



УДК 622.236

АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Адамков А.В.¹, Дмитрак Ю.В.², Атрушкевич В.А.², Лагунова Ю.А.³

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

²Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН)

³Уральский государственный горный университет



Информация о статье

Поступила:

30 июля 2024 г.

Рецензирование:

18 сентября 2024 г.

Принята к печати:

23 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

механическое разрушение, энергоёмкость разрушения, пылеобразование, направления совершенствования, комбинированный способ разрушения массива горных пород, подземная геотехнология

Аннотация.

Отечественная инженерная практика главным направлением технического развития добычи определяет комплексную механизацию при подземном способе разработке месторождений полезных ископаемых, основу которой составляет технологический процесс разрушения комбайнов массива горных пород. В силу существенной неоднородности массива горных пород следует рассматривать его разрушение как случайный процесс. В общем случае структура процесса разрушения (резания угля одиночным инструментом) может быть представлена случайной последовательностью элементарных сколов, стационарность возникновения которых нарушается появлением участков передового выкола и участков прорезания твердых включений. Процесс резания угля характеризуется возникновением элементарных сколов различной формы. По большому числу осциллограмм резания угля установлено, что связь между параметрами соседних сколов практически отсутствует, а появление передовых выколов и их длительность не связаны с параметрами предшествующих сколов. В то же время показано, что существует взаимная связь между параметрами данного скола, законы распределения которых описываются гамма-распределением. В данной статье рассмотрено механическое разрушение угольного пласта при проведении подготовительных выработок. Выполнены анализ и оценка работ, направленных на совершенствование механического способа разрушения в забоях подготовительных выработок, приведены присущие механическому способу разрушения угля в подготовительном забое недостатки. Предложен технологический вариант разрушения угольного пласта методом «крупного скола» при проведении подготовительных выработок.

Для цитирования: Адамков А.В., Дмитрак Ю.В., Атрушкевич В.А., Лагунова Ю.А. Анализ, оценка и выбор рациональных технологических вариантов разрушения массива горных пород при проведении выработок на угольных шахтах // Техника и технология горного дела. – 2024. – № 3(26). – С. 79-98. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-3-79-98, EDN: XLPWTW

Введение

Как известно, средние значения параметров скола (рис. 1), их коэффициенты вариации и взаимной корреляции зависят от свойств среды, параметров инструмента и режима резания [4]. Рабочий процесс исполнительного органа выемочной машины в любой момент представляет



собой сочетание отделения угля от массива с удалением продуктов разрушения из зоны резания. Исполнительные органы всех выемочных машин (комбайны, струги, агрегаты) оснащаются достаточно большим числом резов.

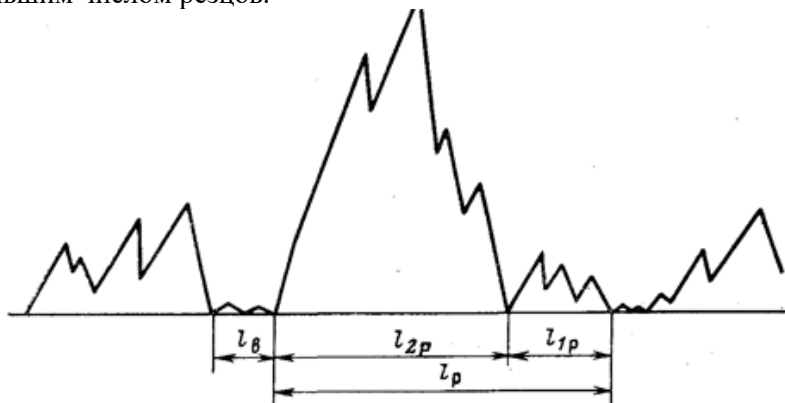


Рисунок 1 – Типичная осциллограмма процесса резания угля
Figure 1 – Typical oscillogram of coal cutting process

На рисунке 1: $l_{в}$ – участок передового выкола, l_{1p} – участок резания угля, l_{2p} – участок перерезания включений, l_p – участок резания.

При работе выемочных машин, когда обрабатываемый забой неподвижен, а точка выемки перемещается, всегда имеет место одно прямолинейное (непрерывное или прерывное) движение исполнительного органа. Возможные кинематические схемы движения исполнительных органов при резании угля можно разделить на следующие группы (в скобках приводятся типы известных в настоящее время выемочных машин) [4]:

- а) одно прямолинейное движение (струги);
- б) два прямолинейных движения (плоские бары врубовых машин и комбайнов, исполнительные органы агрегатов);
- в) одно вращательное и одно прямолинейное движения (буровые, шнековые и барабанные исполнительные органы комбайнов);
- г) два прямолинейных и одно вращательное движения (фрезерующие органы комбайнов, исполнительные органы агрегатов);
- д) два вращательных и одно прямолинейное движения (фрезерующие исполнительные органы комбайнов);
- е) три вращательных и одно прямолинейное движения;
- ж) два вращательных и два прямолинейных движения;
- з) одно вращательное и три прямолинейных движения.

Наиболее распространены конструкции выемочных машин, основанные на простых и надежных сочетаниях движений (группы а, б, в, д). Отделение угля от массива можно осуществлять *сплошным резанием* или *образованием щелей*.

В настоящее время основной способ проведения подготовительных горных выработок при подземной разработке угольных месторождений является комбайновый способ – до 85% от общего числа проведенных выработок [18]. Проходческий комбайн – комбинированная горная машины для механизированного проведения горных выработок с выполнением не менее двух основных операций – разрушение горной породы и погрузки ее в транспортные средства. По способу обработки забоя исполнительным органом определили три основных типа проходческих машин:

- избирательного действия - комбайны оснащаются стреловидным исполнительным органом с режущей резцовой коронкой на конце стрелы; (КДП, 1ГПКС, КП-25, КСП-32, КП-200, R-130, КР-150 фирмы Remag (Польша) и др.);
- бурового действия – комбайны оснащаются роторным исполнительным органом (КРТ, ПК-ВМ, МТМ (Германия) и др.);



- флангового действия – комбайны оснащаются рабочим органом, обрабатывающим забой по всей его ширине или высоте при фланговом или вертикальном его перемещении (Караганда-7/15; 12СМ15-Юу, КПА, Wirth Н 4.30 и др.). [1-16]

Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом избирательного действия осуществляют разрушение угольного пласта сплошным резанием (рис. 2). Потребляемая мощность, удельные энергозатраты и скорость подачи – наиболее часто применяемые характеристики для практической оценки режимов работы горных машин.

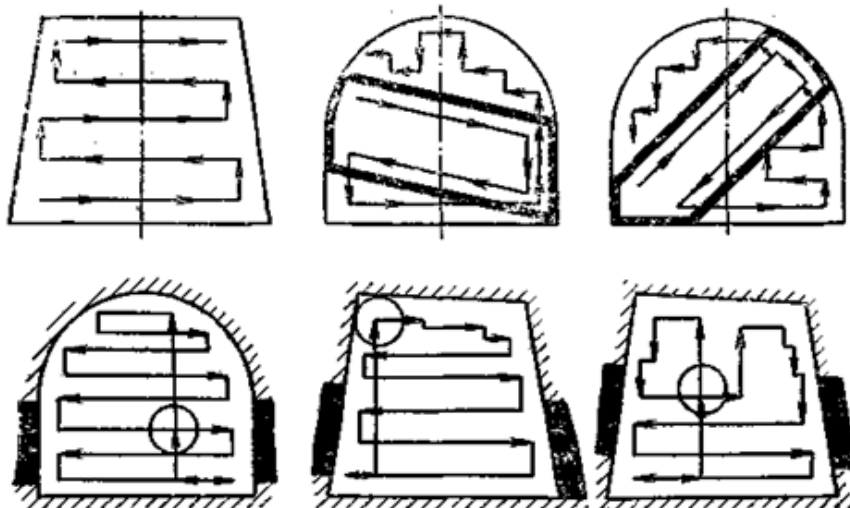


Рисунок 2 – Схема обработки забоя проходческими комбайнами избирательного действия со стреловидным исполнительным органом

Figure 2 – Scheme of face mining by selective roadheaders with arrow-shaped executive body

Разрушение угольного пласта сплошным резанием с применением высокопроизводительных машин и механизмов характеризуется высокой энергоемкостью разрушения, сопровождающейся переизмельчением угля с повышенным пылеобразованием (рис. 3). [4]

