижнего шнека при помощи гидродомкрата 8 и поворотом подвижной плиты 5 относительно неподвижной плиты 6. Сменные кронштейны плиты 5 позволяли устанавливать ударный орган с углом атаки α относительно забоя 15° , 20° . В процессе экспериментов испытывались различные рабочие инструменты: симметричные с углом заострения 30° и асимметричные с увеличенным задним углом. Ширина инструмента составляла 0,16 м.

В качестве ударного устройства использовался серийно выпускаемый пневмомолот ПН-1700 с энергией единичного удара 1700 Дж и частотой 7 с^{-1} при рабочем давлении сжатого воздуха 0,6 МПа.

В ходе проведения эксперимента исследовали блокированную и полублокированную форму следа разрушения. Процесс блокированного разрушения сопровождался отделением крупных элементов скола, максимальные из которых в отдельных случаях достигали размеров $0,7 \times 0,6 \times 0,3 \text{ м}$. След разрушения представлял собой трапецеидальную форму с довольно большим углом бокового развала (до 60°), что характеризовало хорошую разрушаемость данных пород ударной нагрузкой. Толщина разрушаемого слоя в процессе испытаний изменялась в пределах 0,2–0,4 м, а интенсивность разрушения при скорости перемещения комбайна вдоль забоя, близкой к 6 м/мин, достигала 40–50 м³/ч. При последовательном проходе двух борозд одним рабочим инструментом, когда первый проход представляет собой блокированное разрушение, а второй – полублокированное, общая площадь сечения следа значительно увеличивалась и составляла 0,22–0,25 м². Это позволяет считать, что для исполнительного органа, состоящего из двух ударных устройств, можно достичь интенсивности разрушения 80–90 м³/ч.

После расшифровки осциллограмм определялись усилия в тензометрических пальцах: суммарное сопротивление перемещению рабочего органа P_n и нормальная сила, отжимающая (знак «плюс») или затягивающая инструмент (знак «минус») по отношению к забою P_n (см. рис. 4.21).

Анализ силовых параметров процесса разрушения МКП позволил определить пределы изменения составляющих реакции забоя и влияние их на устойчивую работу экспериментальной установки. Максимальные значения этих сил в зависимости от толщины стружки колебались в пределах: $P_n = 60\text{--}80 \text{ кН}$, $P_n = 40\text{--}50 \text{ кН}$, а средние значения соответственно $P_n = 25\text{--}40 \text{ кН}$, $P_n = 20\text{--}30 \text{ кН}$. Процесс разрушения многолетнемерзлого породного массива ударной нагрузкой характеризовался неравно-

мерностью нагрузки на исполнительном органе, коэффициент динамичности этого параметра нагрузки при этом колебался в пределах 1,9–2,3.

В ходе исследований для данных условий эксперимента было обнаружено существенное влияние на устойчивую работу очистной машины нормальной составляющей реакции забоя, которая в процессе перемещения машины вдоль забоя изменяет свое значение как по величине, так и по направлению и во многом зависит от физико-механических свойств, трещиноватости и напластования разрушаемого породного массива. Уменьшить диапазон изменения нормальной силы, действующей на исполнительный орган, и тем самым снизить ее отрицательное воздействие на машину можно регулированием величины угла атаки ударного инструмента в процессе работы.

Эффективность процесса ударного разрушения МГП оценивалась показателем удельной энергоемкости. Общие удельные энергозатраты определялись суммой энергозатрат на перемещение рабочего органа и энергозатрат на энергоноситель (сжатый воздух) и колебались в зависимости от толщины разрушаемого слоя в пределах 0,5–1,5 кВт · ч/м³. Меньшая энергоемкость соответствовала большим значениям толщины разрушаемого слоя.

На основе экспериментальных данных были разработаны основные рекомендации по разработке опытного образца очистной машины с комбинированным (режущим и ударным) исполнительным органом, а также определена схема обработки забоя такой машиной, включающая в себя следующие этапы:

- при рабочем ходе машины ударный орган разрушает среднюю часть забоя, а вслед за ним режущий (шнековый) орган обрабатывает верхнюю его часть;
- при обратном (холостом) ходе машины шнеком, установленным в нижнее положение, производится отработка нижней части, погрузка отбитой породы на конвейер с одновременной зачисткой почвы забоя.

Таким образом, по результатам проведенных в шахтных условиях экспериментальных исследований можно сделать некоторые выводы.

Процесс ударного разрушения МГП характеризуется высокой интенсивностью и сравнительно малой удельной энергоемкостью.

Доказана принципиальная возможность использования ударных устройств при создании исполнительных органов проходческих и выемочных машин для разработки МКП.

Характерная для россыпных месторождений неоднородность строения горного массива, определяющая неравнозначную сопротивляемость механическому разрушению, позволяет эффективно использовать комбинированный способ разрушения, сочетающий известные преимущества принципа резания и ударного разрушения.

Комбинированный способ разрушения, основанный на поэтапном ударном разрушении крепких породных прослоек с последующим резанием разупрочненной части забоя, может найти применение при добыче неоднородных по строению и прочностным свойствам продуктивных пластов рудных, россыпных, жильных месторождений. Ударный способ разрушения МКП в сочетании с резанием является перспективным при создании горных машин для освоения минеральных ресурсов Севера и Северо-Востока РФ.

Глава 5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БЕЗВЗРЫВНОЙ РАЗРАБОТКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

5.1. ПРИМЕНЕНИЕ СТРЕЛОВЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА, ОЛОВА И АЛМАЗОВ

5.1.1. Определение области применения проходческих комбайнов

Обобщение опыта работы проходческих комбайнов при проходке шахтных стволов в условиях Заполярья и нахождение коэффициента крепости по шкале М.М. Протодяконова согласно предлагаемой методике позволили определить рациональные области их применения (см. списки литературы: к главе 2 [19–27], к главе 3 [71–75], (табл. 5.1)).

5.1.2. Рекомендации по применению технологии очистной выемки оловосодержащих песков с использованием проходческих комбайнов (месторождение «Тирехтях»)

5.1.2.1. Оценка технологии подземной разработки оловоносной россыпи

Россыпь «Тирехтях» введена в эксплуатацию в 1995 г., она вначале разрабатывалась открытым способом. Учитывая, что максимальные концентрации олова сосредоточены в аллювиальной россыпи (нижней части месторождения), в 1996 г. было принято решение о переходе на подземный способ разработки. В течение 1996 г. месторождение было подготовлено к подземной эксплуатации (пройдены вскрывающие и подготовительные выработки), и с начала 1997 г. оно разрабатывается только подземным способом [6, 114].

За 1997–2000 гг. было отработано три шахты со среднегодовой производительностью 150 тыс. м³ при максимальном содержании олова в песках 10 000 г/м³. Шахтные поля вскрывались двумя центрально-расставленными наклонными стволами (транспортным и вспомогательным), расстояние между ними составляло 250–500 м. Стволы сечением 14 м² проходились под углом 9° с применением буровзрывных работ. Транспортный ствол был оборудован ленточным конвейером КЛЗ-500. Вспомогательный ствол предназначался для спуска и подъема людей и самоходного оборудования (БК и ПДМ). Штреки сечением

Таблица 5.1

Области рационального применения комбайнов

Инженерно-литологические типы пород	Наименование породы	Расход резцов, шт./м ³	Производительность, м ³ /смену	Категория по буримости	Коэффициент крепости по Прогольсконову	Марка комбайна
I	2	3	4	5	6	7
I	Чистый лед, илы льдистые	0,04–0,12	До 40	V–VI	1	ГПК
I	Илисто-глинистые отложения	0,36	До 30	VI–VII	2–3	
I	Илисто-глинистые отложения с мелкими включениями гальки, щебня (крупность до 20 мм) до 10 %	0,36–1	До 25	VII–VIII	3	
II	Гравийно-галечниковые отложения крупностью обломков свыше 20 мм в объеме до 15 %, цементированные песчано-глинистым заполнителем	1 и более	10–20	VIII–IX	4	ГПКС
III	Гравийно-галечниковые отложения крупностью до 50 мм свыше 20 % (до 30 %), цементированные песчано-глинистым заполнителем (продуктивный пласт)	5–6	До 5	IX–XI	5–6	КП-21, КП-25, П-110, П-220, КСП-42
IV	Песчаные или глинистые сланцы (плотик)			IX–XI	5	
III	Гравийно-галечниковые отложения крупностью свыше 80–100 мм до 20 % по объему, цементированные песчано-глинистым заполнителем (продуктивный пласт)	6	3–4	XI–XII	6–8	С комбинированным исполнительным органом

Окончание табл. 5.1

	2	3	4	5	6	7
III	Месторождение «Солур». Пески, песчаники мелко-, среднезернистые на глинистом цементе; алевролиты глинистые, песчано-глинистые, песчанистые; конгломераты на песчано-глинистом цементе; конгломераты продуктивные на сидерит-пиритовом цементе; доломиты, известняки (продуктивный пласт)	-	-	-	6-9	КП-21, АМ-75, АМ-105, СМ-25М3, СМ-250, П-220, СП-42, ЕТ-250, Е-200, ТМ-200, WAV-170, РН22

10–12 м² проходились буровзрывным способом с использованием самоходной техники. При проходке вскрывающих и подготовительных выработок шпуры бурились глубиной 1,8–2,0 м, применяемый тип вруба – вертикально-клиновый. Шпуры заряжались патронированным аммонитом 6 ЖВ. Уходка проходческого забоя за цикл составляла 1,5 м. За смену выполнялось в среднем два цикла. Производительность труда на проходческих работах – 8,5 м³/чел. смену. Длина шахтных полей достигала 500–600 м, а ширина 150–250 м. Удельный вес подготовительных выработок составлял 25–30 %. Система разработки – камерно-лаванная. Управление горным давлением осуществлялось за счет поддержания кровли междукамерными целиками. Параметры камеро-лав: длина – 40–50 м, ширина – 15–18 м. Общее количество камеро-лав в шахтном поле, предназначенных к отработке, – 100–120. Порядок отработки шахтного поля обратный – от границ к центру. Ширина ленточных целиков – 3,5–5 м, предельная площадь обнажения достигала 1000 м². Потери в целиках составляли 10–13 %. При отработке шахты № 3 вместо ленточных целиков при отработке центральной час-

ти шахтного поля применялись целики П-образной формы, что привело к увеличению потерь полезного ископаемого в целиках до 15–18 %. Объем песков, добытый очистными работами, составлял 60–70 % от всего объема добытой горной массы. В комплекс самоходного оборудования входили: БК «Бумер» компании «Атлас–Копко» (Швеция) и ПДМ «Торо-250Д» компании «Тамрок» (Финляндия). Выемочная мощность продуктивного пласта песков составила 3 м. При выемочной мощности продуктивного пласта 3 м шпуры в очистном забое располагались в четыре ряда, расстояние между шпурами в ряду – 1 м. Средняя продолжительность цикла очистной добычи в одной лаве – 20 ч: бурение – 7 ч; зарядка, взрывание и проветривание шахты – 6 ч. Уборка горной массы – 7 ч. Производительность труда на очистной выемке составляла 13,0 м³/чел. смену.

Основным недостатком технологии ведения очистных работ, основанной на буровзрывной отбойке МКП, является отсутствие возможности выемки продуктивного пласта песков с мощностью более 3 м (наиболее обогащенная часть промышленного пласта имеет мощность 4–6 м, средняя геологическая 20–22 м). Используемые самоходные БК не позволяли бурить шпуры в очистных выработках высотой более 3 м, кроме того, при такой высоте затруднено и весьма опасно выполнение работ по зарядке шпуров. Как показал опыт отработки трех россыпных шахт, технология очистных работ с применением буровзрывной отбойки исчерпала свои технические возможности, производительность труда не превышала 13 м³/чел. в смену и характеризовалась значительными трудовыми и материальными затратами.

5.1.2.2. Определение коэффициента крепости пород месторождения «Турехтах»

Коэффициент крепости f по шкале Протодяконова определяли по предложенному нами способу [74]. Эти результаты приведены в табл. 5.2.

Значение коэффициента крепости кварцевых валунов f равно 20, но с учетом его содержания в долях единицы относительно объема твердых включений, составляющего всего 0,05, принимается равным 1. Таким же образом определялись значения галечных и щебенисто-гравийных пород. Коэффициент крепости песчано-глинистого заполнителя вычислялся без учета его

Результаты определения значений крепости пород

Название породы	Температура породы, °С	Влажность, %	Гранулометрический состав, мм	Временное сопротивление на одноосное сжатие $\sigma_{сж}^{вр}$, МПа	Процентное содержание, % или в долях единицы	Коэффициент крепости	
						по Протодьяконову	по предлагаемой методике
Заполнитель: Песчано-глинистый	–8	40	<2	8	48,3	0,8	0,8
Твердые включения:							
валуны	–8	15	>100	20	0,07		1,4
галька	–8		+10	8	0,34		2,7
щебень	–8		2–10	6	0,18		1,5
гравий глинистых сланцев							

процентного содержания, так как по нашим и по исследованиям В.Н. Тайбашева (ВНИИ-1) для горных пород, крупнообломочная фракция в которых составляет менее 70 % общего веса скелета породы, прочностные и деформационные свойства определяются только составом заполнителя [43, 69]:

$$f_{обр} = f_{зап} + (f_1 n_1 + f_2 n_2 + f_3 n_3),$$

$$f_{обр} = 0,8 + (20 \cdot 0,07 + 8 \cdot 0,34 + 6 \cdot 0,18) = 6,$$

где $f_{зап}$ – коэффициент крепости заполнителя; f_1 – коэффициент крепости кварцевых валунов; f_2 – коэффициент крепости гальки песчаных сланцев; f_3 – коэффициент крепости щебня и гравия песчаных сланцев; n_1 – содержание в долях единицы кварцевых валунов относительно твердых включений; n_2 – содержание в долях единицы галечников относительно твердых включений; n_3 – содержание в долях единицы щебня и гравия относительно твердых включений.

