

УДК 662.062

**КОМБАЙНЫ ПРОХОДЧЕСКИЕ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫЕ
НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ И УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ****С.С. МУРАВЬЕВ, канд. техн. наук, доц. Е.М. НАЙДЕНЬШЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Добывающая промышленность Беларуси сосредоточена на Полесье – территории, включающей большую часть Брестской и Гомельской областей и три южных района Минской области. Развивается здесь и машиностроение для добывающей и горнодобывающей промышленности.

Эта новая для республики отрасль машиностроения не только обеспечивает основным и вспомогательным оборудованием важную отрасль народного хозяйства, но и вносит определенный вклад в экономику страны, поставляя свою продукцию в страны ближнего и дальнего зарубежья (Россию, Казахстан, Германию, Чехословакию).

В работе определяется приоритетное направление научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области повышения эффективности использования проходческих комбайнов.

Приведены общие принципы устройства и работы и краткие технические характеристики современных проходческих комбайнов, используемых в горнодобывающей промышленности.

Введение. Проходка подземных горных выработок и сооружений в породах средней и высокой крепости в течение длительного периода осуществлялась преимущественно буровзрывным способом, который является наиболее универсальным и распространенным.

Применение новой техники для бурения шпуров и погрузки отбитой породы, а также совершенствование технологии буровзрывных работ значительно повысили технические возможности этого способа, которому, однако, присущ ряд существенных недостатков, главный из которых заключается в прерывистости проходческого цикла, возникающей вследствие того, что отдельные операции невозможно производить одновременно. Этому недостатка лишен комбайновый способ, позволяющий осуществлять проходку выработок непрерывно.

Во многих странах мира с высокоразвитой горной промышленностью в течение многих лет ведутся работы по созданию и промышленному применению машин для проходки выработок в породах средней и высокой крепости. Необходимость создания таких машин обусловлена непрерывным ростом объема проходческих работ и повышением скорости проходки горных выработок. Попытки применить комбайны для разрушения крепких пород наталкивались на серьезные трудности. С одной стороны, исполнительные органы этих машин не имели достаточно мощного привода и не могли поэтому создавать на забое усилия, необходимые для эффективного разрушения породы, а с другой – они были оснащены инструментом, неспособным воспринимать требуемые нагрузки.

В дальнейшем интенсивные исследования процесса разрушения пород опытными исполнительными органами, проводившиеся в ряде стран, привели к тому, что за последние годы положение существенно изменилось.

Этот прогресс стал возможным прежде всего вследствие значительного увеличения энергооборуженности инструмента (мощность привода исполнительного органа, приходящаяся на один инструмент), создания на забое напорных усилий, достаточных для разрушения пород высокой крепости, появления сверхпрочных сталей и твердых сплавов, способных выдерживать высокие нагрузки, и др.

Наибольшее распространение получили комбайны с исполнительными органами бурового типа, обрабатывающие забой сразу по всему сечению выработки. Созданы и применяются в промышленности машины, предназначенные для проходки выработок диаметром 1,82...11,2 м², причем исполнительные органы некоторых из них способны эффективно разрушать породы с $\sigma_{сж} = 150...200$ МПа.

Основные конструктивные особенности породопроходческих комбайнов, их силовые и энергетические параметры, габариты, вес, и следовательно стоимость, определяются прежде всего двумя основными факторами:

- горно-геологическими условиями и свойствами горных пород;
- назначением горной выработки (форма и размеры сечения, угол подъема или наклона, криволинейность выработки).

Классификация и анализ современных комбайнов. Существующие конструкции современных комбайнов с исполнительными органами бурового типа могут быть классифицированы по следующим признакам:

- способу воздействия породоразрушающего инструмента на забой;
- типу породоразрушающего инструмента;
- способу создания требуемых усилий напора на забое;

- способу погрузки породы из забоя;
- способу транспортирования породы в пределах комбайна;
- типу привода исполнительного органа;
- форме проводимой выработки.

Применяются два основных способа воздействия инструмента на забой. Первый заключается в том, что инструмент производит разрушение «в лоб» забоя. При этом большая часть инструмента располагается перпендикулярно поверхности забоя, только инструмент для образования контура, формирующий стенки выработки, расположен по отношению к забою под углом. Инструмент подается лишь в сторону забоя. Порода разрушается главным образом от сжимающих усилий, поэтому для эффективной отбойки должны создаваться большие усилия напора.