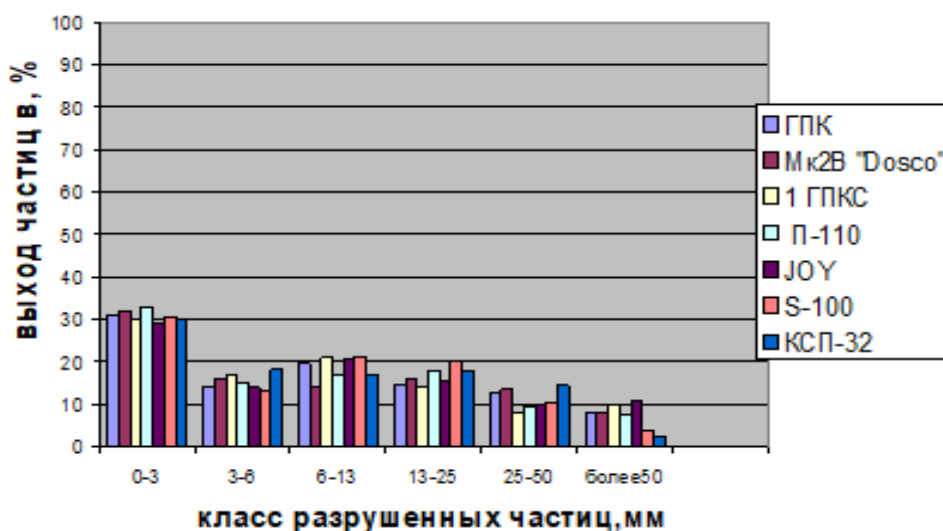


Рисунок 3 – Гранулометрический состав разрушенного угольного массива при работе проходческих комбайнов избирательного действия

Figure 3 – Granulometric composition of the crushed coal mass during the operation of selective roadheaders

Одним из параметров, характеризующих эффективность процесса разрушения горного массива, является степень измельчения разрушенного угольного массива [2]. Излишнее измельчение угольного массива при проведении горных выработок приводит к значительным экономическим потерям, а также к увеличению запыленности воздуха в забое. Снижение пылеобразования – одна из важных задач при разрушении горного массива в забое.

Современные отечественные проходческие комбайны оснащаются внутренней системой орошения (рис. 4) с постоянной подачей воды в зону резания, эффективность пылеподавления которой достигает 91% при давлении воды 1,2 МПа и расходе 90 л/мин.

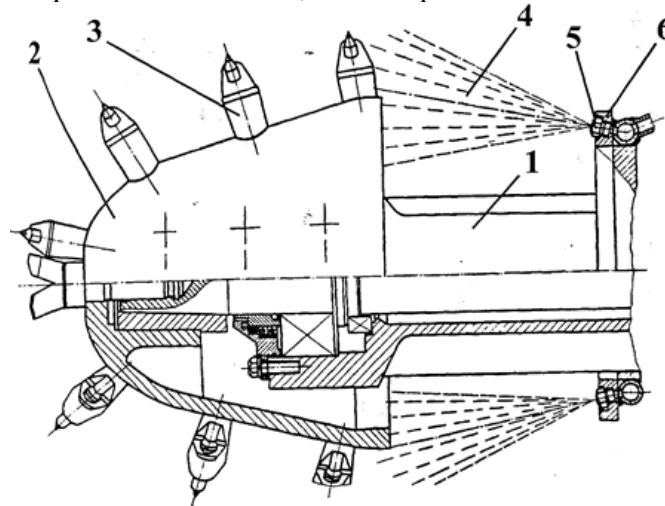


Рисунок 4 – Система внешнего орошения: 1 – стрела; 2 – резцовая коронка; 3 – кулак с резцом; 4 – оросительный канал; 5 – форсунка; 6 – оросительный коллектор

Figure 4 – External irrigation system: 1 – boom; 2 – cutter crown; 3 – cam with cutter; 4 – irrigation channel; 5 – nozzle; 6 – irrigation collector

В системах внешнего орошения (рис. 5) проходческих комбайнов избирательного действия оросители располагаются таким образом, что диспергированная вода направляется преимущественно на резцовую коронку и в места интенсивного пылевыделения. Расход воды составляет при этом 30-40 л/т отбиваемой горной массы [1-16], эффективность пылеподавления достигает 70-80%.

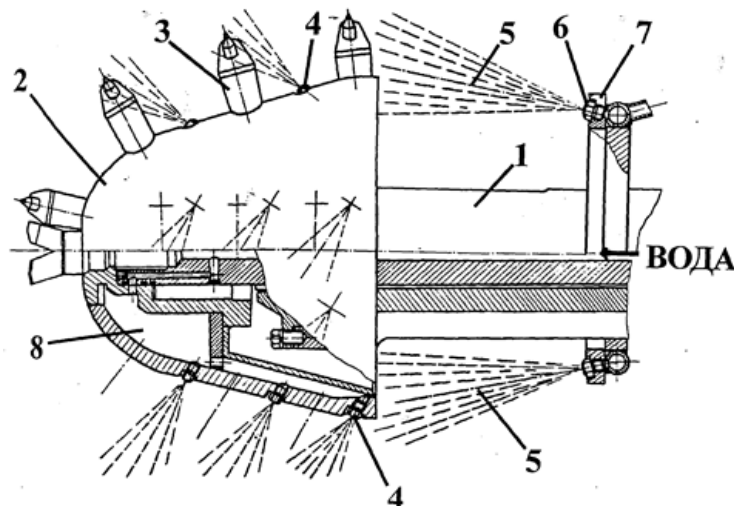


Рисунок 5 – Система внутреннего и внешнего орошения: 1 – стрела; 2 – резцовая коронка; 3 – кулак с резцом; 4 – форсунка; 5 – оросительный канал; 6 – форсунка; 7 – оросительный коллектор; 8 – распределительная камера

Figure 5 – Internal and external irrigation system: 1 – boom; 2 – cutter crown; 3 – cam with cutter; 4 – nozzle; 5 – irrigation channel; 6 – nozzle; 7 – irrigation collector; 8 – distribution chamber



Система внутреннего орошения с подачей воды непосредственно на режущий инструмент подавляет пыль в момент ее образования в процессе разрушения массива до перехода ее во взвешенное состояние. В этом случае пылевые частицы, обладая повышенной адсорбционной способностью, покрываются гидратной оболочкой, что значительно облегчает их дальнейшее смачивание и исключает переход во взвешенное состояние.

На режущий инструмент подается около 60% воды, а остальное ее количество расходуется на водяную завесу, создаваемую обычно с помощью плоско-струйных форсунок. Сочетание внешнего и внутреннего орошения существенно повышает эффективность пылеподавления и позволяет рационально использовать воду.

Исследования пылеобразования и эффективности орошения, применяющегося при работе проходческих комбайнов, выполнялись на шахтах различных районов Кузбасса. Из результатов выполненных исследований пылеобразования при работе проходческих комбайнов следует, что пылеобразование в забоях подготовительных выработок при работе проходческих комбайнов на шахтах Кузнецкого бассейна превышает предельно-допустимые концентрации.

Анализ технической литературы показывает, что в общем случае на величину пылеобразования влияют геологические факторы (влажность, крепость, степень метаморфизма, мощность пласта) и горнотехнические условия работы комбайнов (скорость воздушной струи, скорость подачи и др., а также их типы).

Основная часть

В Кузбассе разрабатываются пласты угля с влажностью от 2 до 11%, поэтому влияние влажности на пылеобразование резко выражено. Так, при работе комбайнов в шахтах Ленинского и Абашевского месторождения запыленность воздуха в 2-3 раза выше, чем при работе в Беловском и Кемеровском месторождениях, где влажность пластов угля выше. Установлено, что для условия шахт Кузбасса удельный расход воды при нагнетании находится в пределах $13 \div 19$ л/м³, при этом эффективность пылеподавления в разных условиях – 50-80%. Однако остаточная запыленность воздуха после увлажнения массива остается весьма высокой, превышая в десятки раз уровень ПДК пыли [1-15].

Запыленность воздуха при работе проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса настолько значительна, что применяющиеся средства обеспыливания не обеспечивают снижения концентрации взвешенной пыли в подготовительных забоях до величин, удовлетворяющим требованиям ПБ. Необходимо разрабатывать более эффективные, чем применяющиеся в настоящее время, способы и средства борьбы с пылью в забоях подготовительных комбайновых выработок. Не менее важным направлением улучшения санитарно-гигиенических условий в подготовительных комбайновых забоях является конструирование новых исполнительных органов комбайнов, работа которых сопровождается наименьшим пылеобразованием.

Современный проходческий комбайн представляет собой сложную систему, взаимодействующую с разрушаемой средой. Выбор его рациональных параметров является многофакторной задачей, которая должна решаться с учетом вероятных свойств среды и динамических характеристик самой машины. Для обеспечения эффективности и безопасности горных работ, чистоты окружающей среды, полноты извлечения полезных ископаемых необходимы исследования, направленные на совершенствование разрушения угольного массива при проведении подготовительных выработок.

Известны основные направления совершенствования механического способа разрушения массива горных пород [4]:

- расширение функциональных возможностей, упрощение конструкции, повышение надёжности технических средств разрушения массивов горных пород;
- повышение скорости проведения горных выработок за счёт предварительного воздействия на массив горных пород;
- повышение производительности разрушения массива горных пород;
- снижение выхода мелких сортов горной массы и уменьшение затрат энергии на процесс разрушения пород забоя.