Расчетное значение коэффициента крепости для МКП, представленных с галькой, щебнем и гравием с включениями кварцевых валунов с песчано-глинистым заполнителем, равно 6.

При таком значении коэффициента крепости МКП возможно их механическое разрушение с помощью проходческих комбайнов типа КП-21, П-220, КСП-32, АМ-75, АМ-105 (см. табл. 5.1).

5.1.2.3. Рекомендуемая технология очистной выемки оловоносных песков проходческими комбайнами и предварительная оценка эффективности ее применения

Основным направлением в совершенствовании технологии очистной добычи оловоносных песков является применение мощных проходческих комбайнов, позволяющих вынимать продуктивный пласт мощностью до 5 м. Результаты определения коэффициента крепости МКП «Тирехтях» (табл. 5.2) показали, что для рассматриваемых условий можно рекомендовать комбайн АМ-75 избирательного действия фирмы «Фест-Альпине» (Австрия) мощностью 200 кВт, с режущим исполнительным органом. Комбайн АМ-75 способен производить механическое разрушение МКП с крепостью до 6 по шкале Протождяконова и проходить выработки с шириной 5–7 м и высотой до 5 м. Комбайн рекомендуется использовать на очистной добыче при отработке камер шириной 20 м, длиной 50 м и высотой 5 м. Суточная эксплуатационная производительность комбайна при резании МКП с сопротивлением сжатию 4–6 МПа составит 800–1000 м³/сут при среднем расходе резцов 0,4–0,6 шт./м³. При камерно-лавной системе разработки предлагаются следующие технологические схемы очистной выемки оловоносных песков комбайном:

1) обычная – по контуру камеры-лавы проходится рассечка 1, затем поочередно обрабатываются смежные полосы 2 и 3 шириной по 7 м (рис. 5.1);

2) рассечка проводится в середине камеры-лавы и делит ее на две равные части, которые обрабатываются поочередно (рис. 5.2).

Выполненная укрупненная экономическая оценка сравнения двух вариантов очистной добычи песков с использованием буровзрывных работ и циклично-поточной комбайновой технологии свидетельствует об эффективности применения последней (табл. 5.3). Применение комбайна позволит повысить производительность труда в 2–3 раза, ликвидировать такой трудоемкий и небезопасный процесс, как буровзрывные работы, и в 2,3 раза уменьшить численность работающих за счет сокращения количества бурильщиков и взрывников.

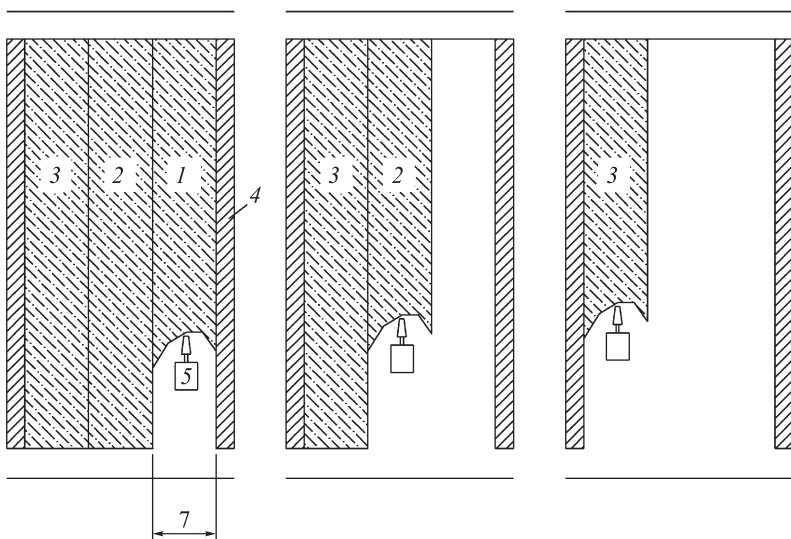


Рис. 5.1. Схема очистной выемки песков комбайном АМ-75 с проходкой рассечки по флангу камеры-лавы. 1 – рассечки; 2, 3 – вынимаемые участки лавы; 4 – междуканальные целики; 5 – комбайн АМ-75

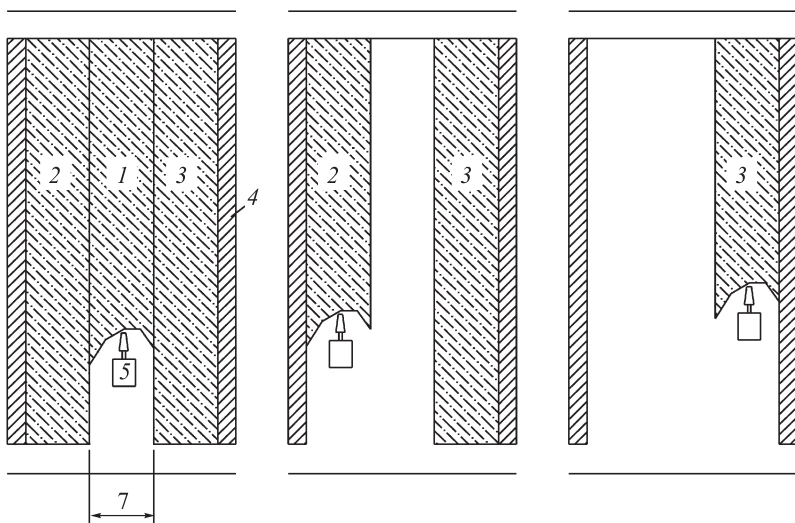


Рис. 5.2. Схема очистной выемки песков комбайном АМ-75 с проходкой рассечки в центре камеры-лавы.

Условные обозначения аналогичны рис. 5.1

Таблица 5.3

Сравнительная укрупненная оценка двух вариантов добычи подземных песков месторождения «Тирехтях» (объем – 300 тыс. м³ подземных песков)

Показатель	Единица измерения	Цена, руб.	Базовая технология. Бурение, взрывание, ПДМЭ КЛЗ-500		Предлагаемая. Комбайн, ПДМ, КЛЗ-500	
			Кол-во	Сумма, тыс. руб.	Кол-во	Сумма, тыс. руб.
ВВ-аммонит	тн	11900	375	4463		
КД	тыс. шт.	1321	129	170,4		
ОША	тыс. м	407	510	717,6		
Электроэнергия	тыс. кВт	1430	2880	4118	3100	4433
Комбайн АМ-75	1				3100	6000 (амортизация, 25 %)
Дизтопливо	тн	4400	170	748	170	748
Численность	чел.		131	5502	55	2310
В том числе:						
проходчики	чел.		40			
горнорабочие	чел.		83			
ИТР	чел.		8		8	
машинисты, скреперисты, машинист конвейера, вспомогательная группа					47	
Начисление на ФОТ	чел.			2118		889,4
Всего:				17837		14380,4
Снижение затрат						3456,6
Среднемесячная зарплата	руб.			3500		3500

5.1.3. Камерная (бесцеликовая) система разработки с применением проходческих комбайнов и закладкой выработанного пространства (алмазоносное месторождение «Солур»)

5.1.3.1. Современное состояние горных работ на месторождении

Шахтное поле было вскрыто двумя наклонными стволами: расконсервированным стволом геолого-разведочной шахты № 10 (главный ствол с углом наклона 25°) и вновь пройденным вспомогательным стволом с углом наклона 8° (рис. 5.3). Стволы были соединены вентиляционным штреком № 3, который разделил шахтное поле на два фланга. Вспомогательный ствол использо-

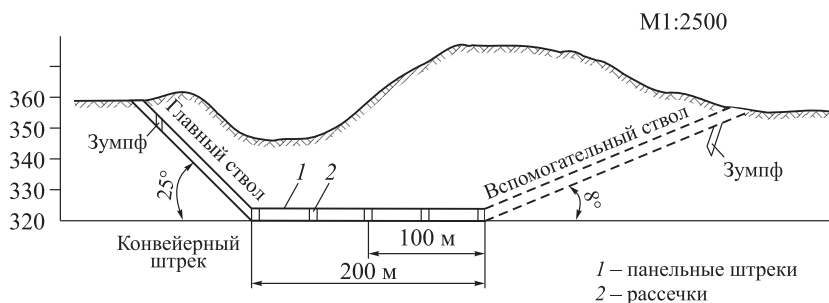


Рис. 5.3. Вертикальная схема вскрытия месторождения «Солур» (шахта № 10)

вался для спуска техники и необходимых материалов в шахту, выдачи отбитых песков на-гора. По главному стволу производился спуск людей, кроме того, он служил вторым выходом. Через стволы осуществлялось проветривание шахты как за счет естественной тяги, так и с использованием вентиляторов.

Для промышленного освоения запасов месторождения в геологической шахте № 10 была принята камерно-лавная система разработки песков с льдопородной закладкой очистного пространства. В соответствии с выбранной системой разработки на северо-восточном фланге шахтного поля через 100 м по простиранию были пройдены вентиляционные штрэки, разделяющие поле на панели. Панель делилась пополам панельным штрэком, который определял длину камеры-лавы. Из панельных штрэков проходились рассечки.

Проходка всех горно-подготовительных и нарезных выработок осуществлялась по плотику с углубкой в подстилающие породы на 0,2 м. При мощности продуктивного пласта более 3 м по его кровле проводился прихват перекрывающих отложений также на 0,2 м. Северо-восточный фланг РШ был полностью подготовлен к очистной выемке. Всего было пройдено около 1800 пог. м горизонтальных выработок.

Проходка горизонтальных ГВ осуществлялась как буровзрывным способом, так и с использованием горнопроходческого комбайна ГПКС-01. Бурение шпуров производилось ручными перфораторами ПП-63. После взрывных работ, а также после комбайновой проходки отбитая порода ПДМ ST-3,5S через вспомогательный ствол выдавалась на-гора и складировалась на временном складе «песков». Далее автомобилями БелАЗ пески вывозились для промывки на фабрику № 3.

В летнее время в связи с резким повышением температуры шахтного воздуха (+2 °С) и образованием массовых заколов горные работы в шахте были остановлены. В настоящее время геолого-разведочная шахта № 10 находится на консервации.

5.1.3.2. Предлагаемая камерная система разработки с закладкой выработанного пространства

Разработанные технологические схемы безвзрывной технологии для подземной разработки МРМ базировались на исследованиях ВНИИ-1 [115, 116].

Основные проектные решения по камерной системе разработки многолетнемерзлых песков с применением проходческих комбайнов, самоходной техники и закладки выработанного пространства были разработаны в полном соответствии с действующими нормативными документами [117, 118].

Вскрытие и подготовка шахтного поля. Шахтное поле (панель) вскрывается (рис. 5.4) главным транспортным стволом (1) и вспомогательными стволами (2), сбиваемыми откаточным штреком (3) и оконтуривающими выработками, служащими в дальнейшем в качестве вентиляционных и вторых выходов из очистных камер.

Предусматриваются два варианта вскрытия:

- 1) тремя стволами (один из которых – конвейерный);
- 2) двумя стволами (автомобильными съездами).

Наклонный транспортный ствол проходят под углом 15° с сечением проходческими комбайнами среднего класса (АМ-75, П-220, КСП-42 и др.). Вспомогательные стволы (автомобильные съезды) также проходят под углом 8–10° комбайнами с применением ПДМ сечением 12–18 м². Крезь в стволах принята деревянная, дверные рамы неполные. Крезь открытых траншей и устьевой части – сплошная, остальной части – вразбежку.

Подготовительные выработки предусмотрено проходить комбайнами. Направление и уклон подготовительных выработок задается и периодически контролируется маркшейдером. Откаточный штрек проходят по продуктивному пласту сечением 20 м², а оконтуривающие выработки (вентиляционные штреки) – сечением 16 м². При проходке откаточного штрека предусмотрены засечки (12 – на рис. 5.4) первичных камер на глубину до 1,5 м. Эти выработки в дальнейшем служат нишами для укрытия людей во время движения ПДМ. Расположение камер под углом к оси откаточного штрека (3) необходимо для облегчения маневра самоходной техники.