Чтобы уменьшить необходимую величину усилия подачи и крутящего момента в некоторых машинах, применена ступенчатая схема обработки забоя, при которой первоначально проходится опережающий вруб, а затем он расширяется до полного сечения выработки.

Применяются пять основных типов инструмента: стержневые, жестко закрепляемые резцы; резцы, установленные на фрезерных дисках; дисковые клиновые ролики; шарошки; многолезвийные шарошки. Эти основные типы инструмента имеют различные модификации и значительно отличаются друг от друга по габаритам, геометрии и конфигурации.

Стержневые резцы применяются при щелевой схеме разрушения, когда на поверхности забоя ими нарезаются концентрически расположенные канавки, а остающиеся целички скалываются дисковыми клиновыми роликами. Из опыта эксплуатации установлено, что стержневые резцы в щелевой схеме разрушения могут применяться только на слабых породах типа глинистых сланцев и мергелей.

Дисковые клиновые ролики в силу своей конструкции позволяют создавать на забое большие усилия подачи по сравнению со стержневыми резцами. Другое их преимущество состоит в том, что длина режущей кромки во много раз превышает величину площадки, по которой инструмент контактирует с породой, благодаря чему ролик имеет более длительный срок службы. Большое значение имеет также то, что выход мелких фракций разрушенной породы при работе роликов значительно меньше, чем у стержневых резцов, работающих по такой же схеме. К недостаткам дисковых клиновых роликов следует отнести довольно высокую их стоимость, громоздкость и большой вес. Наличие трущихся поверхностей предъявляет высокие требования к системе пылезащиты.

Шарошки применяются в большинстве зарубежных конструкций в качестве забурника, однако ряд фирм оснащают исполнительные органы целиком шарошечным инструментом. Шарошки изготавливаются из высоколегированных сталей или с зубьями, армированными пластинами твердого сплава. В других конструкциях в корпус шарошки запрессовываются твердосплавные штыри конусной, долотчатой или сферической формы. В отличие от стержневых резцов, которые во время работы скользят по забою, зубчатые шарошки перекатываются по нему, в основном, без скольжения. Это обстоятельство особенно важно при разрушении крепких абразивных пород. Шарошки имеют преимущества по сравнению с резцами и на неабразивных, но крепких породах, поэтому комбайны, оснащенные шарошками, имеют более широкую область применения – они в меньшей степени зависят от изменения свойств пород. С другой стороны, для достижения высоких скоростей проходки шарошки требуют больших напорных усилий на забой, надежной пылезащиты и усиленных опор. Это приводит к утяжелению машин и снижению их маневренности.

Конструктивно зубчатые шарошки выполняются как с продольным, так и с поперечным расположением зубьев. Сравнительно недавно начали применять многолезвийные шарошки, которые можно рассматривать как комбинацию дисковых клиновых роликов и шарошек.

Для создания требуемого усилия напора на забой применяется четыре способа: раскрепление распорной балки комбайна в стенки выработки; подача гусеничным ходом машины; отталкивание гидродомкратами подвижной части машины от крепи; самоподтягивание с применением специальной конструкции анкерного устройства, раскрепляемого в передовой скважине.

Наибольшее распространение получила система распора в стенки выработки. Во время работы исполнительный орган с помощью гидродомкратов подается в сторону забоя на величину хода домкратов. Гидродомкраты шарнирно связаны с распорным устройством, которое остается неподвижным, будучи расперто гидродомкратами в стенки выработки. После продвижения машины на величину хода гидродомкратов распор снимается, распорное устройство подается вперед на величину заходки и раскрепляется в новом месте. По такому принципу работают большинство комбайнов.

Принцип отталкивания гидродомкратами от крепи использовался при проходке в сравнительно слабых породах.

Отбитая порода из призабойного пространства убирается ковшами, скребками с ковшами и скребковыми конвейерами. Ковши располагаются по периферии исполнительного органа и при вращении его в верхнем положении разгружаются в стационарный бункер.

Транспортировка породы в пределах комбайна производится ленточными или скребковыми конвейерами, причем наибольшее применение получили ленточные.

Исполнительные органы приводятся главным образом электродвигателями переменного трехфазного тока. Иногда электродвигатели выполняются многоскоростными, что позволяет изменять скорость вращения при изменении состава и крепости пересекаемых пород.