К первой группе решений относится устройство перемещения стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна [4]. Целью изобретения является повышение

эффективности работы исполнительного органа за счёт обеспечения перемещения исполнительного органа по различным траекториям. На рис. 6 изображено в общем виде устройство для перемещения исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия. Траектория движения резцовой коронки представляет собой окружность на сфере.

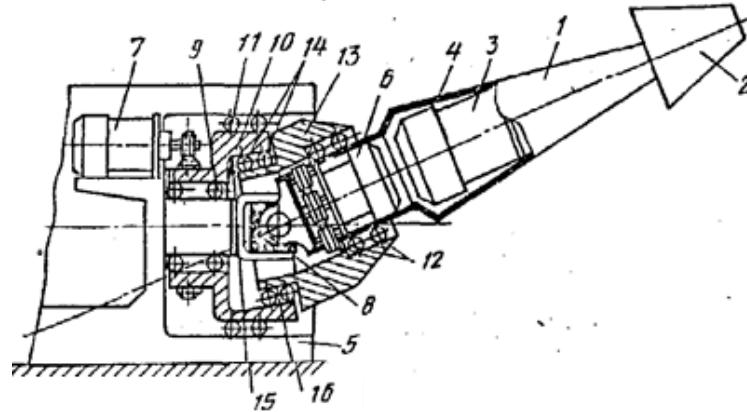


Рисунок 6 – Устройство для перемещения исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия: 1 – исполнительный орган в виде стрелы; 2 – режущая коронка; 3, 4 – привод и корпус исполнительного органа; 5 – основание; 6, 7 – привода поворота исполнительного органа; 8 – универсальный шарнир; 9 – подшипники; 10 – опорно-поворотный стакан; 11, 12, 14 – подшипники, 13 – опорно-поворотная втулка; 15, 16 – внутренняя и наружная поверхность опорно-поворотной втулки

Figure 6 – Device for moving the executive body of the selective roadheader: 1 – executive body in the shape of an arrow; 2 – cutting crown; 3, 4 – drive and body of the executive organ; 5 – base; 6, 7 – actuators of rotation of the executive organ; 8 – universal joint; 9 – bearings; 10 – support-rotating cage; 11, 12, 14 – bearings, 13 – support-rotating sleeve; 15, 16 – inner and outer surface of the support-rotating sleeve.

Совместная работа приводов поворота исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия показана на рис. 7. Траектория движения резцовой коронки представляет собой сложную пространственную кривую.

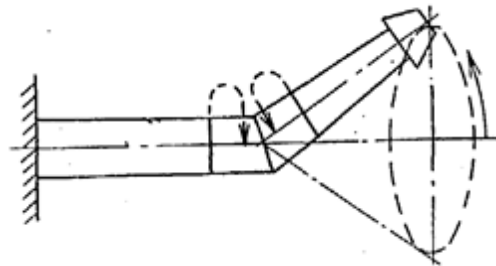


Рисунок 7 – Совместная работа приводов поворота
Figure 7 – Joint operation of the rotary actuators

На рис. 8 показана форма траекторий при отношении угловых скоростей опорно-поворотного стакана и опорно-поворотной втулки равной двум, трём и четырём соответственно.

Использование предлагаемого устройства позволяет установить стрелу в любом положении поворотом опорно-поворотного стакана и опорно-поворотной втулки на соответствующие углы.

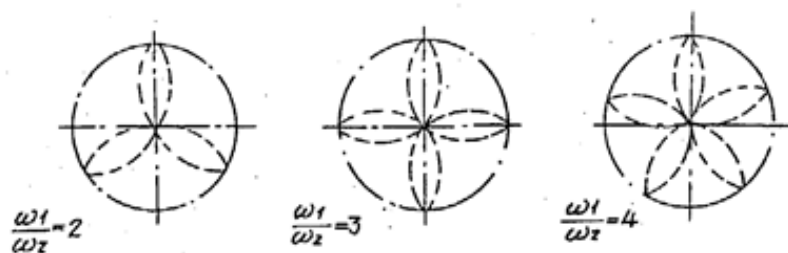


Рисунок 8 – Формы траекторий при совместной работе приводов поворота
Figure 8 – Trajectory shapes when turning actuators jointly operate

Ко второму направлению относится изобретение нового способа проведения горной выработки [4]. Цель изобретения – повышение скорости проведения горных выработок по породе за счёт предварительного разрушения массива на блоки, которые осуществляется путем бурения скважин в забое, нарезание из скважин профильных щелей (рис. 9), закачивания в скважины воды. Под давлением жидкости происходит прорастание всех профильных щелей.

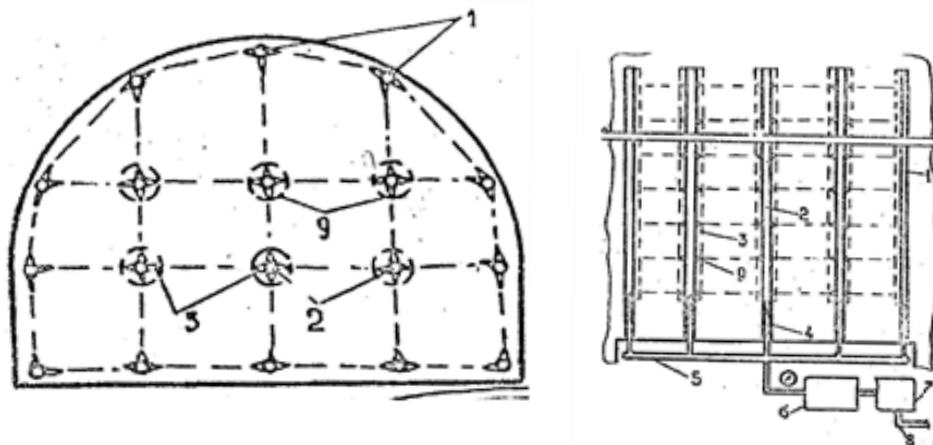


Рисунок 9 – Расположение скважин в забое выработки и схема образования трещин
изнутри скважин: 1 – контурные скважины; 2 – центральные скважины; 3 – профильные
щели; 4 – автоматические гидрозатворы; 5 – распределительная гребёнка; 6 – насос; 7 –
ёмкость; 8 – водопровод; 9 – радиальные щели

Figure 9 – Location of wells in the face of the working face and the scheme of fracture formation
inside the wells: 1 – contour wells; 2 – central wells; 3 – profile slits; 4 – automatic hydraulic gates;
5 – distribution comb; 6 – pump; 7 – tank; 8 – water pipeline; 9 – radial slits.

После разгерметизации центральных скважин изнутри каждой из них через одинаковое расстояние по длине скважины образуются радиальные щели. Далее центральные скважины герметизируют и вновь производят нагнетание в них жидкости. Отдельные блоки, образованные по длине скважин, вынимают при помощи тягового органа (например, лебедки).

К третьему направлению относится изобретение нового исполнительного органа горной машины [4]. Целью изобретения является повышение производительности путём размещения на одной линии резания нескольких инструментов. Исполнительный орган (рис. 10, а, б) может быть выполнен в виде конуса (рис. 10, в).

Размещение на одной линии резания n -го количества инструментов (рис. 10, в) позволяет увеличить подачу исполнительного органа на забой в n раз и, соответственно, производительность его и комбайна в целом.

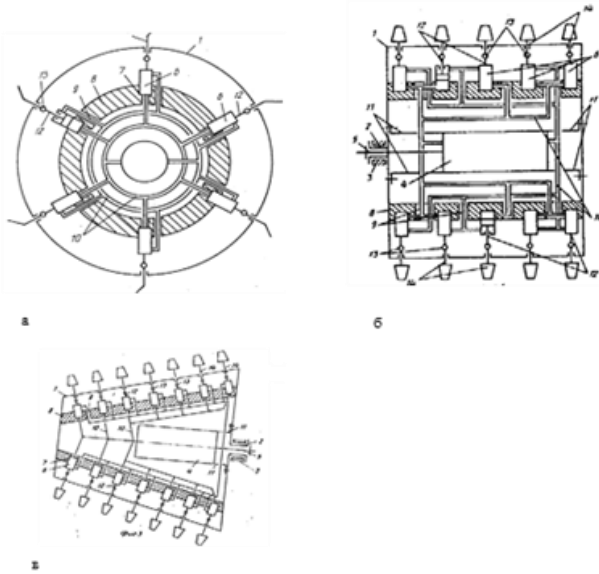


Рисунок 10 – Исполнительный орган: а – продольный разрез; б – поперечный разрез; в – продольный разрез исполнительного органа конической формы; 1 – корпус; 2 – полый приводной вал; 3 – стрела; 4 – гидронасос; 5 – приводной вал; 6 – гидровибраторы; 7 – радиальные гнёзда; 8 – барабан; 9 – окна; 10 – гидромагистраль; 11 – кронштейны; 12 – штоки; 13 – шарниры; 14 – режущий инструмент

Figure 10 – Executive body: a – longitudinal section; b – cross section; c – longitudinal section of the executive body of conical shape; 1 – body; 2 – hollow drive shaft; 3 – boom; 4 – hydraulic pump; 5 – drive shaft; 6 – hydraulic vibrators; 7 – radial sockets; 8 – drum; 9 – windows; 10 – hydraulic mains; 11 – brackets; 12 – rods; 13 – hinges; 14 – cutting tool.