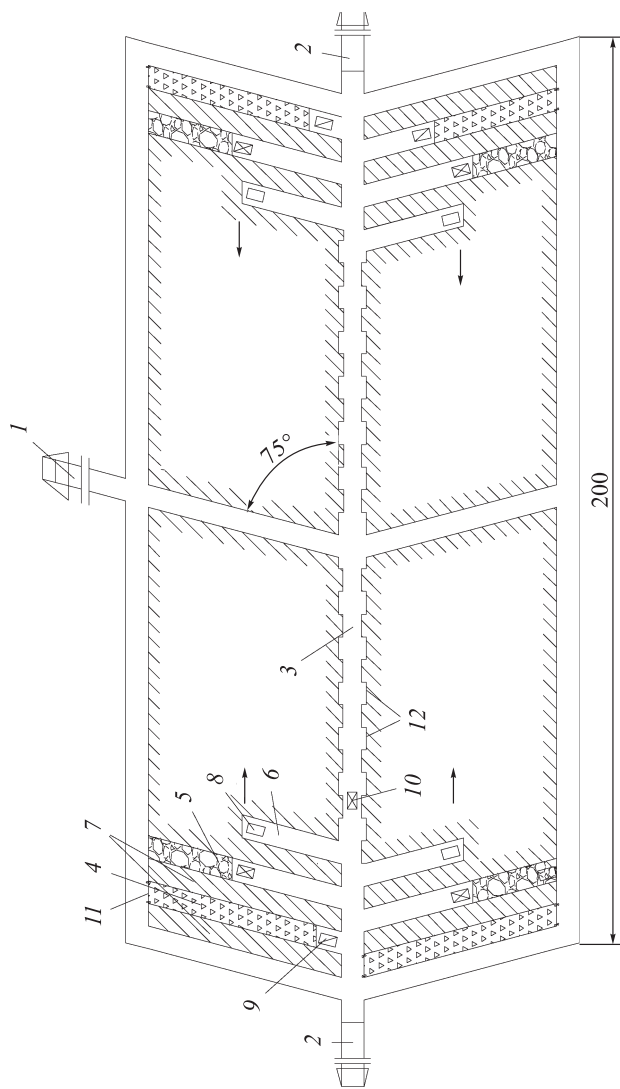


Рис. 5.4. Начальный этап отработки панели.

1 – главный ствол; 2 – вспомогательные стволы; 3 – откаточный штрек; 4 – отработанная, закладываемая камера; 5 – камера, подготовленная к активировке плотика; 6 – камера, находящаяся в очистной выемке; 7 – междукамерные щели (вторичные камеры); 8 – комбайн очистной; 9 – закладочная машина; 10 – ПДМ; 11 – перемычка; 12 – засечки

Уклон выработок подготовки вторичных камер контролируется по обнажениям закладки первичных камер. По мере ухода забоя контролируется состояние кровли над закладкой первичных камер. При обнаружении пустот проводится забучивание их или крепление кровли над пустотами коистрами либо забивной крепью. В процессе выемки вдоль стенки камеры пробивается органная крепь, состоящая из деревянных стоек с шагом 2 м, предназначенная для поддержания кровли и для ограждения борта от сползания призмы откоса формируемого закладочного массива.

Перед началом подготовки вторичных камер производят крепление сопряжений первичных камер с откаточным штреком анкерной крепью с металлической сеткой.

Очистная выемка и управление кровлей. Очистную выемку песков, как в первичных, так и во вторичных камерах начинают после сбойки соответствующих подготовительных выработок с оконтуривающими, обеспечения требуемого режима вентиляции и проверки состояния второго выхода из очистной камеры. Выемка в камерах проводится с применением проходческих комбайнов с режущими исполнительными органами. Проектное сечение камеры – 20 м². Ширина камер определяется в зависимости от способности кровли сохранять устойчивые незакрепленные пролеты.

Практика применения камерно-лавных систем разработки свидетельствует о том, что кровля выработок пройденных МРМ сохраняет долговременную устойчивость при незакрепленных пролетах выработок до 4–7 м. Согласно (Инструкции....) при классе устойчивости III (среднеустойчивые) при камерных системах: устойчивый пролет камеры при допустимой площади обнажения кровли в камере 1,5 тыс. м² составляет 5–10 м; гарантированный срок устойчивого состояния кровли – 0,5 мес. Допустимое абсолютное значение опускания кровли в камере 100 мм [117].

По данным геологической разведки мощность продуктивного пласта колеблется от 0,2 до 4,7 м. При этом, если мощность продуктивного пласта достаточна для эксплуатации самоходной техники, то продуктивный пласт вынимается комбайном на полную его мощность. В случае небольших мощностей пласта 0,2–1,0 м продуктивный пласт вынимается комбайном отдельно, т.е. проходится выработка над пластом, равная ширине камеры, и высотой, позволяющей применять самоходную технику, затем вынимается сам продуктивный пласт. В технических решениях сечение выработки равно $5 \times 4 = 20$ м² как для первичных, так и для вторичных камер.

На рис 5.4 показаны последовательность подготовки, проведение очистных работ и закладка камер: 6 – камеры, находящиеся в очистной выемке (первичные камеры); 5 – камеры, подготовленные к активировке плотика; 4 – камеры, где ведутся закладочные работы; 7 – междукамерные целики (вторичные камеры).

В первом варианте транспортировка песков из камеры-лавы до бункера главного ствола производится ПДМ. Во втором варианте транспортировка песков и выкладка их на поверхности предусмотрена с использованием подземных автосамосвалов. Погрузку песков в автосамосвалы осуществляют с помощью погрузочной машины ПНБ-ЗК (нагребающие лапы).

После сбойки камеры с оконтуривающей выработкой проводится активировка отработанных площадей камеры (плотика) с помощью ковша ПДМ. Камера после проведения активировочных работ считается подготовленной к закладочным работам.

После окончания отработки и закладки первичных камер приступают к выемке оставленных между ними целиков. Выемку этих целиков (т.е. подготовку и отработку вторичных камер) проводят в таком же порядке, как и первичных камер. Начало отработки первичных камер показано на рис. 5.5.

Закладка выработанного пространства. В качестве ЗМ рекомендуются использовать пустые породы от проходки очистных камер, от проходки шахтных стволов и породы вскрыши с действующего карьера. Закладка отработанных камер ведется в отступающем порядке – от границы шахтного поля к откаточному штреку. В зависимости от производственных условий допускается послынная закладка камер, но при этом высота остающейся выработки в свету должна допускать свободное передвижение ПДМ и разгрузку породы.

Породу, разгружаемую в конце камеры, выкладывают так, чтобы с учетом угла откоса закладки оставался свободный проход по оконтуривающей выработке. Если проектом предусмотрено использовать эту выработку в качестве вентиляционной для соседнего шахтного поля или панели, то между закладываемой камерой и выработкой рекомендуется устанавливать перемышку (ряды стоек с затяжкой или органную крепь).

Технология закладочных работ с применением ПДМ. Доставка ЗМ из очистных камер и с других шахтных выработок производится ПДМ. Доставка ЗМ с поверхности возможна двумя путями – через специально пробуренные скважины большого диаметра и автосамосвалами. По мере наращивания высоты закладки ЗМ бульдозерными приемами работы ПДМ подваловывают под кровлю. Для этой цели используют ковш ПДМ или специально

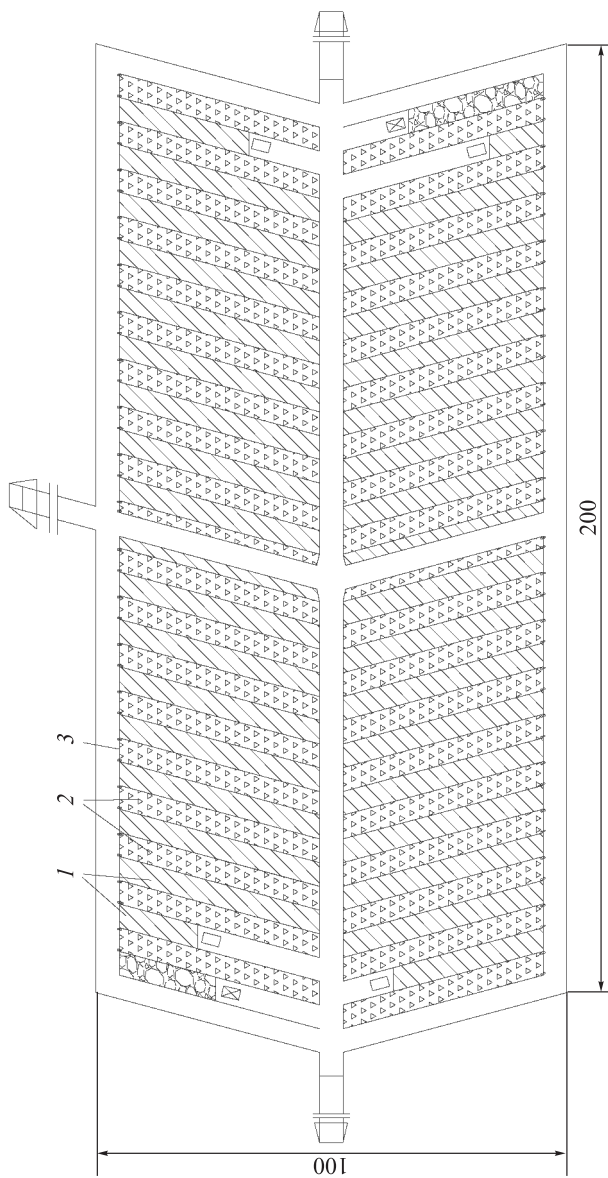


Рис. 5.5. Отработка вторичных камер.

1 — междукамерные целики; *2* — породные целики; *3* — перемычка

изготовленное навесное оборудование. При проведении закладочных работ рекомендуется предусмотреть возможность увлажнения ЗМ мелкодисперсным факелом воды (смесь с ПАВ) послойно. В результате объемному увлажнению будет подвергаться большинство частиц ЗМ, обволакиваться пленкой воды и смерзаться, образуя более прочный минеральный скелет с льдоцементными связями. На закладочных работах целесообразно использовать отдельную ПДМ, чтобы другие обеспечивали плановые показатели работы машин.

Технология ведения закладочных работ с применением закладочных машин. Перспективность технологии бесцеликовой отработки месторождений с закладкой выработанного пространства обусловлена следующими ее преимуществами:

- реологическими свойствами МГП;
- высокой степенью механизации закладочных работ и производительностью процесса;
- мобильностью технических средств, практически не требующих затрат на монтажно-демонтажные работы;
- высокой надежностью управления кровлей;
- высокой степенью совмещения производственных процессов в очистных забоях;
- полным соответствием задачам рационального использования недр и охраны окружающей среды.

В соответствии с техническим заданием ИГДС СО РАН в ДонУГИ была спроектирована и изготовлена метательная закладочная машина УМЗК ленточного типа. Техническая характеристика УМЗК приведена в табл. 5.5, а общий вид на рис. 5.6 [119].

Т а б л и ц а 5.5

Техническая характеристика закладочной машины УМЗК

Показатели	Значения показателей
Техническая производительность по закладке, м ³ /ч	Не менее 1000
Дальность метания, м	Не менее 8 м
Скорость движения ленты, м /с	12,5
Угол метания кусков в вертикальной плоскости, град.	До 20
Угол метания кусков в горизонтальной плоскости, град.	До 120
Наибольший размер кусков, мм	До 150
Тип электродвигателя ВРП180М8У25 мощность, кВт	11
Скорость вращения, об/мин	930
Основные размеры, мм:	
ширина	2100
длина	1750
высота	1300
Масса, кг	1100

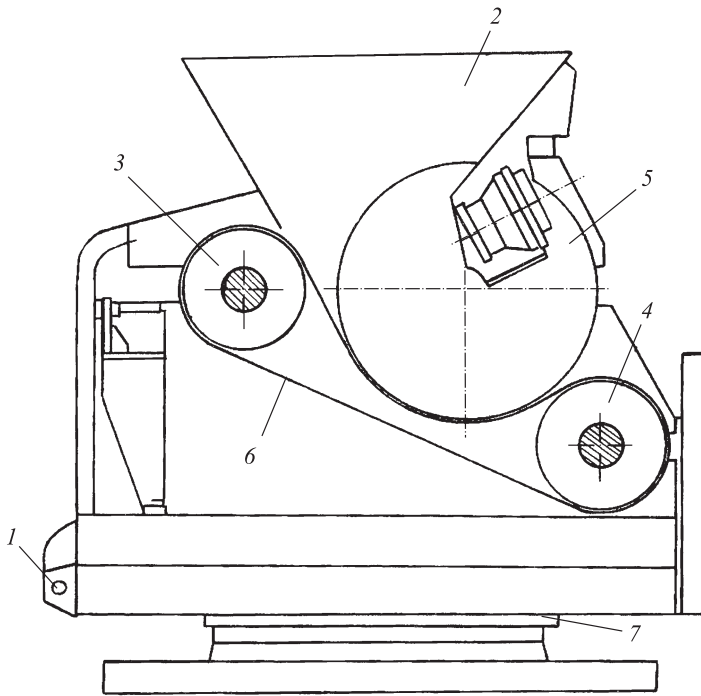


Рис. 5.6. Общий вид метательной закладочной машины УМЗК.