Все породопроходческие комбайны имеют роторные исполнительные органы, ведут выемку породы сразу на полное сечение выработки. Обычно все комбайны дают круглую форму выработки.

Для регулирования направления движения машины в горизонтальной и вертикальной плоскостях применяются средства механического управления (гидродомкраты), располагаемые в непосредственной близости от исполнительного органа. Направление движения комбайна в выработке в ряде случаев контролируется лазерными устройствами. Использование луча лазера дает возможность непрерывно направлять движение и обеспечивает точную ориентацию машины как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

Для создания благоприятных условий труда людей, обслуживающих комбайны, некоторые фирмы начали применять кабины с установками кондиционирования воздуха.

Проходческий комбайн 1ПКС (рис. 1) предназначен для механизации отбойки и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок по углю, углю с присечкой породы с пределом прочности при одноосном сжатии до 70 МПа и показателем абразивности до 15 мг по Л.И. Барону и А.В. Кузнецову в забоях опасных по газу и пыли.

Комбайн может проходить выработки прямоугольной, трапециевидной или арочной формы с размерами от 2,1 до 4,05 м по высоте и от 2,6 до 4,7 м по ширине нижнего основания.

Комбайны проходческие 1ПКЗР (рис. 2) предназначены для отбойки и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных (от 0 до плюс 10° и от 0 до минус 10°) горных выработок по углю, $\sigma_{сж} = 60$ МПа, по углю с присечкой породы с пределом прочности при одноосном сжатии и показателем абразивности до 12 мг по Л.И. Барону и А.В. Кузнецову.

Применение комбайнов в шахтах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, запрещается.

Комбайны могут проходить выработки прямоугольной, трапециевидной или арочной формы размерами 2,1...3,2 м по высоте и 2,8...4,05 м по ширине нижнего основания, площадью сечения от 5,3 до 12 м².

Комбайны 1ПКЗР изготавливаются в климатическом исполнении У – для районов с умеренным климатом категории размещения 5 по ГОСТ 15150.

Комбайн проходческий КП21 (рис. 3) предназначен для механизации отбойки и погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных ($\pm 18^\circ$) горных выработок.

Комбайн может проходить выработки арочной, трапециевидной и прямоугольной форм сечения с площадью от 10 до 28 м², 100 МПа (7 ед. по шкале М.М. Протодьяконова) и показателем абразивности до 15 мг по Л.И. Барону и А.В. Кузнецову.

Комбайн проходческо-очистной «Урал-10А» (рис. 4) предназначен для применения на очистных работах в камерах и проходки выработок овально-арочной формы по пластам калийных руд мощностью 2,2...2,6 м/с сопротивляемостью пород резанию до $A_p = 450$ Н/м, при углах падения $\pm 12^\circ$. Комбайн предназначен для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом и выпускается в соответствии ГОСТ 15150-69 в исполнении У категории 5 для диапазонов температур окружающей среды от +5 до +35 °С; применяется для проведения выработок площадью сечения 8,3; 9,4; 10,5 м², на напряжение 660 В с частотой тока 50 Гц.

Проходческо-очистной комбайн «Урал-20А» (рис. 5) предназначен для применения на очистных работах в камерах и проходки выработок овально-арочной формы по пластам калийных руд мощностью 3,1...3,7 м при углах падения до $\pm 12^\circ$ с сопротивляемостью пород резанию до $A_p = 450$ Н/мм.

Комбайн предназначен для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом и выпускается в соответствии с ГОСТ 15150 в исполнении У категории 5 для диапазонов температур окружающей среды от плюс 5 до плюс 35 °С. Комбайн выпускается в трех исполнениях для выработок сечением 15,3; 17,9; 20,2 м², высотой 3,1; 3,4; 3,7 м.

Проходческо-очистной комбайн «Урал-61» (рис. 6) предназначен для проходки подготовительных выработок арочной формы и очистной выемки при камерной системе разработки калийных месторождений на пластах с углом наклона до +12°, а также разделки камер разворота и расширения проводимых выработок. Предназначен для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом и выпускается в соответствии с ГОСТ 15150-69 в исполнении У категории 5 для диапазонов температур окружающей среды от +5 до +35 °С.