Изобретение рабочего органа проходческого комбайна можно отнести к четвертой группе направлений.

Предлагаемый рабочий орган проходческого комбайна отличается тем, что резовые коронки установлены с расстоянием A между осями, близкими к их радиусу $D/2$, и имеют резы, выдвинутые вперёд относительно ступицы (рис. 11). Решение направлено на снижение выхода мелких фракций горной массы и уменьшению затрат энергии на процесс разрушения.

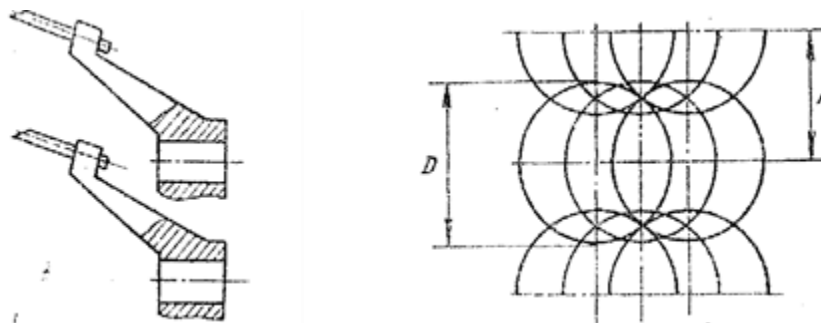


Рисунок 11 – Коронки с резами, выдвинутыми вперёд относительно ступицы и циклоиды траекторий их движения

Figure 11 – Crowns with cutters extended forward relative to the hub and cycloids of their motion trajectories

Научные работы в области применения тонких высокоскоростных струй показывают направленность ряда разработчиков в нашей стране и за рубежом на их использование в сочетании с механическими исполнительными органами в различных горнопроходческих и добычных комбайнах для разрушения пород и полезных ископаемых. Водяная струя может передавать массиву давление до 250 МПа. Возможно использовать сочетание водяных высокоскоростных тонких струй для осуществления нарезки щелей (в породном массиве и дисковых шарошек для последующего эффективного разрушения межщелевых целиков).

Применение различных схем расстановки резов, увеличение их вылета и использование тангенциальных резов, а также рост скорости подачи комбайна несколько снижает пылеобразование и улучшает сортность добываемого угля. Однако, как показывают исследования [4], и при этом сохраняется серповидность срезов, а, следовательно, и зоны переизмельчения угля. Рост скорости подачи комбайна имеет определенные пределы, приводит к значительному расходу электроэнергии, увеличению нагрузки на узлы комбайна.



Результаты экспериментальных исследований и испытаний показали, что совершенствование конструкций рабочих органов горных машин позволяет незначительно повысить эффективность разрушения массива горных пород. Вместе с этим большинство изобретений не находят практического применения в угольной промышленности, многие решения не были доведены до опытных образцов. Возможно, что внедрение решений, предлагаемых исследователями, позволило бы повысить показатели надёжности и качества работы. Однако, несмотря на усилия исследователей, направленных на улучшение качества разрушенного угольного массива и снижения затрат энергии на разрушение массива горных пород, до сих пор в данном вопросе практически ничего не меняется.

Одной из машин для разрушения части угольного массива и образования щелей в массиве горных пород, применявшейся в прошлом, была врубовая машина. Исполнительным органом врубовой машины является бар, состоявший из направляющей рамы и движущейся по ней цепи с зубками.

В 28 лавах в Донецком, Кизеловском и Челябинском бассейнах на наиболее трудноразрушаемых углях измерили ряд показателей (табл. 1) работы врубовых машин при режимах, обеспечиваемых серийным исполнением машин [4]. При этом существенным недостатком разрушения является переизмельчение разрушаемого массива и выделяется большое количество пыли. Пылевыведение является показателем оптимальности процесса разрушения. Эта закономерность относится ко всем видам механического разрушения.

Таблица 1 – Показатели работы врубовых машин
Table 1 – Performance indicators of cutting machines

Машина	Полезная глубина вруба	Скорость резания, м/с	Количество		Скорость подачи, м/мин	Толщина среза	Удельный расход энергии, кВт
			9	36-44			
КМП-1	1,4-1,8	2,1	9	36-44	0,25-0,86	0,23-0,78	14,9-2,2
МВ-60	1,7-1,8	1,9	7	28	0,21-0,94	0,23-1,1	8,0-2,35
ГТК-35	1,2-1,4	1,9	7	18-22	0,18-0,83	0,21-0,97	8,7-2,2

Разброс данных (заштрихованная зона на рис. 12) объясняется различием в сопротивляемости резанию углей исследованных пластов. Увеличение удельных энергозатрат при больших скоростях подачи является следствием появления штыба. Качественный состав угля является показателем процесса разрушения. Данные ситового анализа при разрушении части угольного массива представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2 – Сортность угля при работе врубовой машины
Table 2 – Coal grades at work of the cutting machine

Врубовая машина	Выход %, класс					
	+100	50-100	25-50	13-25	6-13	0-6
МВ - 60	20,8	9,5	9,2	10,8	14,2	35,5
ГТК - 35	19,0	7,7	8,1	10,5	12,3	42,4

При работе отечественных врубовых машин в серийном исполнении имеют место примерно одинаковые показатели: скорость подачи 0,2-0,9 м/мин, толщина среза 0,2-1,0 см, удельный расход энергии в пределах 9,0-2,0 кВт/м³ подачи). Из зависимости удельных энергозатрат от скорости подачи (рис. 12) для всех случаев измерений следует, что при увеличении скорости подачи удельный расход энергии закономерно уменьшается (цифрами на графике обозначено количество измерений при данной скорости). Анализ предлагаемых решений показывает, что существующие средства механического способа разрушения массива пород в забое не позволяют резко повысить показатели проходки и эффективности разрушения массива, поэтому решения указанных задач возможны только путем создания принципиально новых органов и способов механического разрушения горного массива в забое. Исследованиям и обоснованию параметров механического разрушения угольного массива посвящены работы ИГД им. А.А. Скочинского, КНИУИ, ВНИМИ, ВостНИИ и др.

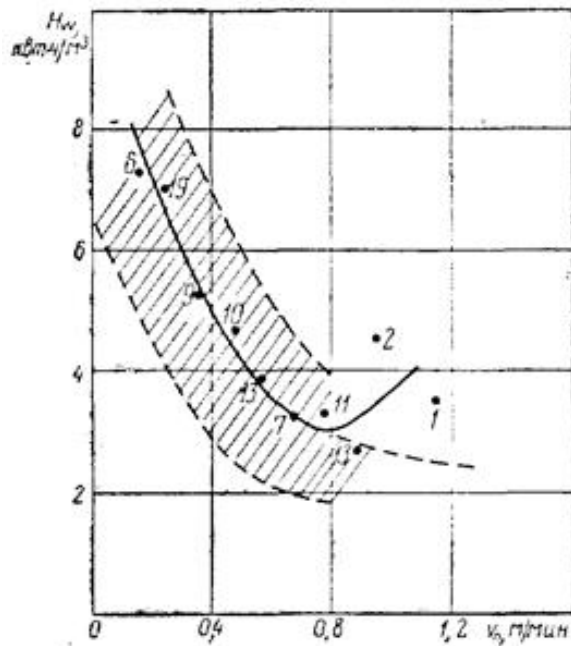


Рисунок 12 – Зависимость удельных энергозатрат от скорости подачи при работе врубовых машин

Figure 12 – Dependence of specific energy consumption on the feed rate during the operation of cutting machines

На основе теоретических исследований и шахтных экспериментов установлено, что низкая эффективность разрушения массива горных пород, и в частности, сортовой состав угля, обусловлены переизмельчением разрушенного массива, что приводит к большому пылеобразованию и увеличению энергозатрат (рис. 13, табл. 3) [4].