1 – шарнир; 2 – бункер; 3, 4 – ведомый и ведущий шкивы; 5 – прижимной каток; 6 – лента; 7 – поворотный круг

Отличительной особенностью машины типа УМЗК является наличие поворотного круга 7 (рис. 5.6), обеспечивающего возможность регулирования угла метания кусков ЗМ в горизонтальной плоскости. Угол метания в вертикальной плоскости регулируется винтовой подачей посредством поворота несущей рамы вокруг шарнира 1. Машина имеет стыковочное устройство, позволяющее осуществлять кинематическую и силовую связь с погрузочной машиной 2ПНБ-2. Резинотканевый материал конвейерной ленты закладочной машины, способ склейки и износостойкость соответствуют условиям подземной эксплуатации при отрицательных температурах, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при длительном режиме эксплуатации и до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ – при кратковременном (до 8 ч) режиме.

Укрупненные технико-экономические показатели по системам разработки приведены в табл. 5.6

Технико-экономическое сравнение вариантов камерно-лавной системы разработки с камерной показывает, что преимуще-

Укрупненные технико-экономические показатели по системам разработки

Показатель	Камерно-лавная	Камерная
Геологическая мощность пласта, м	1,0	1,0
Выемочная мощность, м	1,8	2,5
Площадь расчетного блока, тыс. м ²	20	20
Балансовые запасы, тыс. м ³	20	20
Общий объем песков, тыс. м ³	36	50
Потери при эксплуатации, тыс. м ³	3,6	0,4
Потери, %	19,1	2
Объем ГПР, тыс. м ³	10,8	5,4
Из них		
поступает на промывку	6,0	2,1
Объем ГПР, %	30	10,8
Объем очистной выемки, тыс. м ³	23,7	38,2
В том числе		
балансовые пески	13,1	15,3
Разубоживание песков, тыс. м ³	10,6	1,5
Разубоживание, %	45	10
Объем закладки, тыс. м ³		40
Производительность труда, м ³ /чел. в смену		
на ГПР	6–8	33
на ОР	10–12	33

шества камерной системы достаточно очевидны. Производительность труда на ГПР увеличивается в 4–5 раз, на очистных работах – 2,5–3 раза. Объем ГПР при камерно-лавной системе разработки составляет 30 %, а при камерной – 10,8 %. Снижаются потери полезного ископаемого с 19,1 до 2 % и уменьшается разубоживание песков с 45 до 10 %.

5.2. ПРИМЕНЕНИЕ УДАРНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБОВ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ РОССЫПЕЙ

5.2.1. Обоснование целесообразности применения безвзрывной технологии для разработки многолетнемерзлых россыпей

Коренного изменения технологии добычи продуктивных песков подземным способом, направленного на увеличение производительности труда, концентрацию очистных работ в одном забое и на повышение безопасности, можно достичь созданием поточной технологии на базе комплексной механизации – аналога современной улледобычи, предназначенного для условий МРМ.

Для оценки целесообразности комплексной механизации в условиях МРМ в ИГДС СО РАН под руководством проф. А.Е. Слепцова в 1990-е гг. были проведены комплексные исследования по внедрению механизированной крепи в россыпных шахтах Заполярья [120–123]. Предварительно проведенные лабораторные исследования характера обрушения кровли при сплошной выемке на эквивалентных материалах позволили сделать вывод о принципиальной возможности применения столбовой системы разработки с использованием механизированной крепи на МРМ. Шахтные испытания механизированной крепи Т-13К и комплекса ОКПМ1 на экспериментальном блоке одной из шахт Кулара подтвердили это положение [120]. Опыт отработки экспериментальной шахты с использованием механизированной крепи в комплексе с буровзрывными работами показал, что внедрение столбовой системы разработки с применением механизированной крепи позволило снизить потери полезного ископаемого в недрах с 15 до 3,5 %, объем нарезных работ на 80 % и увеличить производительность труда на 20 % по сравнению с камерно-лавной системой разработки [121].

Очистные механизированные комплексы и выемочные агрегаты нашли широкое применение в угольной промышленности ряда стран. Наибольшей производительностью обладают фронтальные очистные машины, к которым можно отнести АК-3, 1АЩ, АНЩ, АДК (СССР), «Шремкайльанлаге» (ФРГ), «Конвейермайнер» (Великобритания) [34, 124]. Все эти агрегаты оснащены режущими исполнительными органами, они способны эффективно разрушать лишь угли с сопротивляемостью не более 200 кН/м. Разрушение режущими исполнительными органами крепких углей весьма затруднительно, а разработка горных пород, руд и МКП этими агрегатами вообще невозможна.

Применение очистных и проходческих комбайнов с режущими исполнительными органами возможно при крепости разрушаемых пород до 50 МПа, т.е. прежде всего при разработке россыпей, многолетнемерзлые рыхлые отложения которых характеризуются наличием однородных мелкодисперсных пород (илы, суглинки с включением ледяных жил). Наличие в покрывающих породах россыпных месторождений большого количества гравийно-галечного материала, а в ряде случаев валунов является сдерживающим фактором для широкого применения поточной технологии проходческих и очистных комбайнов режущего типа. При достижении комбайнами участков гравийно-глинистых отложений с включениями кварца крупностью свы-

ше 80–100 мм и более 10 % по объему забоя эффективность применения их резко снижается из-за недопустимого увеличения расхода режущего инструмента.

В связи с вышеизложенным проблема повышения эффективности и расширения области применения комбайнового способа проходки и очистной выемки на МРМ приобретает важное значение. Многочисленные научно-исследовательские работы, ведущиеся за рубежом и в России, показывают, что перспективными для разрушения крепких горных пород являются устройства ударного действия.

В последнее время в России и за рубежом были разработаны мощные пневматические и гидравлические ударные устройства, которые нашли широкое применение при бурении взрывных скважин и разрушении крепких материалов. На базе этих устройств созданы машины для дробления негабаритных горных пород, а также проходческие комбайны, ковши активного действия к экскаваторам строительного и карьерного классов [125, 126]. Эти машины эффективно разрушают крепкие угли, горные породы средней крепости и мерзлые грунты.

Проведенные шахтные эксперименты на ГОКе «Куларзолото» показали эффективность применения ударного способа для разрушения МКП с достаточно высокой интенсивностью для одного рабочего инструмента при блокированной схеме разрушения с выровненной поверхности (до 50 м³/ч) и сравнительно низкой удельной энергоемкостью 1,0–1,5 кВт·ч/м³ [127, 128]. Полученные силовые и энергетические параметры процесса ударного разрушения МКП позволили определить пути решения одной из важных проблем – механизации очистных и проходческих работ при разработке МРМ.

Предварительные научно-технические разработки и экономические расчеты, а также проведенные шахтные экспериментальные исследования процесса разрушения МКП ударом и резанием показали реальность создания горных машин с комбинированным исполнительным органом, сочетающим принцип резания с ударным разрушением. Такой выбор исполнительного органа определяется условиями залегания продуктивных пластов месторождений Севера, характеризующихся различной структурой и прочностью. Нижняя часть пласта (плотик) толщиной около 0,5 м, состоящего из разрушенных коренных пород (песчано-глинистые сланцы), легко разрушается резанием. Верхняя часть продуктивного пласта, представляющая собой МКП, не поддается резанию, но хорошо разрушается ударным способом.

5.2.2. Очистной механизированный комплекс с выемочной машиной, оснащенной комбинированным исполнительным органом

Механизированный комплекс предназначен для комплексной механизации очистных работ при разработке МГП мощностью 1,8–2,5 м в лавах длиной до 50 м. Продуктивный пласт обрабатывается длинными столбами по простиранию при управлении кровлей полным обрушением. Область применения комплекса – пологие выдержанные продуктивные пласты со спокойной гипсометрией в мерзлом состоянии, температура пород – 5–15 °С. Крепость разрушаемых МГП по шкале Протодьяконова – не более 10. Вмещающие породы – многолетнемерзлые тонкодисперсные, крупнообломочные четвертичные отложения и осадочные породы. В состав комплекса входят: механизированная крепь оградительно-поддерживающего типа, выемочная машина с комбинированным исполнительным органом, передвижной скребковый конвейер, кабелеукладчик, гидро-, пневмо- и электрооборудование [129].

В качестве базового варианта выемочной машины использовался двушнековый угольный комбайн, применяемый для выемки угольных пластов средней мощности (КШ-3М или КШ-1КГ). На рис. 5.7 показана выемочная машина мощностью 1,8–2,5 м, включающая корпус 1, опирающийся с помощью опорно-направляющего механизма 2 на призабойный конвейер 3, с режущим и ударным исполнительными органами. Режущим органом служит трехзаходный шнек 4, оснащенный тангенциальными резцами и присоединенный к поворотному редуктору-рукояти 5. Ударный исполнительный орган установлен на месте демонтированного второго шнека и представляет собой плиту 6, закрепленную на выходном валу поворотного редуктора-рукояти 5, благодаря этому вращающемуся вокруг оси, при фиксации в соответствующем положении. На плите 6 посредством гидродомкрата 7 и шарнира 8 установлены ударные устройства 9, в качестве которых могут быть использованы пневматические или гидравлические ударные механизмы с энергией единичного удара не ниже 2 кДж. Ударный исполнительный орган регулируется по мощности пласта с помощью поворотного редуктора-рукояти 5 и гидродомкратами 10, а гидродомкратом 7 устанавливается угол атаки α рабочего инструмента. Шнек 4, оснащенный резцами, служит для разрушения менее прочных участков забоя, для зачистки почвы и кровли, а также для погрузки на конвейер 3 разрушенной горной массы. Перемещается ком-

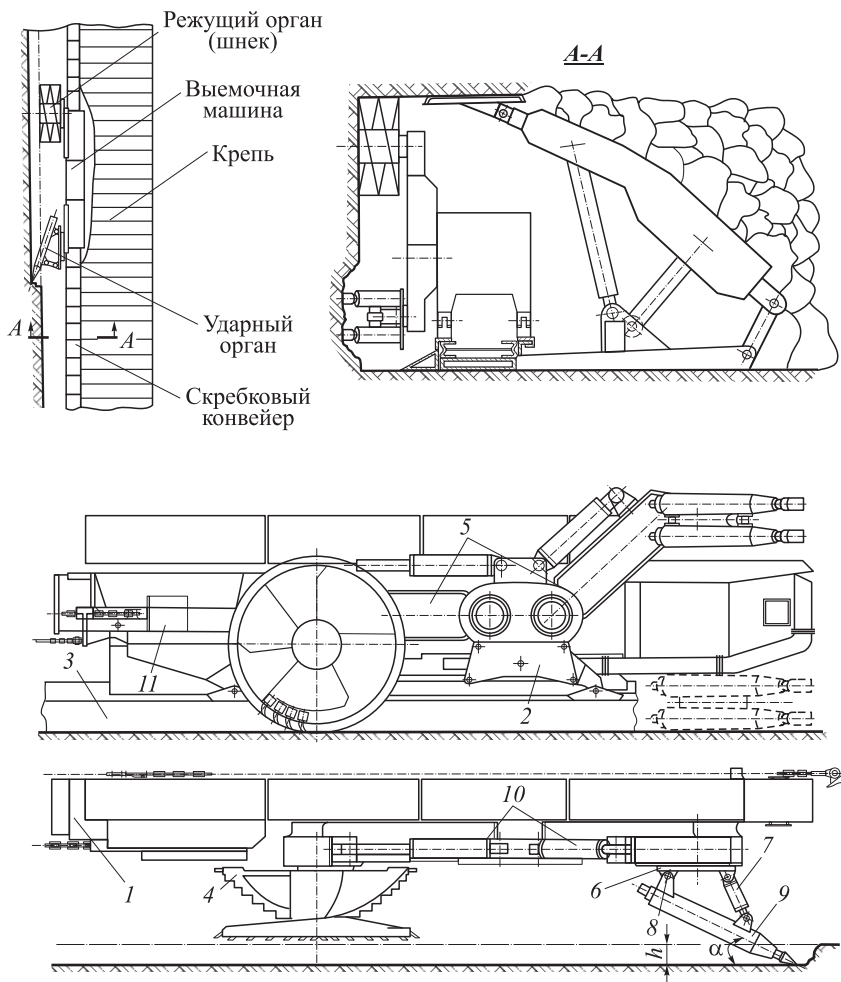


Рис. 5.7. Выемочная машина с ударным и режущим исполнительными органами.

1 – корпус комбайна; 2 – опорно-направляющий механизм; 3 – призабойный конвейер; 4 – шнек; 5 – поворотный редуктор-рукоять; 6 – плита; 7 – гидродомкрат; 8 – шарнир; 9 – ударные устройства; 10 – гидродомкраты; 11 – гидравлический механизм подачи

байн вдоль забоя по направляющим конвейера с помощью гидравлического механизма подачи 11.