На калийных рудниках Беларуси широко используются комбайны проходческие ПК-8М (рис. 7), предназначенные для проходки горных выработок при подготовительных работах и для разделки камер при очистных работах с камерной системой разработки. Областью применения комбайна являются подготовительные и очистные выработки калийных рудников, в которых возможно образование взрывоопасной

газовой смеси 1 категории группы Т1 (метан) в соответствии с ГОСТ 12.1.011-78, в том числе выработки, проходимые по пластам, опасным по газодинамическим явлениям. Комбайн может применяться при расширении пройденной выработки; изготавливается в климатическом исполнении У (макроклиматический район с умеренным климатом) для категории размещения 5 (в шахте) согласно ГОСТ 15150-69 (серийно опытным производством Солигорского института проблем ресурсосбережения). Комбайн является составной частью проходческо-очистного комплекса, включающего также самоходный вагон типа 5ВС-15М и бункер-перегрузатель БП-14. Размеры выработки: площадь сечения $8 \pm 0,1 \text{ м}^2$; высота $3 \pm 0,1 \text{ м}$; ширина $3 \pm 0,1 \text{ м}$; форма сечения выработки – арочная; угол наклона выработки до ± 15 град.



Рис. 1. Комбайн проходческий ГПКС



Рис. 2. Комбайн проходческий ГПКЗР



Рис. 3. Комбайн проходческий КП21

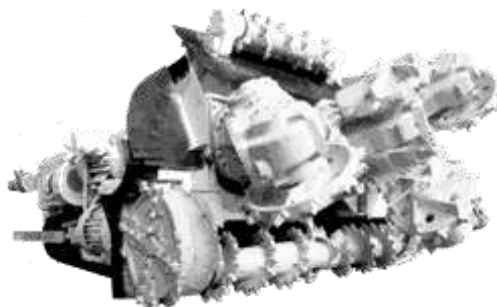


Рис. 4. Комбайн проходческо-очистной Урал-10А

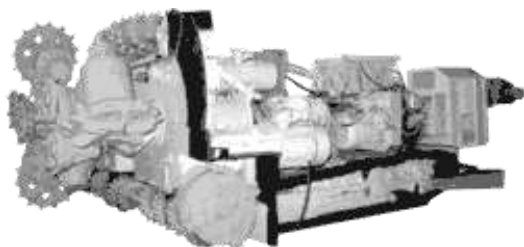


Рис. 5. Комбайн проходческо-очистной Урал-20А



Рис. 6. Комбайн проходческо-очистной Урал-61

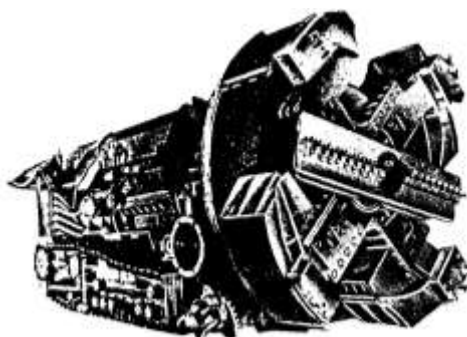


Рис. 7. Комбайн проходческий ПК-8М

Исследование эффективности процесса породоразрушения. Производительность проходческих комбайнов определяется объемом породы, пройденной в единицу времени; при тех же технических характеристиках машины – скоростью рабочего хода. Большинство способов повышения производительности связано с увеличением энергоёмкости процесса проходки. Резервом повышения производительности с одновременным снижением энергоёмкости процесса является применение рациональных методов

разрушения породы. Разработка, исследование, опытно-конструкторские разработки в этой области – перспективное научно-техническое направление развития горного машиностроения Беларуси.

В рабочих условиях одного из рудников Белкаля были проведены исследования влияния конструкции рабочих органов комбайна ПК-8М (рис. 8) на параметры процесса разрушения породы и его результаты.

Энергоемкость процесса и его силовая напряженность определялись прямым измерением энергозатрат в процессе эксперимента.