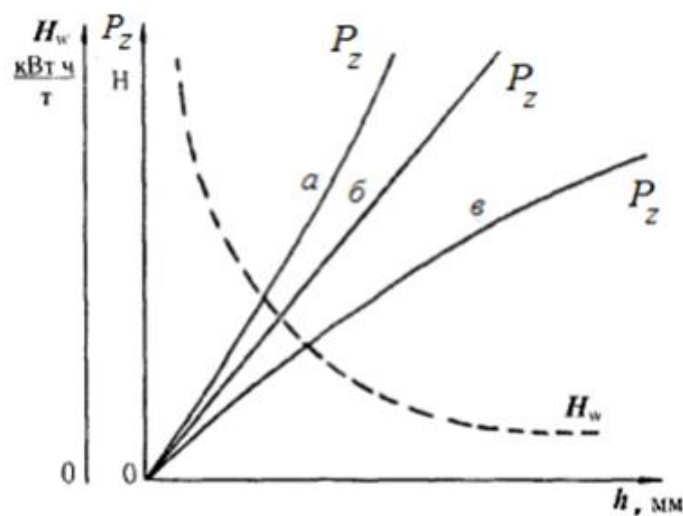


Рисунок 13 – Изменение сил резания (P_z) и удельных энергозатрат (H_w) процесса разрушения угля в зависимости от параметров резания
Figure 13 – Variation of cutting forces (P_z) and specific energy consumption (H_w) of coal fracturing process depending on cutting parameters

Механическая отбойка от массива горных пород при наличии двух и более свободных поверхностей называется сколом. Из всех известных в настоящее время способов разрушения наиболее выгодным с энергетической точки зрения является метод отделения, так называемый «крупным сколом», при котором горная масса разрушается под влиянием растягивающих усилий. Применение метода крупного скола значительно снижает расход энергии на разрушение угольного массива, увеличивает производительность, обеспечивает более комфортные условия и облегчает труд горнорабочего.



Внедрение горных машин с роторными исполнительными органами, осуществляющих разрушение массива крупными сколами, не нашло широкого применения при проведении горных выработок в угольных шахтах, следует, однако, отметить, что при работе данных комбайнов выход угольного штыба снизился до 12...15% по сравнению с 30...60% у комбайнов, разрушающих угольный массив сплошным фрезерованием. Удельный расход энергии снизился до 0,2 кВт·ч/т добытого угля [1-16].

Механизм разрушения при алмазном резании применительно к отделению пород алмазными инструментами исполнительного органа породопроходческого комбайна исследовался сначала в Карагандинском политехническом институте, а затем и в КНИУИ. Процесс резания алмазными дисками отличается высокой энергоемкостью. Именно этим вызвана необходимость разработки комбинированного способа разрушения с использованием алмазного режущего инструмента. Сочетание резания алмазными дисками с отрывом или ударом снижает удельную энергоемкость в 6-10 раз. Этот процесс весьма перспективен применительно к исполнительным органам горных машин.

Таблица 3 – Параметры технологических процессов разрушения массива горных пород
Table 3 – Parameters of technological processes of rock mass fracturing

Технологические процессы	Коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова f	Удельная энергоёмкость разрушения $H_w \cdot 10^{-3}$, Дж/кг	Удельный выход пыли, кг/м ³
Бурение:	До 2	29,8-168	11,6-47
Скважин буровыми установками типа БВУ, «Старт», БИП	4-20	21,2-106,1	18,22-200
Шпуров перфораторами типа ПП и ПТ	2-20	24,2-1350	12-300
Шпуров сверлами	До 4	35,6-178	23-72
Взрывание	1-1,5	3,2-6	2-4,5
	6	12	68
	10	13,8	85-90
	12	14,1	132
Проведение выработок проходческими комбайнами	До 2	0,65-4,3	0,25-1,2
	2-4	1,05-8,8	0,7-3,5
	4-6	7,5-12,6	1,8-4,1
	7-8	12-16,7	6,6-8,8
Отбойка угля выемочными комбайнами	1-2	0,65-7,2	1,1-2,2

Эффективность разрушения угля резами горных машин оценивается величиной удельных энергозатрат процесса резания. Анализ приведенных графиков показывает, что в режиме блокированного резания угля значение силы резания с увеличением толщины стружки нарастает наиболее интенсивно. Удельные энергозатраты процесса разрушения снижаются по гиперболическому закону при увеличении толщины стружки рис. 11 [1-16].

Исследования различных комбинированных способов разрушения пород выполнены рядом организаций (ИГД им.А.А.Скочинского, КПТИ, УкрНИИГидроуголь, НИИОГР, КНИУИ, ИГТМ, ВНИИГидроуголь и др.). Рассмотрены способы разрушения угольного массива резанием стержневыми радиальными и тангенциальными резами, дисковыми резами, вращательное бурение с применением резцов и шарошек, ударное бурение с применением специальных долот и коронок, вращательно-ударное бурение шарошками, термическое бурение скважин, термомеханическое разрушение, разрушение с наложением на рабочий инструмент ультразвуковых струй, разрушение гидродобычи с использованием струй высокого давления.



Рассмотренные работы указывают на целесообразность перспективность проведения дальнейших исследований комбинированных способов и средств разрушения горных пород. Одним из основных направлений является создание эффективных и менее энергоемких исполнительных органов, основанных на новых принципах разрушения с использованием различного вида сочетания рабочих органов: режуще-ударных, режуще-скалывающих, буроотрывных, гидромеханических.

Сведения о слабой сопротивляемости горных пород разрыву, накопленные в результате экспериментальных исследований физико-механических свойств горных пород, послужило основой для создания специальных устройств, разрушающих горный массив непосредственно в шахтных условиях.

В результате исследований М.М. Протождяконовым и Е.И. Ильницкой был предложен метод и приспособление для определения сопротивления углей отрыву непосредственно в забое. Способ разрушения состоял в следующем. В забое бурились шпуры, в которые вводились захватные приспособления с гидродомкратами отрыва. Устройство отрывало часть угля от целика. Была установлена возможность разрушения забоя таким способом.

В Донбассе на шахте №1 им. Челюскинцев [4] в производственных условиях исследовалась возможность применения отрыва для разрушения угля. В процессе исследований удалось осуществить, отрыв угля от массива при удалении шпура от плоскости забоя на 0,1-0,8 м при отрывных усилиях от 2,2 до 24,5 т. Было установлено, что с увеличением расстояния заложения скважины от плоскости забоя усилия возрастают по линейному закону.

С 1958 г. в Карагандинском бассейне рядом авторов изучается процесс отрыва угля и породы от массива путем создания щели, параллельной забою. Стендовые и шахтные испытания показали, что исполнительный орган, разрушающий горный массив отрывом, более эффективен и менее энергоемок, чем исполнительные органы, разрушающие забой сплошным фрезерованием.

Исследование комбинированного режуще-ударного способа разрушения пород показывает, что оптимальной величиной резания породы является глубина, при которой режущая кромка резца взаимодействует с породой, нарушенной трещинами. Это приводит к срезанию всего пронизанного трещинами слоя породы (удельная энергоемкость разрушения резко уменьшается). Таким образом, разрушение породы режуще-ударным способом по схеме с нанесением ударов вдоль линии резания характеризуется значительным снижением усилий на резце.

В ИГД им. А.А. Скочинского провели исследования разрушения угля при шпуровом отрыве клиньями. С целью установления оптимальных параметров буроотрывного исполнительного органа исследован процесс его взаимодействия с угольным массивом в лабораторных условиях и непосредственно в шахте.

Известно [3], что при воздействии на стенки шпура клином зарождение трещины разрушения происходит от растяжения и это напряжение является определяющим. С учетом этого проанализирована зависимость усилия подачи клинового отрывника P от его рабочего угла наклона α и прочностных свойств массива (рис. 14).

В первом приближении рассматриваемая задача анализируется без учета динамики движения. В этом случае усилие подачи клинового отрывника определяется зависимостью:

$$P = P_p [tg(\alpha + \psi) + tg\varphi] \quad (1)$$

где P_p – критическая величина усилия отрыва, зависящая от прочностных свойств угля; α – угол трения металла по углю.

Уравнение показывает, что при прочих равных условиях величина усилия подачи P уменьшается с уменьшением рабочего угла клинового отрывника α . Для проверки зависимости выполнены экспериментальные исследования. Разрушению подвергались угольные образцы с предварительно пробуренными отверстиями. Клинья имели углы 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 40°. Установлено, что при проектировании клинового исполнительного органа рабочий угол клинового отрывника α следует принимать не более 25-30°, также при больших значениях усилие



подачи P резко возрастает. Это явление, по-видимому, объясняется особыми свойствами развития трещин при отрыве [4].

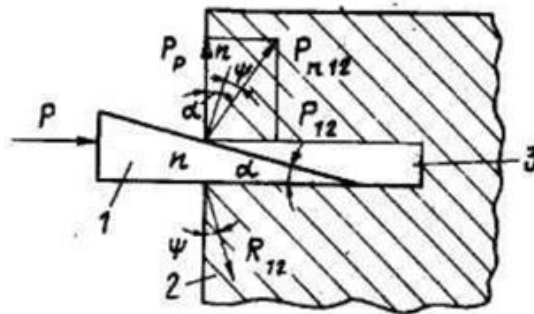


Рисунок 14 – Схема сил, действующих на уголь при нагружении: 1 – клин; 2 – уголь; 3 – шпур

Figure 14 – Scheme of forces acting on coal during stress loading: 1 – wedge; 2 – coal; 3 – borehole

Разрушение горных пород отрывом целесообразно использовать при разработке конструкций комбинированных исполнительных органов горных машин, так как сопротивляемость горных пород растяжению минимальна. Однако исследований в этой области до последнего времени проведено недостаточно. Для разрушения забоя методом отрыва необходимо сначала проникнуть внутрь массива, а затем, прикладывая усилие в стороны открытой свободной поверхности, отделить её. Следовательно, необходимо сочетание по меньшей мере двух способов разрушения. В настоящее время существуют два способа проникновения в массив для заведения в него отрывников, которые могут быть осуществлены в реальных исполнительных органах горных машин.