Выемочная машина работает следующим образом. Ударный исполнительный орган с помощью поворотного редуктора-ру-

кюти 5 устанавливается и фиксируется в исходное положение в начале лавы, ударные зубья с помощью гидродомкрата 7 ориентируются по отношению к плоскости забоя под углом атаки $\alpha = 20-25^\circ$. Шнек 4 с отставанием от ударного органа по ходу движения выемочной машины на длину межшнекового расстояния занимает в забое верхнее положение. Включаются привод шнека 4 и гидравлический механизм подачи 11 и осуществляется отбойка средней зоны вынимаемой мощности продуктивного пласта на глубину принятого захвата – снимается стружка 1 (рис. 5.8) толщиной $h = 0,2 - 0,3$ м ударным органом 9. Тем самым обеспечивается отбойка в зоне, содержащей основную массу крупнообломочных твердых включений, и частично – зоны присекаемых коренных пород. Одновременно с отставанием на длину межшнекового расстояния, поднятого в верхнее положение шнеком, производится отработка верхней угловой зоны забоя (а) с уменьшенным содержанием обломочного материала, а также осуществляется зачистка кровли забоя. Эффективность работы шнека обеспечивается не только малым содержанием крупнообломочных включений, но и тем, что отбойка выполняется при направлении вращения шнека от кровли к почве (по ходу комбайна), с отрывом материала на обнаженную плоскость, образованную отбойкой средней части забоя ударными

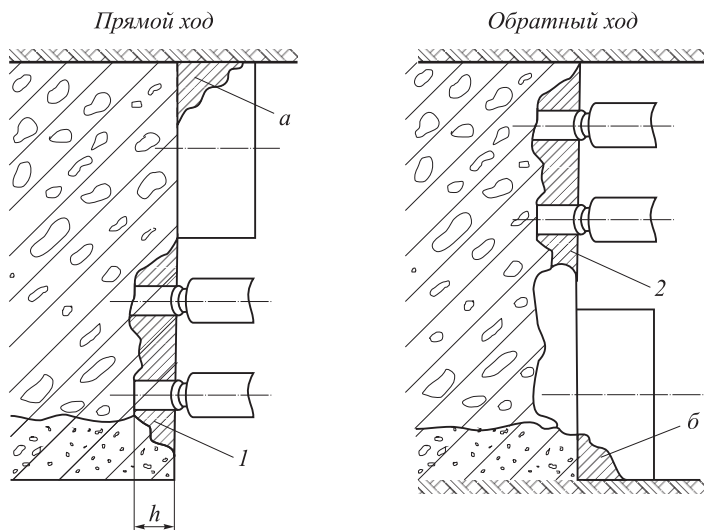


Рис. 5.8. Схема отработки забоя выемочной машиной.

а – верхняя угловая зона забоя; *б* – нижняя угловая зона забоя; 1, 2 – стружки, снимаемые ударным исполнительным органом

устройствами. В конце лавы после выхода ударных механизмов из забоя машина останавливается. С помощью поворотного редуктора-рукоятки 5 ударные устройства 9 поворачиваются на 180° и устанавливаются на обратный ход машины, а шнек опускается вниз к почве забоя.

При обратном ходе выемочной машины ударным органом 9 отделяется стружка 2, а шнеком 4 осуществляется разрушение и зачистка полосы у забоя с погрузкой отбитой горной массы на конвейер и оформлением нижней угловой зоны (б), представленной коренными породами.

Таким образом, выемочная машина с комбинированным исполнительным органом может одновременно осуществлять ударное разрушение наиболее прочной части вынимаемого пласта, сложенной крупнообломочными породами, и резание менее прочных коренных пород (плотика) с последующей зачисткой верхней и нижней угловых зон забоя. Передвижка крепи производится после снятия с груди забоя слоя толщиной, равной величине шага передвижки крепи.

Безвзрывная технология разработки МРМ, основанная на применении выемочной машины с ударным и режущим исполнительными органами, позволит за счет комплексной механизации всех основных процессов увеличить в 2–3 раза нагрузку на очистной забой, исключить нарезные работы, повысить уровень безопасности труда. В результате применения бесцеликовой выемки возможно повысить на 10–15 % извлечение полезного ископаемого в сравнении с камерно-лавной системой разработки.

Комбинированный способ разрушения, основанный на поэтапном ударном разрушении крепких породных прослоек с последующим резанием разупрочненной части забоя может найти применение при добыче неоднородных по строению и прочностным свойствам продуктивных пластов рудных и россыпных месторождений.

Применение очистного комбайна на основе эффективного разрушающего рабочего органа в условиях МРМ позволит повысить технико-экономические показатели системы разработки и безопасность ведения очистных работ за счет:

- обеспечения поточности разрушения МГП механизмом непрерывного действия;
- улучшения условий взаимодействия поддерживающих элементов механизированной крепи с обнаженной плоскостью пород плотика и кровли;
- создания ровной плоскости для эффективной активировки плотика;

- уменьшения ширины призабойного пространства;
- исключения потерь времени на крепление пустот (вывалов);
- уменьшения нагрузки на механизированную крепь за счет снижения длины зависающей консоли.

5.2.3. Очистной механизированный комплекс с выемочной машиной, оснащенной ударным исполнительным органом

Среди известных очистных механизированных комплексов, принцип работы которых наиболее привлекателен с точки зрения создания поточной технологии, следует назвать механизированный комплекс, предназначенный для выемки крутых пластов угля мощностью 1,2–2,2 м [130, 131]. Он состоит из крепи оградительно-поддерживающего типа, конвейероструга и вспомогательного оборудования. Конвейероструг представляет собой выемочно-доставочный орган фронтального действия, состоящий из привода, направляющей балки, скребково-режущей цепи, замкнутой в плоскости пласта, механизмов перемещения и гидросистемы.

Недостатком комплекса является то, что его выемочный агрегат, оснащенный режущим исполнительным органом, способен разрабатывать лишь угли с сопротивляемостью резанию не более 200 кН/м.

Реализация предлагаемой структурной схемы очистного комплекса для россыпных шахт Севера – «выемочная машина, доставочное средство, секционная механизированная крепь» – может быть осуществлена за счет оснащения выемочной машины исполнительным органом ударного действия, включающим два ударных устройства.

Назначение и область применения. Очистной комплекс предназначен для механизации очистных работ при разработке многолетнемерзлых продуктивных пластов мощностью 1,85–2,45 м в лавах длиной 50 м. Пласт отрабатывается длинными столбами по простиранию с обрушением кровли на механизированную крепь. Применение комплекса позволит заменить цикличную технологию, включающую буровзрывной способ отбойки многолетнемерзлых продуктивных песков поточной технологией, которая обеспечивает бесцеликовую выемку полезного ископаемого с увеличением нагрузки на забой в 2–3 раза. В табл. 5.7 приведена ориентировочная сравнительная оценка ожидаемых технико-экономических показателей с показателями существующей технологии, где в качестве критерия оптимальности вы-

Технико-экономические показатели систем разработки

Показатель	Камерно-лавная	Столбовая система с применением МК
Уходка за сутки, м	1,5	4,5
Нагрузка на очистной забой, м ³ /сут	150	450
Численность ГРОЗ, чел.	20	21
Производительность труда, м ³ /смену	7,2	21,4
Эксплуатационные потери, %	10–14	2

бора рациональной технологии принят уровень эксплуатационных затрат.

Область применения выемочной машины распространяется на многолетнемерзлые россыпные золотоносные и кимберлитовые месторождения, угольные пласты с твердыми включениями и пластообразные рудные жилы. Максимальная крепость разрушаемого геоматериала по шкале Протодяконова – до 10.

Продуктивный пласт, сложенный аллювиальными отложениями, имеет сложный петрографический состав: булыжник, галька, щебень, гравий и дресва, представляющие крупнообломочную структуру породного массива, составляющие около 80 % объема, а также цементирующий материал – песок, ил, глина и лед, около 20 %.

В состав комплекса входят механизированная крепь (типа Т-13К), выемочная машина с исполнительным органом ударного действия, передвижной скребковый конвейер, гидрооборудование, пневмо- и электрооборудование.

Устройство, параметры и характеристика. Механизированная крепь оградительно-поддерживающего типа, агрегатная, состоит из линейных секций, связанных гидродомкратами передвижки с конвейером. Оградительное перекрытие – сварной конструкции, коробчатого сечения, предназначено для удержания породных блоков, проскальзывающих в сторону выработанного пространства. Гидравлическая стойка одинарной раздвижности, двустороннего действия установлена между основанием и перекрытием. Питание гидросистемы крепи осуществляется от насосной станции, расположенной в вентиляционном штреке. Несущая способность одной секции – 800 кН.

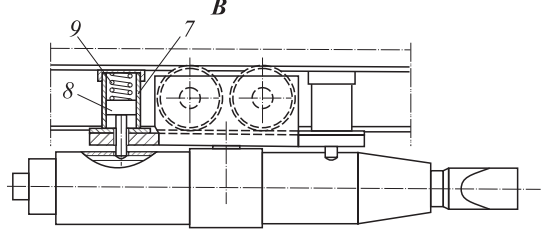
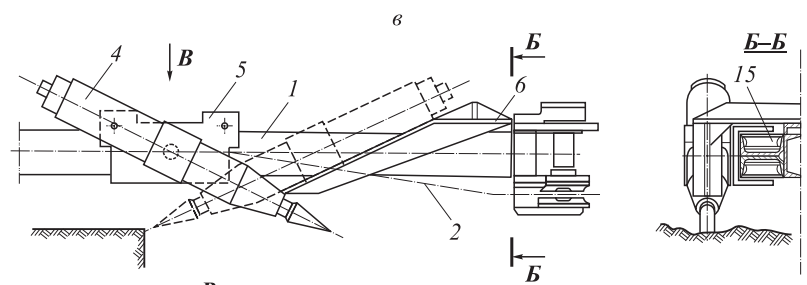
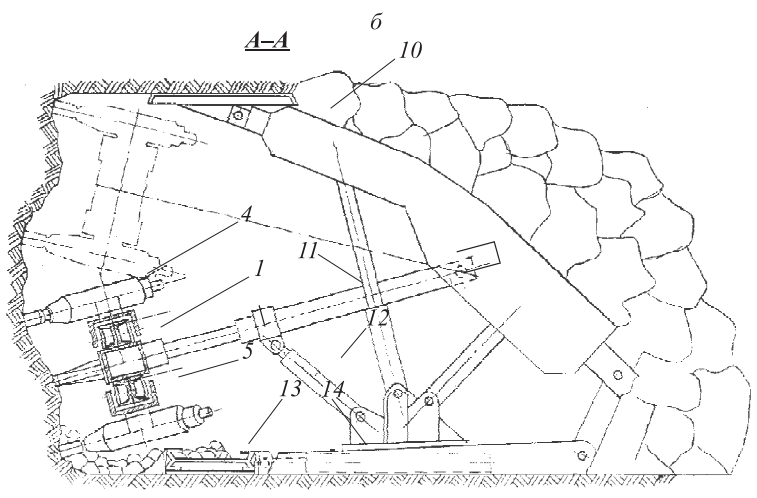
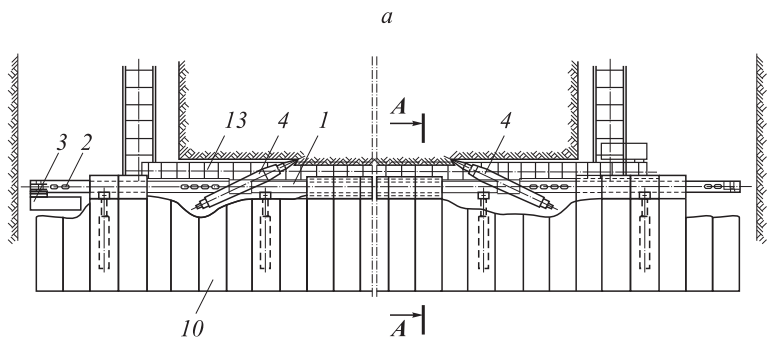
Выемочная машина (рис. 5.9, а, б) состоит из секционной направляющей рамы 1, тяговой цепи 2, привода 3, исполнительного органа, включающего ударные устройства 4, жестко закрепленные на тележках 5 и перемещающиеся по направляющей раме 1 с помощью катков 15 относительно друг друга в

противоположном направлении. Этим достигается уравнивание реактивных сил, возникающих в процессе разрушения забоя. Связь выемочной машины с крепью 10 осуществляется с помощью гидродомкратов подачи 11 и качания 12, которыми рама 1 подается на забой. Транспортировка отбитой горной массы осуществляется скребковым конвейером 13. Ударные устройства 4 располагаются по отношению к плоскости забоя под углом не более 30°. Такое расположение ударных устройств обеспечивает наибольшую эффективность разрушения горной породы.

Количество ударных устройств и их способ крепления к каретке определяются в зависимости от горно-геологических условий применяемой технологии разработки полезного ископаемого. Так, при разработке пологих пластов и наличии вспомогательных выработок (откаточного и вентиляционного штреков), размеры которых позволяют развернуть исполнительный орган, возможен вариант рабочего органа с одним ударным устройством, шарнирно закрепленным на каретке и автоматически поворачивающимся на концевой секции рамы выемочной машины. Поворотное устройство (рис. 5.9, в) состоит из кронштейна-упора 6 и стопора, включающего цилиндр 7, палец 8, пружину 9.

При разработке продуктивных пластов и при недостаточных размерах вспомогательных выработок, не позволяющих развернуть исполнительный орган в противоположном направлении, может быть использован вариант рабочего органа с двумя ударными устройствами, работающими по челноковой схеме.