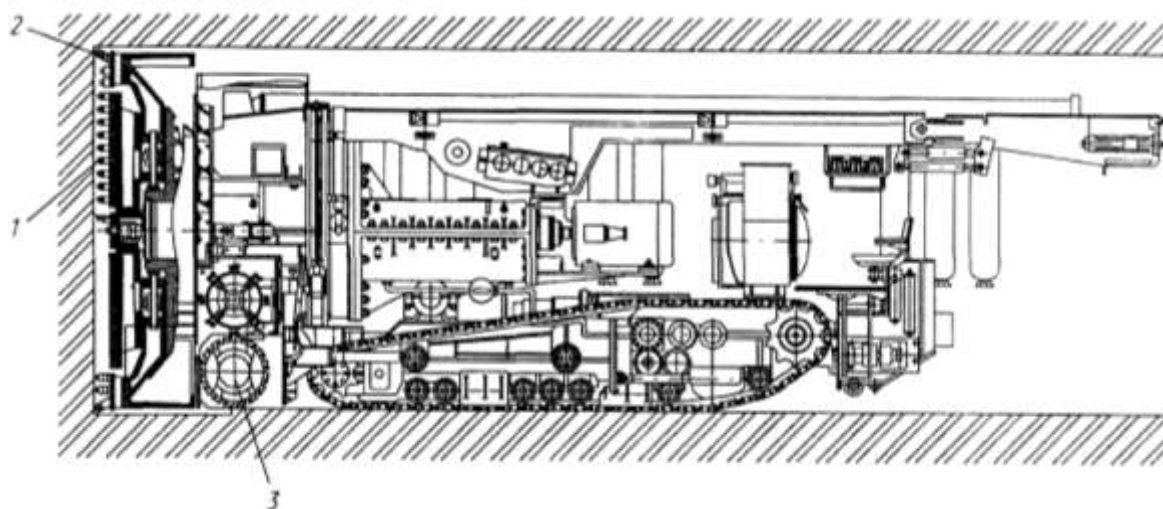


Рис. 8. Рабочие органы комбайна ПК 8М

Современная конструкция режущего органа комбайна ПК-8М состоит из двух планшайб 1 и 2, вращающихся в разные стороны, чем достигается уравнивание реактивного момента. На планшайбах установлены 30 резцедержателей, расстояние между которыми не превышает 45 мм. В резцедержателях закреплены резцы РКС. Этим способом пробуривается центральная круглая часть сечения выработки. Бермовые фрезы и отрезные барабаны 3 придают сечению выработки арочную форму. Таким образом, производится обработка по всей поверхности забоя.

При данном виде обработки полученная масса состоит из мелких фракций, что для дальнейшей её переработки является не совсем удачным вариантом. Также негативным фактором при обработке забоя таким способом является повышенное пылеобразование в области резания, из-за чего приходится разрабатывать дополнительные меры по снижению содержания пыли в зоне работы до санитарных норм.

Исследуемая конструкция режущего органа отличается тем, что на исполнительный орган устанавливаются резцы, которые имеют больший вылет и расположены на планшайбах на большем расстоянии. При обработке они прорезают в поверхности забоя концентрические щели. Оставшиеся целики между щелями разрушаются специальными скальвателями, расположенными на лучах.

Силы, действующие на резец, и удельные энергозатраты на процесс разрушения зависят от числа и взаимного расположения поверхностей обнажения разрушаемого массива. При работе резцы образуют в горной породе бороздки, размеры и взаимное расположение которых определяются глубиной резания h , шириной бороздки у основания, равной ширине резца b , и расстоянием t между центрами или одноименными точками соседних бороздок (рис. 9).

При изменении расстояния t в случае $h = \text{const}$ сила резания растет медленнее изменяемого параметра и достигает своего максимума в области заблокированных резцов. Далее, при увеличении шага резания, условия работы резцов не изменяются (блокированное резание) и усилия резания для каждого значения $h = \text{const}$ стабилизируются. Блокированное резание (резание с выровненной поверхностью) считается эталонным. Силы резания в этом случае принимаются за 100 %, с ними сравниваются силы при других типах резцов.

Из графиков $E(t)$ (рис. 10) следует, что с ростом глубины резания h удельные энергозатраты E снижаются, а с ростом шага резания t при $h = \text{const}$ они сначала также снижаются, достигая своего минимума для каждого значения глубины резания h , а затем снова возрастают и стабилизируются в области заблокированных резцов.

Значение шага резания, для которого энергозатраты на процессе разрушения имеют минимальное значение, называется оптимальным шагом резания $t_{\text{оп}}$.