При первом способе отрывник заводится в массив через предварительно пробуренный шпур, и разрушающая нагрузка прикладывается к стенкам этого шпура. Это способ разрушения в последующем будем называть шпуровым. При другом способе отрывник заводится в предварительно прорезанную в массиве щель, к одной из поверхностей которой прикладывается разрушающая нагрузка. Такой способ разрушения назван щелевым.

Анализ состояния развития технологии и техники для разрушения горных пород отрывом показал, что одним из наиболее перспективных способов такого разрушения является способ, предусматривающий бурение сближенных параллельных шпуров и разрушение породных целиков между ними клиновым инструментом. Особенно эффективен такой способ при наличии хотя бы одной плоскости обнажения горной породы, что и предусматривается в разрабатываемой технологии.

Достоинствами данного способа является его относительная простота, использование в качестве базовых хорошо развитых технологии и техники бурения шпуров, сравнительно низкая энергоёмкость, обусловленная тем, что разрушение пресекаемого породного целика происходит путём крупного скола. Характерной особенностью данного способа является совмещение операций по бурению шпуров и разрушению нижележащей породной пачки.

Процесс разрушения межшпуровых породных целиков клиновым рабочим инструментом может быть условно разделён на две последовательные стадии, различающиеся механизмом разрушения горной породы. Первая стадия процесса разрушения реализуется при постепенном продвижении клинового инструмента вглубь шпура по штанге. При этом происходит внедрение его рабочей грани в породу, сопровождающееся контактным смятием последней в зоне взаимодействия. Рост усилия подачи клинового инструмента при этом имеет характер, близкий к линейному. Переход ко второй стадии процесса разрушения осуществляется при пиковых значениях усилия подачи, в этот момент происходит практически мгновенное отделение части целика от массива.

Важнейшей геометрической характеристикой клинового инструмента является величина угла заострения. Установлено, что надёжная реализация данного способа разрушения пород возможна при использовании клинового инструмента с рациональным значением угла



заострения $\alpha = 20-25^\circ$. Этот вывод согласуется с результатами исследований, изложенными в [4]. В этой же работе определены среднестатистические значения удельной сопротивляемости пород контактному смятию при взаимодействии с клиновым инструментом для восьми типов горных пород. После этого полученные значения были сопоставлены со значениями прочностных показателей этих пород, определёнными известными экспериментальными способами.

Результаты эксперимента показывают, что надёжная реализация указанного способа разрушения пресекаемых пород подготовительного забоя возможна только в случае обеспечения необходимой точности бурения шпуров и повышения напорных усилий клинового органа. С учётом этого разработана конструктивная схема буроклинового рабочего органа, позволяющего бурить шпуры и разрушать целик клиновым рабочим органом с определённым напорным усилием.

Эффективные технические средства для проведения подготовительных выработок по пласту угля с присечкой породы могут быть разработаны на основе буроклино – щелевого способа, предусматривающего образование в массиве угля щелевых полостей и разрушение межщелевых целиков угля, а в породном массиве сближённых шпуров и разрушение породного целика клиновым инструментом.

Процесс разрушения пресекаемого породного массива буроклиновым рабочим органом может быть условно разделён на три последовательные стадии:

- на первой стадии производится бурение шпура;
- на втором происходит внедрение рабочей грани клина в стену шпура с контактным смятием породы в зоне взаимодействия;
- на третьей стадии происходит отделение (скол) участка породного целика.

В качестве критериев сопротивляемости породы разрушению клиновым рабочим органом рекомендуется принимать:

- на второй стадии процесса разрушения – показатель контактной прочности;
- на третьей стадии – предел прочности породы на срез.

Минимальные значения нагрузок, возникающих при разрушении пресекаемой породы, соответствуют применению клинового инструмента с углом заострения $20^\circ - 25^\circ$ и скругленной формой рабочей грани.

Основным параметром схемы разрушения, оказывающим наиболее значительное влияние на показатели процесса разрушения пресекаемых пород буроклиновым рабочим органом, является расстояние между шпурами и обнажённой поверхностью породного целика, увеличение которого приводит к резкому росту усилия подачи, необходимого для разрушения.

Конструкция проходческого агрегата для проведения подготовительных выработок врубовочным способом разработана под руководством д.т.н., профессора Егошина В. В. [17]. Для выполнения врубовочного разрушения массива забоя агрегат имеет два врубовых бара по обе стороны продольной его оси на гидрофицированных манипуляторах и гидрофицированное клиновое устройство на аналогичном манипуляторе, которое располагается в районе продольной оси агрегата, что является существенным признаком предлагаемой конструкции. Все три манипулятора установлены в специальных станках на верхней части агрегата и с помощью гидродомкратов перемещаются в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Независимое и одновременное перемещение всех трех манипуляторов является существенным признаком конструкции. Несущие штоки манипуляторов могут вращаться вокруг своей оси, что позволяет располагать врубовые бары и клиновое устройство в любом положении в пространстве. С помощью червячных передач врубовые бары и клиновое устройство могут перемещаться также в вертикальной и горизонтальной плоскостях на концах несущих штоков манипуляторов независимо от их положения. Врубовые бары несут режущие цепи с кулаками, имеющими гнезда для установки режущих зубков. После разделения груди забоя с помощью врубов на ряд блоков, последние отделяются от массива путем силового введения во вруб клина, имеющего шаровое соединение со штоком устройства. Врубовая мелочь и обломленные блоки с помощью нагребавшего грузчика удаляются из забоя на перегружатель. Левый манипулятор (по отношению к продольной оси агрегата) обеспечивает производство врубов в левой половине груди забоя, одновременно правый – в правой половине. Одновременно с производством врубов



с некоторым отставанием вводится в работу клиновидный орган и далее процессы образования и обламывания блоков производятся в разных трех частях груди забоя одновременно, что является существенным признаком предлагаемой конструкции агрегата.

Разрушение врубоблочным способом целесообразно осуществлять следующим образом: левым баром производится первый вертикальный вруб (рис. 15) и далее второй, третий и другие в направлении к левому борту выработки. При производстве второго вертикального вруба левым баром правый бар производит от вертикального вруба вправо горизонтальный верхний вруб по контуру выработки до правого борта, далее второй вертикальный вруб правее левого и далее третий и другие вправо до крайнего по боковому контуру выработки.

После проведения всех вертикальных врубов обоими барами производится выемка горизонтальных врубов, начиная с нижнего по почве выработки. При переходе на выемку третьего снизу горизонтального вруба обоими барами, начинается обламывание блоков клиновым устройством между первым и вторым горизонтальными врубами, далее между вторым и третьим и далее очередных в направлении снизу вверх. После завершения выемки горизонтальных врубов в верхней части выработки, барами производят выемку вертикальных врубов в новой заходке – в нижней части выработки.

Сортность угля относится, как известно, к одному из основных показателей эффективности разрушения. Эффективность механического разрушения угольного массива врубоблочным способом во многом определяется крупностью разрушаемого массива. При разрушении врубоблочным способом основная масса мелких фракций разрушенного массива образуется при проведении врубов баровым исполнительным органом. При комбинировании разрушающего воздействия на угольный массив имеет большое значение соотношение видов воздействия: при определенном соотношении достигается максимальная эффективность комбинированного способа, превышающая простую сумму каждого из разрушающих воздействий.

Объем разрушаемого массива проведением врубов $V_в$ определяется по формуле:

$$W_в = W_{вв} + W_{вг}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где $W_{вв}$ – объем разрушаемого массива проведением вертикальных врубов, м^3 ; $W_{вг}$ – объем разрушаемого массива проведением горизонтальных врубов, м^3 .

Объем разрушаемого массива проведением вертикальных врубов определяется по формуле:

$$W_{вв} = un_{вв}kl, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где u – высота вруба; l – глубина вруба; k – высота выработки; $n_{вв}$ – число вертикальных врубов.

Объем разрушаемого массива проведением горизонтальных врубов определяется по формуле:

$$W_{вг} = un_{вг}ml, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где u – высота вруба; l – глубина вруба; $n_{вг}$ – число горизонтальных врубов; m – ширина выработки.

Объем разрушаемого массива сколом клиновидным органом $W_{ск}$ определяется по формуле:

$$W_{ск} = W_о - W_в, \text{ м}^3, \quad (5)$$

где $W_о$ – общий объем разрушаемого угольного массива; $W_в$ – объем разрушаемого массива проведением врубов.