Очистной механизированный комплекс работает следующим образом. Разрушение забоя начинается с почвы пласта, при этом скребковый конвейер 13 с помощью гидродомкрата 14 отведен от забоя. Направляющая рама 1 с помощью гидродомкратов 11 и 12 подводится к забою. Находясь в вентиляционном штреке, ударники 4 занимают исходное положение, затем включается привод 3, и они по направляющей раме 1 с помощью катков 15 перемещаются вдоль забоя, снимая стружку определенной толщины. В момент выхода ударных устройств из забоя в штрековое пространство направляющая рама 1 с помощью гидродомкратов 11, 12 изменяет свое положение относительно забоя, а конвейер 13 вплотную подвигается к забою. В штрековом пространстве, ударники 4 автоматически на концевых секциях рамы 1 разворачиваются с помощью поворотного устройства. Оно действует следующим образом.



Золотник (на чертеже не показан) включается контактом в момент касания ударника 4 с кронштейном-упором 6. Энергоноситель (сжатый воздух или жидкость) заполняет камеру 7 стопора, сжимает пружину 9 и разъединяет ударники 4 с кареткой 5. Ударники поворачиваются до полной остановки кронштейном-упором 6 и фиксируются стопором. Далее включается реверс привода 3. Тяговая цепь 2 перемещает ударные устройства 4 в обратном направлении. Таким образом, последовательным снятием стружки обрабатывается весь забой.

Очистной механизированный комплекс предполагается использовать при разработке продуктивных пластов мощностью 1,8–2,5 м там, где применение в качестве выемочной машины динамического струга становится нецелесообразным в связи с громоздкостью конструкции и высокими затратами энергии на преодоление сил сопротивления (заштыбовка, трение в направляющих), возникающих при его перемещении (70 % общего усилия перемещения струга).

Применение предлагаемого очистного механизированного комплекса для разработки МРМ позволит заменить малопродуктивный и небезопасный буровзрывной способ разработки на высокопроизводительный поточный. Ожидаемый экономический эффект составит около 980 тыс. руб. в год на один комплекс за счет уменьшения обслуживающего персонала до 15 чел., увеличения производительности ГРОЗ до 30 м³/чел. в смену и увеличения нагрузки на забой в 2–3 раза (по расценкам 2000 г.).

Таким образом, подтверждается положение о том, что коренное изменение технологии добычи МРМ подземным способом, направленное на резкое повышение производительности труда, обеспечение бесцеликовой выемки, а также замену малоэффективного буровзрывного способа отбойки МКП механическим, возможно только при создании надежной поточной технологии на базе очистного механизированного комплекса с выемочной машиной, оснащенной исполнительным органом ударного действия.

Рис. 5.9. Выемочная машина с ударным исполнительным органом (*а* – разрез А; *б* – разрез А–А) и поворотное устройство (*в*) ударного исполнительного органа.

1 – направляющая рама; 2 – тяговая цепь; 3 – привод; 4 – ударные устройства; 5 – каретки; 6 – кронштейн-упор; 7 – цилиндр; 8 – палец; 9 – пружина; 10 – крепь; 11, 12, 14 – гидродомкраты; 13 – скребковый конвейер; 15 – катки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт подземной разработки МРМ насчитывает более 80 лет, за этот период технология ведения подземных работ прошла сложный путь развития от лопаты и кайла до очистных комбайнов, от тачек до высокопроизводительных конвейеров, мобильных погрузочно-доставочных машин, очистных механизированных крепей. Большой вклад в техническое перевооружение золотодобывающей промышленности внесли такие научно-исследовательские институты, как ВНИИ-1, ИГД ДВО РАН, ИГДС СО РАН, ИРГИредмет, СВФУ, ИГД СО РАН и др.

Анализ сложившегося на сегодняшний день положения в золотодобыче свидетельствует о том, что традиционная технология подземной разработки МРМ практически исчерпала свои возможности дальнейшего улучшения основных технико-экономических показателей и не соответствует современным требованиям рационального природопользования недр, а также охраны окружающей среды. Поэтому становится актуальной проблема существенного повышения технико-экономических показателей подземной разработки МРМ путем создания и внедрения безвзрывных технологий на основе применения механического способа разрушения (резания и удара).

Результаты исследований горно-геологических и горнотехнических условий подземной разработки МРМ, физико-механических и горнотехнологических свойств МКП, процессов ударного и комбинированного (в сочетании с резанием) разрушения МКП, проведенных в шахтных условиях, позволяют сделать следующие выводы.

1. Состав, криогенное строение, структурные особенности МКП, разрабатываемых при проведении вскрывающих, подготовительно-нарезных и очистных выработок в условиях их подземной разработки, весьма разнообразны и требуют дифференцированного подхода к выбору техники и технологии их проведения.

2. Проведение натурных исследований свойств горных пород непосредственно в ненарушенном породном массиве позволило получить благодаря применению оригинальной разработанной методики показатели прочностных и деформационных свойств МКП в условиях естественного залегания.

3. Наиболее распространенным при проведении подготовительно-нарезных и очистных выработок является двухкомпонентный забой, представленный в верхней части – МКП, в нижней части – коренными породами (плотиком мощностью до 0,6–1,0 м).

4. Для разрушения двухкомпонентного продуктивного пласта рационально применение комбайна с комбинированным исполнительным органом (ударно-режущий), который может разрушать породы крепостью до 100 МПа.

5. Результаты испытаний проходческого комбайна ГПКС с комбинированным исполнительным органом позволяют рекомендовать двухстадийную технологическую схему обработки забоя, подготовительных и очистных выработок РШ:

1) обработка контура выработки до проектного сечения с последующим образованием вруба режущей коронкой комбайна по коренным породам или ледяным включениям;

2) разрушение центральной части забоя (ядро сечения) исполнительным органом комбайна ударного действия.

Такая технологическая схема обработки двухкомпонентного забоя ГВ обеспечивает высокую эффективность работ режущего и ударного устройств комбинированного исполнительного органа, способствуя тем самым достижению максимальной производительности.

Совершенствование технологии подземной разработки МРМ предлагается осуществлять по следующим основным направлениям:

– совершенствование существующей (традиционной) технологии разработки за счет применения современных средств механизации проходческих и очистных работ;

– разработка и внедрение новых технологических схем циклично-поточной технологии, предусматривающей применение механического разрушения МКП, с использованием высокопроизводительных ПДМ и транспортировкой песков на поверхность автомобильным транспортом.

Дальнейшие исследования необходимо направить на практическую реализацию разработанных технологических схем с целью их адаптации к конкретным горно-геологическим условиям МРМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зильберборд А.Ф., Гравис Г.Ф.** Влияние строения мерзлых пород на проявления горного давления при разработке глубоких россыпей // Тепловые и механические процессы при разработке полезных ископаемых. М.: Наука, 1965. С. 157–166.
2. **Зильберборд А.Ф.** Влияние природных факторов на условия подземной разработки полезных ископаемых в области вечной мерзлоты // Тепловые и механические процессы при разработке полезных ископаемых. М.: Наука, 1965. С. 182–193.
3. **Скрябин А.И.** Геолого–геоморфологические особенности и типы россыпей бассейна среднего течения р. Эльги // Геология россыпей Якутии. М.: Наука, 1964. С. 107–140.
4. **Лубий К.И.** Геологические особенности и системы разработки некоторых россыпей Заполярья. Колыма. 1965. № 8. С. 5–8.
5. **Рожков И.С., Михалев Г.П., Прокопчук Б.И., Шамшина Э.И.** Алмазоносные россыпи Западной Якутии. М.: Наука, 1967. 280 с.
6. **Дьяконов В.А., Гуров С.Д., Ильковский К.К., Маликов Е.Ф., Наумов Г.Г., Шерстов В.А.** Состояние и пути повышения эффективности добычи олова в Республике Саха (Якутия). Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2000. 100 с.
7. **Потемкин С.В.** Горная наука и совершенствование разработки вечномерзлых россыпей Северо-Востока. Магадан, 1973. 142 с.
8. **Шерстов В.А., Куренчанин В.К., Кивилева Н.М.** Совершенствование условий труда и технологии разработки на россыпных шахтах Заполярья. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. 157 с.
9. **Шерстов В.А.** Анализ, оценка и прогноз показателей технического уровня при подземной разработке многолетнемерзлых россыпей. Якутск: ЯНЦ СО РАН СССР, 1991. 45 с.
10. **Шерстов В.А., Марков В.С.** Совершенствование механизации производственных процессов при подземной разработке многолетнемерзлых россыпей // Горный информационный аналитический бюллетень (ГИАБ). М.: Изд-во МГГУ, 2003. № 1. С. 196–199.
11. **Шерстов В.А., Скуба В.Н., Лубий К.И., Костромитинов К.Н.** Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. Якутск, 1981. 180 с.

12. **Емельянов В.И., Мамаев Ю.А., Кудлай Е.Д.** Подземная разработка многолетнемерзлых россыпей. М.: Недра, 1982. 239 с.
13. **Сальманов Р.Н., Данзанов В.Б.** Применение буровых кареток на подземной разработке вечномерзлых россыпей // Колыма. 1970. № 8. С. 4–6.
14. **Сальманов Р.Н., Данзанов В.Б., Журкович В.В. и др.** Исследование работы дизельного самоходного оборудования при подземной разработке россыпей // Труды ВНИИ-1. 1979. Т. 40. С. 105–112.
15. **Сальманов Р.Н., Данзанов В.Б., Катвицкий В.В.** Опыт проведения выработок с применением самоходных погрузочно-доставочных машин // Колыма. 1979. № 8. С. 7–9.
16. **Сальманов Р.Н., Данзанов В.Б.** Совершенствование технологии подземных горных работ с применением самоходного оборудования // Колыма. 1980. № 5. С. 4–6.
17. Разработать эффективную технологию применения самоходных машин на подземной разработке многолетнемерзлых россыпей в условиях ПО «Якутзолото»: отчет / ИГДС ЯФ СО АН СССР; отв. исполнитель В.А. Шерстов. Якутск, 1987. 68 с.
18. **Потапенко В.В.** Применение автотранспорта на шахтах приисков Северо-Востока // Разработка россыпных месторождений. Магадан, 1969. С. 100–115.
19. **Чабан Д.Д., Луняшин П.Д.** Проходка стволов россыпных шахт применением комбайнов ГПК // Колыма. 1982. № 11. С. 33–36.
20. **Егоров И.К., Тарасов Н.И.** Разрушение многолетнемерзлых пород горнопроходческими комбайнами // Цветная металлургия. 1985. № 1. С. 28–32.
21. **Иванов В.Г., Ляшенко В.П., Горбунов С.П. и др.** Опыт применения горных комбайнов на подземной разработке россыпей // Колыма. 1985. № 7. С. 7–8.
22. **Ляшенко В.Д., Иванов В.Г., Данзанов В.Б.** Опыт применения проходческих комбайнов при проведении выработок в шахтах предприятий объединения «Северовостокзолото» // Колыма. 1963. № 10. С. 8–10.
23. **Ляшенко В.Д., Иванов В.Г.** Оценка надежности проходческих комбайнов // Колыма. 1985. № 9. С. 9–12.
24. **Кудлай Е.Д., Приволоцкий А.А.** Исследование характеристик работы исполнительных механизмов очистного комбайна // Совершенствование техники и технологии разработки многолетнемерзлых россыпей: сб. науч. тр. / ВНИИ-1. Магадан, 1985. С. 3–19.
25. **Кудлай Е.Д.** О параметрах механического разрушения многолетнемерзлых крупнообломочных пород // Колыма. 1987. № 10. С. 4–7.
26. **Кудлай Е.Д., Сурков Г.И.** Результаты испытаний очистного комплекса на подземной разработке россыпей // Колыма. 1985. № 18. С. 9–11.
27. **Кудлай Е.Д., Сурков Г.И., Приволоцкий А.А.** Выемка мерзлых песков с применением очистного механизированного комплекса // Колыма. 1987. № 3. С. 16–17.