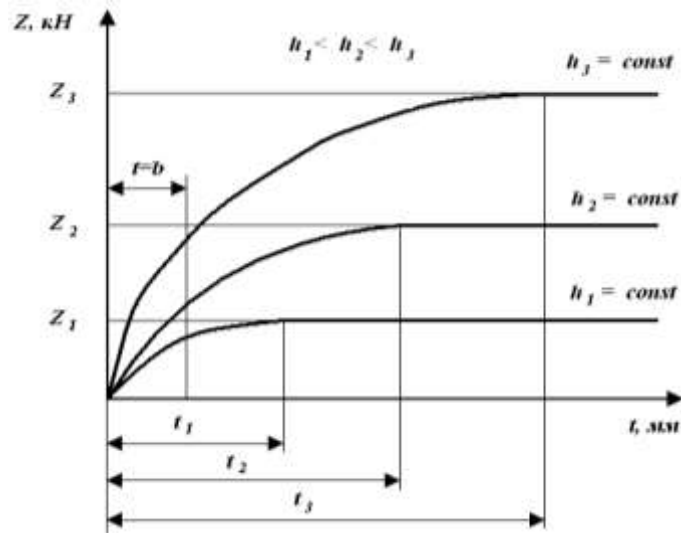


Рис. 9. Зависимость усилий резания от глубины резания, шага резцов и ширины режущей кромки

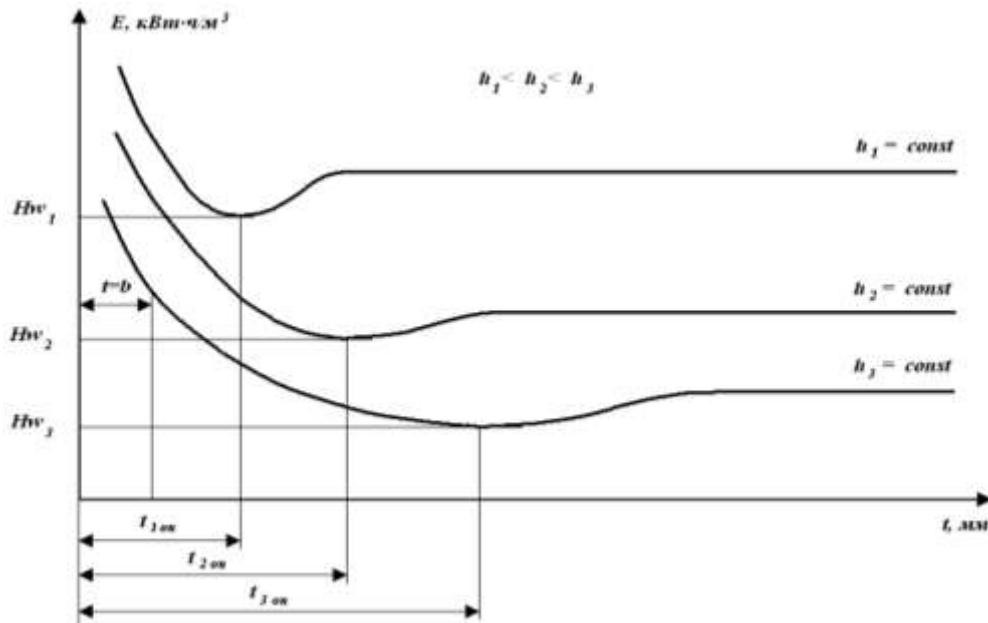


Рис. 10. Влияние конструкции рабочего органа и режима работы на удельную энергоёмкость процесса

Заключение. Проведенные исследования показали, что оптимизация режимов работы и конструкции рабочих органов комбайна позволяет повысить эффективность процесса разрушения горных пород в недостаточном широком пределе. Резервом повышения производительности с одновременным снижением энергоёмкости процесса является применение рациональных методов разрушения породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптев, А.Г. Перспективы развития горной промышленности на базе технического перевооружения шахт / А.Г. Лаптев // Уголь Украины. – 2002. – № 23. – С. 10 – 14.
2. Красников, Ю.Д. Горные машины / Ю.Д. Красников, В.Я. Прушак, В.Я. Щерба. – Минск: Выш. шк., 2003. – 148 с.
3. Малевич, Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы / Н.А. Малевич. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
4. Матуше, Т. Проходка горизонтальных выработок арочного сечения с одновременным анкерованием / Т. Матуше, Т. Штратманн // Глюкауф. – 2002. – № 2. – С. 7 – 13.
5. Harvey, D. Old principle: new concept / D. Harvey // CIM Bulletin. – 1985. – Vol. 78, № 877. – P. 53 – 57.

Поступила 05.06.2007