Общий объем разрушаемого угольного массива определяется по формуле:

$$W_о = mkl, \text{ м}^3, \quad (6)$$

где m – ширина выработки; l – глубина вруба; k – высота выработки.

При разрушении врубоблочным способом основная масса мелких фракций разрушенного массива образуется при проведении врубов баровым исполнительным органом. Необходимо стремиться к снижению объема массива, разрушаемого проведением врубов $W_{вп}$, при этом параметры образуемых блоков ограничиваются транспортабельностью кусков разрушаемого массива.

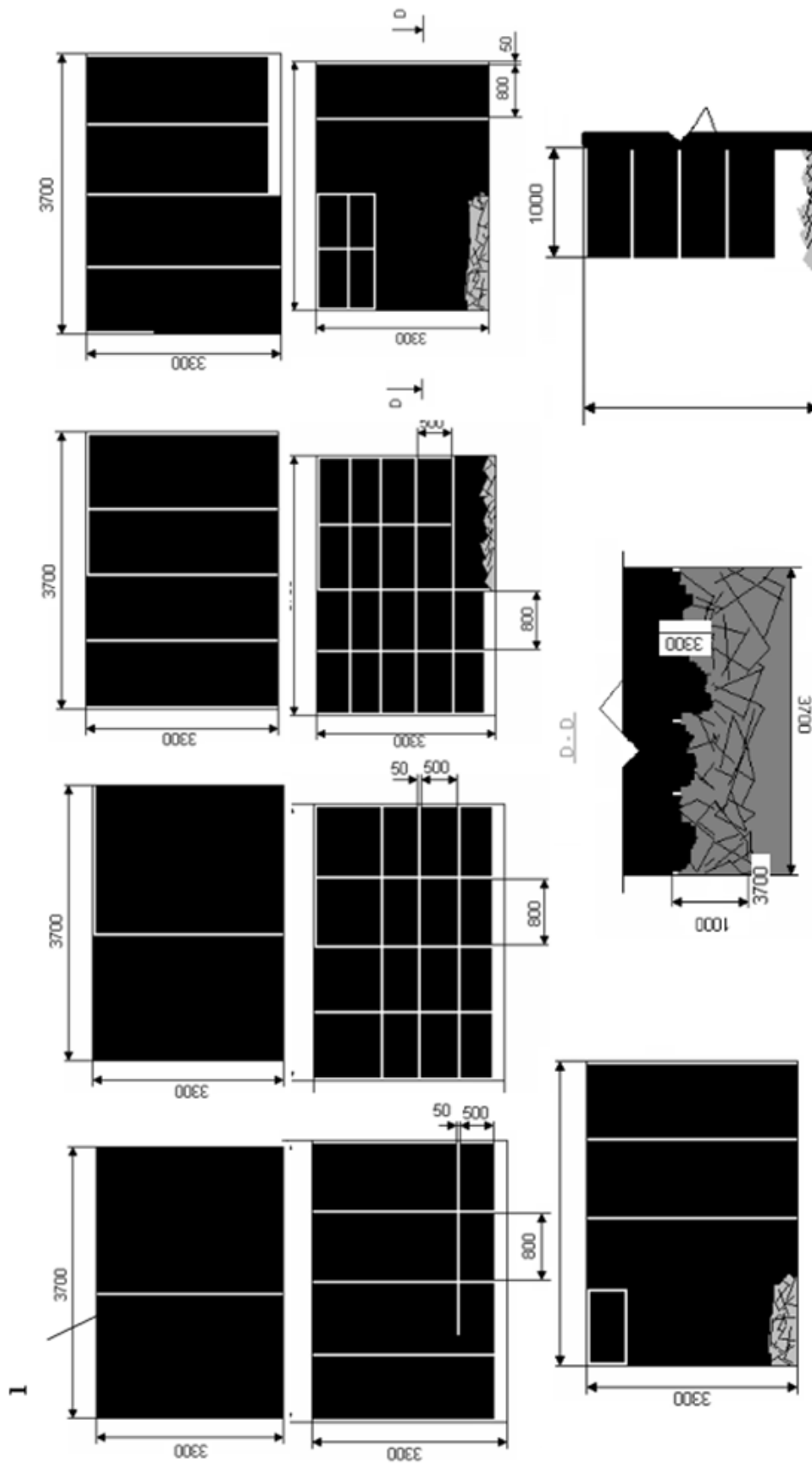


Рисунок 15 – Схема разрушения забоя врублочным способом
Figure 15 – Scheme of face fracturing by the cutting block method



Выводы и рекомендации

1. Проходческие комбайны избирательного действия являются основными техническими средствами для проходки горных выработок. Несмотря на наличие многочисленных решений по конструкциям режущих коронок, линиям резания, типам режущих зубков и повышению мощности привода режущего органа энергоёмкость механического разрушения массива горных пород при проведении подготовительных выработок проходческими комбайнами практически не снижается, при высокой запыленности воздуха забоя.

2. Анализ предлагаемых решений, направленных на повышение эффективности разрушения при проведении горных выработок показывает, что существующие средства механического способа разрушения массива пород в забое не позволяют резко повысить показатели проходки и эффективности разрушения массива, поэтому решения указанных задач возможны только путем создания принципиально новых органов и способов механического разрушения горного массива в забое.

3. Применение проходческого агрегата для строительства подземных выработок сдерживается отсутствием технологических разработок для различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Технологию проведения выработок проходческим агрегатом предлагается определять, как врубоблочную технологию.

4. Для различных горно-геологических и горнотехнических условий необходимо разработать технологические схемы проведения подземных выработок проходческим агрегатом с обоснованием параметров технологических процессов (разрушение массива горных пород, погрузка и транспортирование горной массы, возведение крепи, а также выполнению ряда вспомогательных процессов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Адамков Аркадий Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры РМПИ
e-mail: aav_75@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Дмитрак Юрий Витальевич, докт. техн. наук, проф., заведующий отделом моделирования и управления горнотехническими системами
e-mail: dmitrak@yandex.ru

Атрушкевич Виктор Аркадьевич, докт. техн. наук, проф., заведующий лабораторией геолого-структурного моделирования
e-mail: iugi@mail.ru

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, Россия, г. Москва, Крюковский тупик, 4.

Лагунова Юлия Андреевна, докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой горных машин и комплексов
e-mail: yu_lagunova@mail.ru

Уральский государственный горный университет, 620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30



Список литературы

1. Аксенов В.В. Обоснование необходимости разработки новой технологии строительства подземных выработок / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.В. Адамков, А.Н. Ермаков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №4(110). – С. 21-26.
2. Дмитрак, Ю. В. Анализ научных тенденций в исследованиях движения мелющих тел при тонком измельчении горных пород / Ю.В. Дмитрак, В.А. Атрушкевич, Л.С. Адамова // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – № 5(121). – С. 4-16. – DOI 10.56195/20793332_2022_5_4.
3. Игнатьев, А.Д. Исследование разрушения угля способом шпурового отрыва / А.Д. Игнатьев, Л.Д. Бодрунов // Разрушение углей и горных пород и их физико-механические свойства: науч. сообщ. ИГД им А.А. Скочинского. – М. – 1982. – С. 3-6.
4. Адамков, А. В. Разработка и обоснование параметров врубоблочного способа разрушения угольного массива при проведении подготовительных выработок: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Кемерово. – 2007. – 118 с.
5. Адамков, А.В. Эффективность работы проходческих комбайнов в зависимости от устройства и параметров режущего органа / А.В. Адамков, В.В. Егошин // Науч. работы студентов-магистрантов : сб науч. тр. Кузбас. гос. техн. ун-т. - 1999. - №2. С. 55-58.
6. Горные машины и оборудование подземных горных работ: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / А. А. Хорешок [и др.] // КузГТУ. – Кемерово. – 2012. – 170 с.
7. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин: учеб. пособие / А. А. Хорешок [и др.] // КузГТУ. – Кемерово. – 2012. – 288 с.
8. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин : монография / А. А. Хорешок [и др.] // Томск : Изд-во Томск. политехн. ун-та. – 2013. – 296 с.
9. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь – июнь 2022 года // Уголь. – 2022. – № 9. – С. 7-22.
10. Обзор распространенных моделей проходческого комбайна в угольной промышленности. Режим доступа: <https://arendavlg.com/kombajny/katalog-prohodcheskih-kombaynov.html>
11. Линник Ю.Н. Сравнительный анализ показателей работы при эксплуатации отечественных и зарубежных проходческих комбайнов / Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник, О.В. Байкова, А.В. Поляков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 208–215. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-208-215.
12. Проходческий комбайн КП 21: технические характеристики. Система электрогидравлического управления СЭУ «КП21 М2Д. Китайские проходческие комбайны Режим доступа: <https://zikov.ru/the-purchase-of-apartments/prohodcheskii-kombain-kp-21-tehnicheskie-harakteristiki-sistema.html>
13. Хорешок А.А. Горные машины и оборудование : учеб. пособие / А.А. Хорешок, А.В. Адамков, Т.А. Ишмаева // КузГТУ. – Кемерово. – 2014. – 252 с.
14. Сафохин М.С. Горные машины и оборудование / М.С. Сафохин, Б.А. Александров, В.И. Нестеров // М.: Недра. – 1995. – 463 с.
15. Горные машины и комплексы: Учебное пособие для курсового проектирования / А. А. Хорешок, А. М. Цехин, Л. Е. Маметьев, Г.Д. Буялич, А. Ю. Борисов, Ю. В. Дрозденко // КузГТУ. – Кемерово. – 2018. – 156 с.
16. Горные машины и комплексы. Режущий инструмент горных машин : учеб. пособие / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов, К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков // КузГТУ. – Кемерово. – 2018. – 286 с.
17. Патент RU №2209979 С1, кл. 7 E21 D9/10, E21 C27/16. Проходческий агрегат / В.В. Егошин, А.В.Адамков – Оpubл. 10.08.2003, Бюл. № 22.
18. Кравцов, А. А. Опыт применения подземной гидравлической добычи угля в СССР и России / А. А. Кравцов, Ю. В. Дмитрак, В. А. Атрушкевич // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 3(125). – С. 18-23. – DOI 10.56195/20793332_2023_3_18_23.