28. **Кудлай Е.Д., Акулин А.В., Александров В.Е.** Совершенствование технологии подземной разработки многолетнемерзлых продуктивных пластов очистными механизированными комплексами // *Колыма*. 1988. № 18. С. 19–21.
29. **Бодрунов Л.Д., Топорков А.А.** Средства механизации проведения горных выработок на шахтах СССР и за рубежом: обзор / ЦНИИЭ-уголь. М., 1991. 88 с.
30. **Дмитрак Ю.А.** Проходческие комбайны для угольной и рудной промышленности // *Горная промышленность*. 1996. № 1. С. 2–4.
31. Проходческие комбайны избирательного действия и их фирмы-изготовители. Roadheaders and their manufactures / В. Simon, P. Schloeger, J. Mogg // *Tunnels Tanne II*. 1990. N 1. С. 49, 51, 53.
32. Проходческие комбайны. Atlas-Corco-Eickloss] Beyond Bergbau: Variety the spice of life for AC-E // *World Mining Equip*. 1990. Vol. 14, N 5. P. 10.
33. Область применения современных комбайнов избирательного действия разных классов в тоннелестроении и горной промышленности. Anwendungen Bereiche moderner Teilschrittmaschinen verhide-ener Groenerlassen im Tunnel – und Berbau / R. Moidi, D. Hanche. II *Tunnel*. 1989. № 4. S. 202, 204, 206–208, 210–212, 219.
34. Новые машины из Австрии. New machines from Austria // *World Mining Equip*. 1989. Vol. 13, N 9. P. 45–46.
35. **Захарикова Н.В., Погорелова А.А.** Анализ тенденций развития проходческих комбайнов на основе патентной информации // Проведение, крепление и поддержание горных выработок. М., 1989. С. 18–24.
36. Стреловидный проходческий комбайн. Roadheader muscle // *Tunnels and Tunntell*. 1990. Vol. 22, N 8. С. 31.
37. Проходческое оборудование фирмы Voest Alpine. Voest Alpine Bergtechnik Ges. m.b.H., Gesschaftsbereich Tunneltechnik // *Berg- und Huttchman. Monatch*. 1991. Vol. 136, N 6. С. 217–218.
38. [Комбайн Alpine Miner AM-75 для проходки штреков]. Alpine Miner AM-75 // *Berg- und Hugpenmann*. 1990. Bd. 135, N 34. S. 141–142 (на нем. яз.).
39. **Григорьев К.В.** Тоннель-проходческая техника фирмы Alpine Westfalia // *Горная промышленность*. 1995. № 3. С. 21–22.
40. **Пехам Х., Григорьев К.** Alpine Westfalia // *Горная промышленность*. 1995. № 1. С. 38–39.
41. Комбайн избирательного действия фирмы Alpine Westfalia // *Горная промышленность*. 1995. № 1. С. 40–41.
42. Горное дело: Реф. журн. 1995–2005 гг.
43. **Тайбашев В.Н.** Физико-механические свойства крупнообломочных пород // *Тр. ВНИИ*. 1973. Т. 33. 150 с.
44. **Вотяков И.Н.** Физико-механические свойства мерзлых грунтов Якутии. –Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 175 с.
45. **Бродская А.Г.** Сжимаемость мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 86 с.

46. **Пчелинцев А.М.** Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов. М.: Наука, 1964. 260 с.
47. **Костромитинов К.Н., Николенко В.Д., Шерстов В.А. и др.** Испытание прочностных свойств мерзлых пород на образцах неправильной формы // Повышение эффективности горной промышленности Якутии. Новосибирск: Наука, 1974. С. 32–37.
48. **Шерстов В.А.** Повышение устойчивости выработок россыпных шахт Севера. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.
49. **Ушаков Г.С.** Исследование устойчивости и разработка метода расчета предельного пролета подземных камер в условиях многолетней мерзлоты: дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 1977. 167 с.
50. **Цытович Н.А.** Механика мерзлых грунтов. М.: Высш. шк., 1973. 446 с.
51. **Вотяков И.Н.** Физико-механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 176 с.
52. **Пекарская Н.К.** Прочность мерзлых грунтов при сдвиге и ее зависимость от текстуры. М.: АН СССР, 1963. 53 с.
53. **Вялов С.С.** Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М.: АН СССР, 1959. 199 с.
54. **Берновский Я.П. и др.** Машины для разработки мерзлых грунтов. М.: Машиностроение, 1973. 203 с.
55. **Арцимович Г.В., Антонов Ю.М.** Исследование вдавливания штампа в смерзшиеся пески // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых Крайнего Севера. Якутск, 1978. С. 7–13.
56. **Слепцов А.Е.** Пути создания поточной технологии для россыпных шахт Севера // Тез. докл. науч.-практ. конф. «Комплексное развитие производительных сил Магаданской области до 2000 г.». Магадан, 1984. С. 37–38.
57. **Слепцов А.Е., Свинобоева Н.П., Марков В.С. и др.** Перспективы создания очистной машины для условий россыпных шахт Севера // Там же. С. 74–75.
58. **Слепцов А.Е., Елшин В.К., Марков В.С. и др.** Перспективы создания поточной технологии на основе ударного разрушения многолетнемерзлых горных пород пневмомолотом ПН-1300 // Колыма. 1982. № 11. С. 7–9.
59. **Федулов А.И., Лабутин В.Н., Марков В.С. и др.** Ударное разрушение многолетнемерзлых горных пород / Научные основы механизации открытых и подземных горных работ: сб. науч. тр. Новосибирск: Ин-т горного дела СО АН СССР, 1983. С. 125–131.
60. Проведение испытаний экспериментального проходческого комбайна с ударным разрушающим органом: Отчет о НИР (промежуточный) / Ин-т горного дела Севера (ИГДС); руководитель А.Е. Слепцов. № ГР 01840071843; инв. № Х198-85 (Фонды ИГДС). Якутск, 1985. 84 с.

61. **Шевелев А.С.** Физико-механические свойства мерзлых грунтов. М.: Стройиздат, 1979 127 с.
62. **Альбов М.Н.** Опробование месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 231 с.
63. Справочник по инженерной геологии. М.: Недра, 1968. 540 с.
64. **Бич А.Я.** Методические указания по проведению натурных испытаний механических свойств угля и пород с помощью давилочной установки. Л.: ВНИМИ, 1966. 38 с.
65. Методическое пособие по изучению прочностных характеристик многолетнемерзлых пород в натуральных условиях / М.А. Розенбаум, А.Е. Слепцов, В.С. Марков и др. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1963. 34 с.
66. **Михеев Г.В.** Инструкция по эксплуатации пробника БУ-39. Л.: ВНИМИ, 1978. 70 с.
67. **Фейт Г.Н.** Исследование прочностных свойств угольных пластов Донбасса в массиве. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1964. 24 с.
68. Методические рекомендации по статистической обработке экспериментальных данных в горном деле. Новокузнецк. 1974. 61 с.
69. **Марков В.С.** Результаты испытаний физико-механических свойств пород многолетнемерзлых россыпей Кулара в натуральных условиях // Колыма. 1986. № 11. С. 11–13.
70. Временная методика определения механических характеристик хрупких горных пород. ИГД им. А.А. Скочинского. 9 с.
71. **Барон Л.И.** Коэффициент крепости горных пород. М.: Наука, 1972. 175 с.
72. **Барон Л.И.** Горно-технологическое породоведение. М.: Наука, 1977. 323 с.
73. Справочник горного мастера геологоразведочных партий. М.: Недра, 1973. 365 с.
74. **Марков В.С., Елшин В.К., Шерстов В.А., Софронов С.Т.** Способ определения коэффициента крепости многолетнемерзлых крупнообломочных пород. Пат. РФ на изобретение № 218944, 2003 г.
75. **Марков В.С.** Методика определения коэффициента крепости многолетнемерзлых крупнообломочных пород: Горный инф.-анал. бюл. М.: МГГУ, 2006. № 12. С. 355–359.
76. **Ребиндер П.А., Шрейнер Л.А., Жигач К.Ф.** Понижители твердости в бурении. М.; Л.: АН СССР, 1944. 134 с.
77. **Чирков С.Е., Присташ В.В.** Энергетические показатели разрушения горных пород различными способами // Горные машины и автоматика. 2002. № 10.
78. **Герике Б. Л., Кунце Г.** Направление совершенствования рабочих органов добывающих поверхностных фрез // Вестн. КузГТУ. 2001. № 2.
79. **Краснянский Г.А., Штейнцайг Р.М., Леванковский И.А. и др.** Об опыте применения КСМ-2000Р в экстремальных условиях горного производства // Глюкауф. 1998. № 4.

80. **Герике Б.Л.** Исследование режимов работы исполнительных органов очистных комбайнов с дисковым скальвающим инструментом: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: КузПИ, 1977.
81. **Федулов А.И., Лабутин В.Н.** Ударный способ разрушения крепких материалов // ФТПРПИ. 1987. № 4.
82. **Федулов А.И., Лабутин В.Н.** Ударное разрушение мерзлых грунтов и горных пород // ФТПРПИ 1995. № 5.
83. **Маттис А.Р., Кузнецов В.И., Васильев Е.И. и др.** Экскаваторы с ковшом активного действия. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН. 1996. 174 с.
84. **Мерзляков В.Г., Присташ В.В.** Состояние и перспективы развития способов разрушения горных пород применительно к технологиям проведения горных выработок // Науч. сообщ. ИГД им. А.А. Скочинского. М., 1998. Вып. 310.
85. **Афендииков В.С., Топорков А.А., Чеботарева А.Н.** Механизация проведения подготовительных выработок за рубежом: обзорная информация. М.: ЦНИЭИуголь. 1989.
86. **Шишаев С.В., Федулов А.И., Маттис А.Р.** Расчет и создание ковша активного действия. Новосибирск: ИГД СО АН СССР. 1989. 115 с.
87. **Курленя М.В., Маттис А.Р., Бойко Г.Х. и др.** Новый экскаватор Уралмашзавода // Горный журнал. 1991. № 5.
88. **Маттис А.Р., Лабутин В.Н.** Перспективы применения экскаватора с ковшом активного действия в строительстве // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1999. № 8.
89. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / под ред. чл.-корр. РАН В.Н. Опарина. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007 337с.
90. **Вихляев А.А., Каменский В.В., Федулов А.И.** Ударное дробление крепких материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1969. 158 с.
91. **Федулов А.И., Лабутин В.Н.** Ударное разрушение угля. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. 120 с.
92. **Федулов А.И., Иванов Р.А.** Ударное разрушение мерзлых грунтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 134 с.
93. **Епифанцов Ю.К., Нешитин В.М., Бузинник В.Н.** Результаты испытаний ударно-скальвающего исполнительного органа проходческого комбайна // Горные машины и автоматика. 1974. № 4.
94. **Лазуткин А.Г., Ушаков Л.С., Хамидулин Ф.Ф. и др.** Результаты стеновых испытаний динамической струговой установки УСД-2 // ФТПРПИ. 1976. № 6.
95. **Циферблат В.Л., Смирнова О.В.** Горные машины с гидро- и пневмоударниками за рубежом. М., 1979. 46 с.
96. **Базер Я.И., Крутилин В.И.** Зарубежные проходческие комбайны. М., 1971. 306 с.
97. **Докукин А.В.** Проходческая техника капиталистических фирм на международной выставке «Уголь-75» // Уголь. 1976. № 1. С. 33–40.

98. Юст Р. Проведение выемочных штреков с отставанием лавы на шахте «Реден» // Глюкауф. 1975. № 23.
99. Бузинник В.Н., Коняшин Ю.Г., Нешитин В.М. и др. Проведение горных выработок машинами ударного действия (обзор). М.: ЦНИЭИуголь, 1976. 34 с.
100. Волков В.В. Исследование процессов разрушения вечномерзлых продуктивных пластов применительно к созданию очистной машины с ударным исполнительным органом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Караганда, 1974.
101. Чабан П.Д., Лазуткин А.Г., Ушаков Л.С. и др. Перспективы создания поточной технологии подземной разработки вечномерзлых россыпей / IV Всесоюз. науч.-техн. совещ. «Основные направления повышения технического уровня производства при разработке россыпных месторождений»: тез. докл. Магадан, 1978.
102. Ушаков Л.С. Минеральные ресурсы Северо-Востока России и проблемы их освоения // Труды конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной среды». Новосибирск, 2010. Т. 3: Машиноведение.
103. Барон Л.И. Горно-технологическое породоведение. М.: Наука, 1977. 321 с.
104. Егоров И.К., Тарасов Н.И. Разрушение многолетнемерзлых пород горнопроходческими комбайнами // Цветная металлургия. 1985. № 1. С. 28–32.
105. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. М.: МГГУ, 1995.
106. Марков В.С., Сугаренко Г.Г., Елшин В.К. и др. Шахтные испытания проходческого комбайна ГПКС с экспериментальным комбинированным исполнительным органом // ФТПРПИ. 1988. № 5. С. 78–80.
107. Марков В.С. Обоснование технологии проведения подготовительных выработок россыпей Севера комбайнами с комбинированными исполнительными органами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Якутск, 1989. 18 с.
108. Слепцов А.Е., Федулов А.Е., Лабутин В.Н. и др. Перспективы создания поточной технологии на основе разрушения многолетнемерзлых горных пород пневмомолотом ПН1300 // Колыма. 1982. № 11. С. 7–9.
109. Федулов А.И., Лабутин В.Н., Костыркин В.Н. и др. Ударное разрушение многолетнемерзлых горных пород // Научные основы механизации открытых и подземных горных работ. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1983. С. 125–131.
110. Лабутин В.Н., Слепцов А.Е., Костыркин В.Н. Применение ударных устройств для разрушения многолетнемерзлых горных пород // Разрушение горных пород гидроударными исполнительными органами. Караганда, 1985. С. 46–51.
111. Слепцов А.Е., Сугаренко Г.Г., Марков В.С. и др. Основные принципы выбора типа проходческих комбайнов для проведения выработок на шахтах Севера // Колыма. 1986. № 7. С. 10–13.

112. **Лабутин В.Н., Костыркин В.И., Марков В.С. и др.** Экспериментальные исследования разрушения вечномерзлых горных пород ударным устройством // Горные и строительные вибрационные машины и процессы: сб. науч. тр. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1988. С. 87–92.
113. **Лабутин В.Н.** Проведение горных выработок проходческим комбайном с ударным и режущим исполнительными органами // ФТПРПИ. 1998. № 6.
114. **Шерстов В.А., Ильковский К.К., Мордвов М.И., Сытник Ю.Н.** Опыт и совершенствование подземной разработки мерзлых оловоносных россыпных месторождений // Колыма. 2000. № 3. С. 29–33.
115. **Суханов О.С., Кудлай Е.Д., Мамаев Ю.А.** Камерная система разработки многолетнемерзлых россыпей с полевой подготовкой пласта песков к выемке // Совершенствование техники и технологии разработки многолетнемерзлых россыпей: сб. науч. тр. Магадан: ВНИИ-1 золота и ред. металлов, 1983. С.12–13.
116. **Душкин А.Н.** К вопросу уточнения классификации систем подземной разработки вечномерзлых россыпей // Совершенствование техники и технологии разработки многолетнемерзлых россыпей: сб. науч. тр. Магадан: ВНИИ-1 золота и ред. металлов, 1983. С. 80–88.
117. Инструкция по разработке многолетнемерзлых россыпей подземным способом (камерные и столбовые системы разработки) / Ю.А. Мамаев, Г.А. Курсакин, И.Ю. Рассказов, А.Н. Душкин, С.С. Фидря, Е.Д. Кудлай. М.: Госгортехнадзор РФ, 2000. 112 с.
118. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом (ПБ-03-553-03).
119. Новые технические и технологические решения при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом: Рекомендации / А.Е. Слепцов, Г.Г. Сугаренко, В.К. Елшин, В.С. Марков, А.Ф. Мамонов, В.Н. Лабутин. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, Ин-т горн. дела Севера, 1989. 32 с.
120. **Слепцов А.Е.** Механизация очистных работ и управление кровлей на россыпных шахтах Севера. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983. 148 с.
121. **Слепцов А.Е., Шерстов В.А., Елшин В.К. и др.** Опыт отработки россыпной шахты с применением механизированной крепи Т-13К // Колыма. 1983. № 7.
122. **Слепцов А.Е.** Основы подземной технологии механизированной разработки многолетнемерзлых пластовых месторождений Северо-Востока СССР: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск: Ин-т горн. дела Севера, 1984. 39 с.
123. **Елшин В.К.** Обоснование работоспособности механизированной крепи при наличии в кровле повторно-жильных льдов (на примере разработки россыпных месторождений Заполярья): автореф.

- дис. ... канд. техн. наук. Якутск: Ин-т горн. дела Севера, 1988. 18 с.
124. Международный горный конгресс. М.: Недра, 1968. 704 с.
125. **Матгис А.Р., Кузнецов В.И., Васильев Е.И. и др.** Эскаваторы с ковшом активного действия. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1996. 174 с.
126. **Шишаев С.В., Федулов А.И., Матгис А.Р.** Расчет и создание ковша активного действия. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1989. 115 с.
127. **Слепцов А.Е., Федулов А.Е., Лабутин В.Н. и др.** Перспективы создания поточной технологии на основе разрушения многолетнемерзлых горных пород пневмомолотом ПН1300 // Колыма. 1982. № 11. С. 7–9.
128. **Федулов А.И., Лабутин В.Н., Костыркин В.Н. и др.** Ударное разрушение многолетнемерзлых горных пород // Научные основы механизации открытых и подземных горных работ. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1983. С. 125–131.
129. **Лабутин В.Н., Ёлшин В.К., Марков В.С.** Опыт применения ударных устройств для разработки россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты // Сб. трудов Междунар. конф. «Проблемы развития горных наук». Новосибирск: ИГД СО РАН, 2006. Т. 2: Машиноведение. Геотехнологии. С. 92–96.
130. А.с. СССР 1728485, кл. E21C27/02, 23.04.92. Бюл. № 15.
131. **Захарикова Н.В., Погорелова А.А.** Анализ тенденций развития проходческих комбайнов на основе патентной информации // Проведение, крепление и поддержание горных выработок. М., 1989. С. 18–24.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БК	– буровая каретка
ГВ	– горные выработки
ГПР	– горно-подготовительные работы
ЗМ	– закладочный материал
МГП	– многолетнемерзлые горные породы
МКП	– многолетнемерзлые крупнообломочные породы
МРМ	– многолетнемерзлые россыпные месторождения
ПДМ	– погрузочно-доставочная машина
РШ	– россыпная шахта

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. УСЛОВИЯ, ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ	8
1.1. Условия разработки россыпных месторождений Аллах-Юня	—
1.2. Условия разработки россыпных месторождений Индигирки	11
1.3. Условия разработки россыпных месторождений Кулара . .	12
1.4. Условия разработки россыпного месторождения «Солур» .	15
1.5. Условия разработки россыпного месторождения «Тирехтях»	19
1.6. Особенности подземной разработки россыпных месторождений	21
1.7. Современное состояние и основные направления совершенствования технологии подземной разработки россыпных месторождений	26
Глава 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	30
2.1. Опыт эксплуатации самоходного оборудования	—
2.2. Опыт применения автомобильного транспорта	36
2.3. Применение проходческих и очистных комбайнов	37
2.4. Опыт эксплуатации современных отечественных и зарубежных проходческих комбайнов	46
2.5. Сравнительный анализ технического уровня отечественных и зарубежных комбайнов	51
Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ГОРНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД	59
3.1. Обзор исследований физико-механических свойств	—
3.2. Выбор метода исследований	61
3.2.1. Методика определения прочностных и деформационных характеристик в натуральных условиях	63
3.3. Результаты исследований прочностных и деформационных свойств в натуральных условиях	72
3.4. Исследование динамических нагрузочных характеристик . .	78
3.5. Определение коэффициента крепости многолетнемерзлых крупнообломочных пород	81

Глава 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД	86
4.1. Оценка эффективности различных способов разрушения горных пород	—
4.2. Результаты исследований схем ударного разрушения крепких материалов	94
4.3. Обоснование целесообразности применения ударного способа при разрушении многолетнемерзлых крупнообломочных пород	98
4.4. Исследования ударного разрушения многолетнемерзлых крупнообломочных пород в шахтных условиях	101
4.4.1. Ударное разрушение уступа породного массива с двумя плоскостями обнажения	—
4.4.2. Ударное разрушение многолетнемерзлых крупнообломочных пород с выровненной поверхностью забоя	105
4.4.3. Шахтные испытания экспериментального образца исполнительного органа проходческого комбайна	116
4.4.4. Шахтные испытания экспериментального образца исполнительного органа очистного комбайна	125
Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БЕЗВЗРЫВНОЙ РАЗРАБОТКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	130
5.1. Применение стреловых проходческих комбайнов при подземной разработке россыпных месторождений золота, олова и алмазов	—
5.1.1. Определение области применения проходческих комбайнов	—
5.1.2. Рекомендации по применению технологии очистной выемки оловосодержащих песков с использованием проходческих комбайнов (месторождение «Тирехтях»)	—
5.1.2.1. Оценка технологии подземной разработки оловоносной россыпи	—
5.1.2.2. Определение коэффициента крепости месторождения «Тирехтях»	133
5.1.2.3. Рекомендуемая технология очистной выемки оловоносных песков проходческими комбайнами и предварительная оценка эффективности ее применения	135
5.1.3. Камерная (бесцеликовая) система разработки с применением проходческих комбайнов и закладкой выработанного пространства (алмазоносное месторождение «Солур»)	137
5.1.3.1. Современное состояние горных работ на месторождении	—
5.1.3.2. Предлагаемая камерная система разработки с закладкой выработанного пространства	139
5.2. Применение ударного и комбинированного способов разрушения при подземной разработке многолетнемерзлых россыпей	146

5.2.1. Обоснование целесообразности применения безвзрывной технологии для разработки многолетнемерзлых россыпей	146
5.2.2. Очистной механизированный комплекс с выемочной машиной, оснащенной комбинированным исполнительным органом	149
5.2.3. Очистной механизированный комплекс с выемочной машиной, оснащенной ударным исполнительным органом	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	158
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	160

CONTENTS

INTRODUCTION	5
Chapter 1. THE CONDITIONS, CHARACTERISTICS AND THE CURRENT STATE OF UNDERGROUND MINING OF PLACER DEPOSITS OF YAKUTIA	8
1.1. Conditions of placer deposits of Allah-Yun	—
1.2. Conditions of placer deposits of Indigirka	11
1.3. Conditions of placer deposits of Kular	12
1.4. Conditions of placer deposits of «Solur»	15
1.5. Conditions of placer deposits of «Tirehtyah»	19
1.6. Features of underground mining of placer deposits	21
1.7. Present state and main directions improving the technology of underground mining of placer deposits	26
Chapter 2. THE TECHNICAL MEANS APPLIED IN UNDERGROUND MINING PLACER DEPOSITS	30
2.1. Experience in operating self-propelled equipment	—
2.2. Experience in the use of road transport	36
2.3. The use <i>heading machines</i> and shearers	37
2.4. Experience in operating modern domestic and foreign heading machines	46
2.5. The comparative analysis of technological level of domestic and foreign combines	51
Chapter 3. STUDIES OF PHYSICAL AND MECHANICAL, MINING AND PROCESSING PROPERTIES OF PERMAFROST COARSE ROCKS	59
3.1. A review of studies of physical and mechanical properties . . .	—
3.2. The choice of method of investigation	61
3.2.1. Method of determining the strength and deformation characteristics under natural conditions	63
3.3. The results of research strength and deformation properties under natural conditions	72
3.4. Research of dynamic of loading characteristics	78
3.5. Determination of the rock-hardness ratio of permafrost coarse rocks	81
Chapter 4. EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF IMPACT ACTION OF PERMAFROST COARSE ROCKS	86
4.1. Assessment of efficiency of various ways to of destruction of rocks	—

4.2. Results of research of schemes sturdy of impact action of metals .	94
4.3. Substantiation of expediency the use of ways of impact action of permafrost coarse rocks	98
4.4. Research of impact action of permafrost coarse rocks in mine conditions	101
4.4.1. Impact rock breaking of bench rock mass with two planes exposure	—
4.4.2. Impact the destruction permafrost coarse rocks with aligned day surface	115
4.4.3. Mine trials experimental sample executive body of the heading machines	116
4.4.4. Mine trials experimental sample executive body of the shearer	125
Chapter 5. TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR NON-EXPLOSIVE THE DEVELOPMENT OF PERMAFROST PLACER DEPOSITS . . .	130
5.1. The use of roadheader at underground mining of the gold, tin and diamonds placer deposits	—
5.1.1. Determining the application range of heading machines	—
5.1.2. The recommendations on the application of coal-extraction technology the tin-bearing sands using the heading machines (deposit of «Tirehtyah»)	—
5.1.2.1. Technology assessment of underground mining the tin-bearing placers	—
5.1.2.2. Determination of the rock-hardness ratio of deposits of «Tirehtyah»	133
5.1.2.3. Recommended coal-extraction technology the tin-bearing sands the heading machines and preliminary evaluation the effectiveness of its application	135
5.1.3. Chamber mining (non-pillar mining) development system using the heading machines and goaf stowing (the diamond deposits of «Solur»)	137
5.1.3.1. Modern condition mining works at the deposit	—
5.1.3.2. The proposed chamber mining the development of with the goaf stowing	139
5.2. Application of impacted and combined means rock breaking at underground mining of permafrost placer	146
5.2.1. Substantiation of expediency the use of non-explosive technology for the development of permafrost placer	—
5.2.2. Mining system with winning machines equipped with a combined cutting head	149
5.2.3. Mining system with winning machines equipped with a impacted cutting head	153
CONCLUSION	158
BIBLIOGRAPHY	160

V.S. Markov, V.N. Labutin, V.K. Elshin

Nonexplosive Development of permafrost placer deposits underground Mining

The monograph presents the results of research work carried out in collaboration with the staff Institute Mining of the North SB RAS (Yakutsk), Institute of Mining SB RAS (Novosibirsk) and Mining department North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov (Yakutsk). Considered mining-geological, mining conditions and characteristics of underground mining of placer deposits. The analysis of the technical means used in underground mining of permafrost placer deposits. The results of studies of physical and mechanical properties of permafrost coarse rocks, pilot tests of heading machines with combined cutting head and of the shearer with cutting head impact action. Proposed and justified technical and technological solutions on rock breaking of permafrost coarse rock with a view to establishing a scientific basis non-explosive technology in underground mining of permafrost placer deposits. The monograph can be useful for specialists dealing with issues underground mining of permafrost placer deposits, as well as graduate students and students mining schools.

Recommended for publication by the Scientific and technical Advice M.K. Ammosov NEFU and Academic council Institute Mining of the North of the Siberian Branch of the RAS.

Научное издание

Марков Валерий Степанович
Лабутин Виктор Никитович
Ёлшин Владимир Константинович

**БЕЗВЗРЫВНАЯ РАЗРАБОТКА
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ**

Редактор *В.И. Смирнова*
Обложка *Н.Б. Быковская*
Художественный редактор *Е.Н. Сентябова*
Оригинал-макет *Е.Н. Зимица*

Подписано в печать 10.12.14. Формат 60 × 90 1/16.
Усл. печ. л. 9,5. Уч.-изд. 9,5 л. Тираж 200 экз. Заказ № 300.

Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@sibran.ru
Тел.: (383) 330-80-50
Отпечатано в Издательстве СО РАН
Интернет-магазин Издательства СО РАН
<http://www.sibran.ru>