ANALYSIS, EVALUATION AND SELECTION OF RATIONAL TECHNOLOGICAL OPTIONS OF ROCK MASS FRACTURING DURING WORKINGS DEVELOPMENT AT COAL MINES

Arkady V. Adamkov¹, Yury V. Dmitrak², Victor A. Atrushkevich², Yuliya A. Lagunova³

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²Institute of Complex Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences

³Ural State Mining University



Article info

Received:

30 July 2024

Revised:

18 September 2024

Accepted:

23 September 2024

Keywords: mechanical fracturing, energy consumption of fracturing, dust formation, directions of improvement, combined method of rock mass fracturing, underground geotechnology

Abstract.

Domestic engineering practice defines the main direction of technical development of mining as complex mechanization in underground mining of mineral deposits, the basis of which is the technological process of fracturing of rock massif by combines. Due to the essential heterogeneity of the rock massif, its fracturing should be considered as a random process. In general case the structure of the fracture process (cutting of coal by a single tool) can be represented by a random sequence of elementary spalls, the stationarity of which occurrence is broken by the appearance of the areas of the leading edge and the areas of cutting through hard inclusions. The process of cutting coal is characterized by the occurrence of elementary chips of various shapes. According to a large number of oscillograms of coal cutting it is established that there is practically no connection between the parameters of neighboring spalls, and the appearance of advanced spalls and their duration are not related to the parameters of the preceding spalls. At the same time, it is shown that there is a mutual relationship between the parameters of a given spall, the laws of distribution of which are described by the gamma distribution. This article considers the mechanical destruction of the coal seam during preparation workings. The analysis and evaluation of works aimed at improving the mechanical method of destruction in the faces of preparatory workings are carried out, disadvantages inherent in the mechanical method of coal destruction in the preparatory face are given. The analysis and evaluation of works aimed at improving the mechanical method of fracturing in the faces of preparatory mine workings are performed, the disadvantages inherent in the mechanical method of coal fracturing in the preparatory face are given. The technological variant of coal seam fracturing by the method of «coarse chipping» in the preparatory workings is offered.

For citation Adamkov A.V., Dmitrak Yu.V., Atrushkevich V.A., Lagunova Yu.A. Analysis, evaluation and selection of rational technological options of rock mass fracturing during workings development at coal mines. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2024;3(26):79-98. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-3-79-98, EDN: XLPWTW

References

1. Aksenov, V.V. Justification of the necessity to develop a new technology for the construction of underground mine workings / V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, A.V. Adamkov, A.N. Ermakov // *Bulletin of Kuzbass State Technical University*. 2015;4(110):21-26. [In Russ.].
2. Analysis of scientific trends in the research of the movement of grinding bodies at fine grinding of rocks / Y.V. Dmitrak, V.A. Atrushkevich, L.S. Adamova // *Surveying and Subsoil Use*. 2022;5(121):4-16 [In Russ.].
3. Ignatyev, A.D. Investigation of coal destruction by means of borehole detachment / A.D. Ignatyev, L.D. Bodrunov // *Destruction of coals and rocks and their physical and mechanical properties: scientific report of the A.A. Skochinsky Institute of Geology and Geophysics*. – M. – 1982. – Pp. 3-6. [In Russ.].
4. Adamkov, A. V. Development and substantiation of the parameters of the coal mass destruction method of the preparation excavations: PhD Disserttation: 25.00.22 / Kemerovo. – 2007. – 118 p. [In Russ.].



5. Adamkov, A.V. Efficiency of the roadheader operation depending on the device and parameters of the cutting body / A.V. Adamkov, V.V. Egoshin // Research work of students. Egoshin // Scientific works of master students : a collection of scientific articles / Kuzbass State Technical University. – 1999. – №2. P. 55-58. [In Russ.].
6. Mining machines and equipment of underground mining operations: Manual for course and diploma design / A. A. Khoreshok [et al.] // KuzSTU. - Kemerovo. – 2012. – 170 P. [In Russ.].
7. Mining machines and equipment of underground mining operations. Cutting tools of mining machines: textbook / A. A. Khoreshok [et al.] // KuzSTU. – Kemerovo. – 2012. – 288 P. [In Russ.].
8. Production and operation of destructive tools for mining machines : a monograph / A. A. Khoreshok [et al.] // Tomsk : TPU Publishing House. – 2013. – 296 P. [In Russ.].
9. Petrenko I.E. Russia's coal industry performance for January - June 2022. *Ugol'*, 2022;(9):7-22. [In Russ.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-9-7-22>.
10. Review of common models of roadheader in the coal industry. Access mode: <https://arendavlg.com/kombajny/katalog-prohodcheskih-kombaynov.html>. [In Russ.].
11. Linnik, Yu.N. Comparative analysis of performance indicators in the operation of domestic and foreign roadheaders / Yu.N. Linnik, V.Y. Linnik, O.V. Baikova, A.V. Polyakov // *Mining information and analytical bulletin*. 2019;11:208-215. [In Russ.]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-208-215.
12. KP 21 roadheader: technical characteristics. The system of electrohydraulic control of the KP21 M2D. Chinese roadheaders. Mode of access: <https://zikov.ru/the-purchase-of-apartments/prohodcheskii-kombain-kp-21-tehnicheskie-harakteristiki-sistema.html>.
13. Khoreshok, A.A. Mining machines and equipment : textbook / A.A. Khoreshok, A.V. Adamkov, T.A. Ishmaeva // KuzSTU. – Kemerovo. – 2014. – 252 P. [In Russ.].
14. Safokhin, M.S. Mining machines and equipment / M.S. Safokhin, B.A. Alexandrov, V.I. Nesterov // M.: Nedra. – 1995. – 463 P. [In Russ.].
15. Mining machines and complexes: Textbook for course design / A.A. Khoreshok, A.M. Tsekhin, L.E. Mametyev, G.D. Buyalich, A. Yu. Borisov // Kemerovo. – 2018. – 156 P. [In Russ.].
16. Mining machines and complexes. Cutting tools of mining machines : textbook / A.A. Khoreshok, L.E. Mametyev, A.M. Tsekhin, A.Y. Borisov, K.A. Ananyev, A.N. Ermakov // KuzSTU. – Kemerovo. – 2018. – 286 P. [In Russ.].
17. Patent RU №2209979 C1, cl. 7 E21 D9/10, E21 C27/16. Tunneling machine / V.V. Egoshin, A.V. Adamkov // Published 10.08.2003, Bulletin No. 22. [In Russ.].
18. Experience of underground hydraulic mining in USSR and Russia / A.A. Kravtsov, Y.V. Dmitrak, V.A. Atrushkevich // *Surveying and Subsoil Use*. 2023;3(125):18-23 [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Arkady V. Adamkov – Ph.D., associated professor of Underground Mining Department

e-mail: aav_75@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennyaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Yury V. Dmitrak – Dr.Sc. (Tech.), Professor, Head of the Department of Modeling and Control of Mining Engineering Systems

e-mail: dmitrak@yandex.ru

Victor A. Atrushkevich – Dr.Sc. (Tech.), Professor, Head of the Laboratory of Geological and Structural Modeling

e-mail: iugi@mail.ru

Institute of Complex Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, 4 Kryukovsky tupik, Moscow, 111020, Russian Federation

Yuliya A. Lagunova – Dr.Sc. (Tech.), Professor, Head of the Department of Mining Machines and Complexes

e-mail: yu_lagunova@mail.ru

Ural State Mining University, 30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation