

## РАЗРАБОТКА МАЛОМОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МАЛОЗАХВАТНЫМИ ВЫЕМОЧНЫМИ АГРЕГАТАМИ ТИПА ВСА \*

*Ю.В. Дмитрак, А.Н. Картавий, Н.Г. Картавий, В.А. Серов, А.Ю. Дмитрак, Московский государственный горный университет, Россия*

Приведены сведения о малозахватной выемке твердых полезных ископаемых из маломощных пластов с помощью добычного виброагрегата типа ВСА

Стремление добывать конкурентный по цене и качеству уголь на мировом рынке и внутри РФ в последние два десятилетия обусловило преимущественную разработку «высокотехнологичных» угольных запасов [1] из пластов мощностью 2,0...5,0 м и углом падения менее 18°. При этом по данным работы [2] только в пластах с вынимаемой мощностью 0,9... 1,5 м остаются нетронутыми до 48 % всех промышленных запасов действующих шахт, при строительстве которых вложены значительные капитальные затраты и на эти запасы. Причем, в указанных пластах сосредоточены высококачественные угли остродефицитных марок А, К, Ж, Г и значительная часть их относится по принятой классификации к технологичным.

В соответствии с отмеченным выше направлением развития угледобычи и требованиям производителей к угледобывающим комплексам увеличения, производительности и их надежности зарубежными фирмами были созданы для выемки «высокотехнологичных» угольных пластов мощные угольные комбайны, которые стали основными выемочными агрегатами при подземной добыче угля. При этом вне поля зрения машиностроителей осталась техника для выемки маломощных пластов (вынимаемая мощность 2,0 м и менее).

Обобщая направление создания и развития выемочных горных машин за рубежом и в РФ, можно отметить в последние десятилетия четкую тенденцию многократного увеличения мощности их приводов и снятия ограничений в области их применения по сопротивляемости резанию разрабатываемых угольных пластов и возможной максимальной производительности. Зарубежные угледобывающие выемочные комбайны (например, 4LS-20, KGS-445, KGS-750) оборудуются электрическими приводами мощностью до 700...835 кВт [3]. Такие мощности позволяют не обращать особого внимания на сопротивляемость полезного ископаемого и породы резанию и разрушать эффективно даже самые прочные прослойки горных пород в угольных пластах. Это удобно для эксплуатационников. Вместе с тем, при отмеченной тенденции совершенствования выемочной техники получены негативные результаты:

1. Для обеспечения передачи больших мощностей при достаточной надежности машин выросли массы приводов рабочих органов (РО) и самих РО. В связи с этим в целом существенно возросли массивность и габариты выемочных агрегатов и комплексов добычного оборудования. Применение массивных (массой до 45 т) и крупногабаритных выемочных комбайнов стало возможным только при достаточной вынимаемой мощности, что привело к отсутствию новых разработок по высокопроизводительным комбайнам для маломощных угольных пластов. Единственным средством выемки для таких пластов остаются угольные струги с их существенными недостатками и, на наш взгляд, отсутствием перспективы кардинального совершенствования струговых установок.

2. Существенным недостатком отмеченной тенденции развития комбайнов являются их режимные параметры: скорости резания и подачи, а также величина захвата РО (0,63...1.1 м). Увеличенные подачи до 5 м/мин и более не являются решением задачи достижения требуемой по условиям конкуренции производительности выемочных комбайнов и механизированных комплексов, эксплуатируемых в маломощных угольных пластах. Сохранение на прежнем уровне ширины захвата и скорости резания привело к чрезмерной массивности и большим габаритам существующих выемочных агрегатов, комбайнов и комплексов при требовании высокой их производительности. Это следует признать существенным недостатком современных комбайнов для выемки угля.

3. Недостатком современных шнековых угольных комбайнов для угольных шахт и ком-

байнов для открытых горных работ типа «Виртген» являются их РО, осуществляющие разрушение забоя сплошным его резанием, что требует повышенных энергозатрат на разрушение забоя, например, по сравнению с известным щелевым способом.

Совмещение шнековым РО двух функций: разрушения полезного ископаемого и его загрузки на конвейер, у комбайнов для подземной выемки угля часто становится ограничивающим фактором их производительности, а также приводит к дополнительному измельчению и ухудшению сортности добываемого полезного ископаемого.

Наращивание энерговооруженности современных выемочных комбайнов, сопровождавшееся ростом перемещаемых вдоль забоя их масс и габаритов, привело также к росту инерционных сил и динамической нагруженности РО, элементов и узлов их приводов.

Указанные выше недостатки комбайнов отразились в конечном итоге на стоимости, затратах на обслуживание комбайнов и на технико-экономических показателях комплексов, оборудованных этими комбайнами. Негативными последствиями отмеченной тенденции мирового развития в создании выемочной техники для угольных шахт РФ являются: снижение эффективности использования недр и повышенный вред природной среде.

Нами предложено разрабатываемое в рамках проекта НИР (государственный контракт № 16.515.11.5047) иное более эффективное, во всяком случае, для маломощных пластов направление развития выемочной техники – создание для добычных комплексов высокоскоростного выемочного агрегата (ВСА), отличающегося в сравнении с существующими комбайнами, во-первых, многократно увеличенными режимными параметрами: скоростью подачи до 30 м/мин и скоростью резания до 10 м/с при оптимальном их соотношении, во-вторых, комбинированным РО щелевого типа с вибрационным воздействием его режущего инструмента на разрушаемую породу и, в-третьих, величиной захвата 0,3 м.

Инновационная идея создания ВСА также заключается в использовании в его конструктивной схеме преимуществ и в устранении недостатков струговой и комбайновой выемки полезных ископаемых. Комбинированный РО прорезает вдоль забоя опережающую щель с последующим взламыванием образуемых щелью породных целиков (рис. 1).

При этом за счет проявления отжима горных пород в призабойной зоне пласта и выбранного комбинированного способа разрушения снижается удельная энергоемкость и улучшаются другие показатели работы механизированных выемочных комплексов.

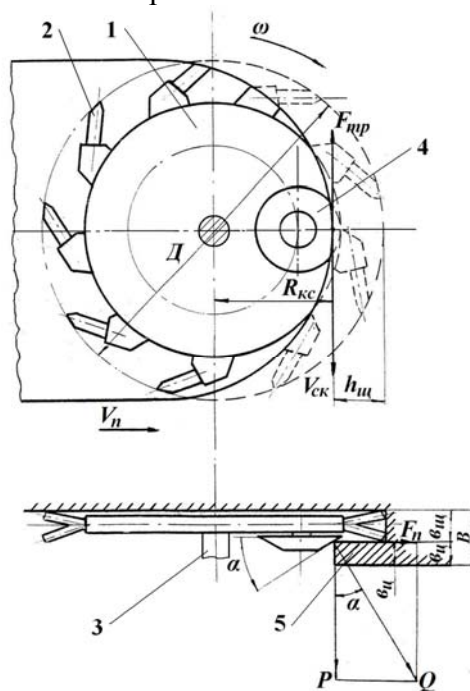


Рисунок 1 – Расчетная схема РО, состоящего из режущего диска, прорезающего опережающую щель, и клинового устройства, скалывающего целик: 1 – режущий диск; 2 – резцы; 3 – приводной вал; 4 – коническая шарошка; 5 – целик

Эффективность работы комбинированного щелевого РО была подтверждена экспериментально на полнометражном стенде с углицементным блоком, а затем при испытаниях и эксплуатации разработанного МГГУ комбайна КВЭ с комбинированным РО и захватом 0,3 м на шахте «Сеченская» Подмосковного угольного бассейна еще в восьмидесятые годы прошлого столетия [4-6]. Разработанный на основе указанных исследований МГГУ и ПНИУИ малозахватный комбайн типа КВЭ не изготавливался в связи со сложившейся ситуацией в угольной промышленности и в РФ.

Предлагаемый РО ВСА разработан на новом современном техническом уровне и имеет лишь общую с рассмотренным РО схему разрушения забоя и существенно отличается от него конструктивным исполнением, более высокими режимными параметрами, конструкцией устройства для разрушения целика, образуемого щелью, и другими особенностями. Принципиальным отличием предлагаемого РО является использование вибрационных воздействий режущего инструмента на разрушаемую породу или иными словами применением виброактивного резания. Под виброактивным резанием понимается обычное механическое резание с возбуждением вибраций режущего инструмента.

Виброактивное резание горных пород изучалось только применительно к проходческим комбайнам в Тульском политехническом университете. Результаты этих исследований обобщены в работе [7]. Анализ этого и других информационных источников, в том числе по вибрационному резанию металлов [8] показал перспективность развития этого вида резания для разрушения пород выемочными комбайнами с целью повышения эффективности их РО. В пользу такого вывода свидетельствуют немногочисленные прямые исследования вибрационного разрушения горных пород, положительные оценки вибрационного резания в металлообработке, теоретические предпосылки механики и экспериментальные результаты контактного упруго-пластического разрушения различных твердых материалов, в том числе и горных пород.

Разработка виброактивных РО выемочных и проходческих горных машин находится в зачаточном состоянии и практически ограничивается НИОКР применительно к стреловидным РО проходческих комбайнов, проводившимися Тульским государственным университетом совместно со Скуратовским машиностроительным заводом. На наш взгляд, несмотря на допущенную ошибочность в выборе частоты и направления вектора колебаний положительный эффект наложения вибраций на РО был установлен экспериментально. В целом указанные исследования и НИОКР представляют значимый вклад в развитие вибрационного резания горных пород, но для создания РО ВСА они недостаточны и требуются дополнительные исследования вибрационного резания.

Помимо РО в схеме ВСА обосновано применение усовершенствованной цепной системы подачи с одним (или двумя) вынесенным на штрек приводом подачи и облегченной перемещаемой по раме конвейера вдоль лавы режущей частью, включающей приводной электропривод и сменный РО, выполняющий функцию разрушения. Погрузка отбитой горной массы на конвейер осуществляется специальным погрузочным лемехом конвейера, перемещаемым на забой гидродомкратами механизированной крепи.

В результате исследований применительно к ВСА получено значительное число новых выводов и технических предложений.

Важным результатом НИР является обоснование величины захвата ВСА исходя из энергетических показателей проектируемого агрегата. Высокий уровень изученности процесса резания горных пород резовым инструментом [9], существующие нормативные документы (ОСТы и ГОСТы) по расчету параметров комбайнов теоретически позволили получить зависимости удельных энергозатрат  $W$  от величины захвата  $B$ , ВСА с учетом разрушения образуемых опережающей щелью целиков породы. На рис. 2 представлены некоторые из этих зависимостей.

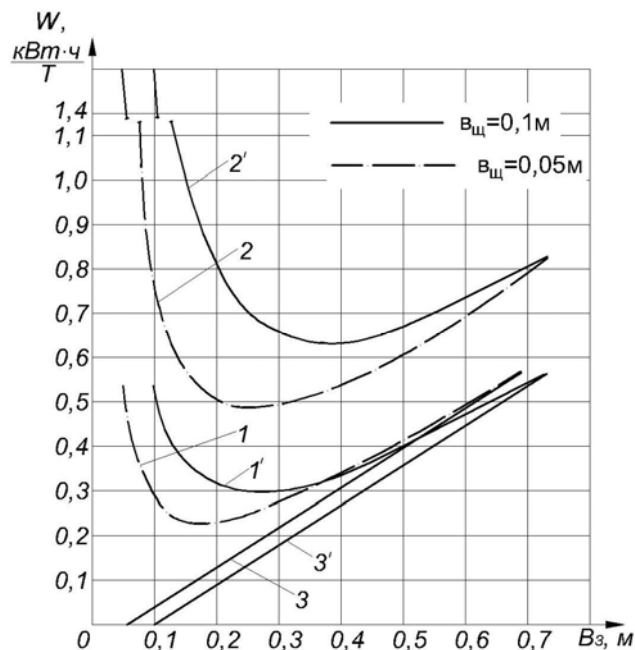


Рисунок 2 – Зависимость удельной энергоёмкости от ширины захвата РО ВСА:  
 1 и 1', 2 и 2' – графики  $W = f(B_z)$  при сопротивляемости резанию  $A = 100$  и  $300$  Н/мм,  
 3 и 3' – графики зависимости удельных энергозатрат на отрыв целиков при ширине щели  
 $B_{щ} = 0,05$  и  $0,1$  м

Из рис. 2 видно, что удельные энергозатраты РО ВСА имеют четко выраженные минимумы в диапазоне величины захвата РО  $0,2 \dots 0,3$  м.

С использованием щелевой схемы разрушения забоя удельная энергоёмкость снижается значительно по сравнению с разрушением сплошным резанием. Например, при резании угля с  $B_{щ} = 0,1$  м и  $A = 100$  Н/мм,  $\sigma_{сж} = 12$  МПа,  $\sigma_{раст} = 0,38$  МПа, она снижается с  $W = 0,54$  до  $0,29$  кВт·ч/т, т. е. в 1,86 раза. При резании с той же шириной щели угля с  $A = 300$  Н/мм,  $\sigma_{сж} = 26$  МПа,  $\sigma_{раст} = 0,49$  МПа удельная энергоёмкость снижается с  $1,5$  до  $0,63$  кВт·ч/т, т. е. в 2,4 раза. Таким образом, на крепких углях использование в ВСА комбинированного способа разрушения будет более эффективным.

Мощность, необходимая для резания стандартным шнековым РО, согласно расчетам, выше мощности, расходуемой комбинированным РО ВСА. Так, при захвате РО  $0,2$  м и сопротивляемости резанию  $A = 100$  Н/мм мощность на резание шнековым РО будет равна  $\sim 140$  кВт, а на разрушение комбинированным РО ВСА  $\sim 80$  кВт (при ширине щели  $0,1$  м).

Разрушение комбинированным способом является менее энергоёмким процессом, чем сплошное резание. Уменьшение мощности на резание диском комбинированного РО снижает уровень суммарной мощности, поэтому в конструкциях щелевых РО целесообразно стремиться к уменьшению мощности, затрачиваемой режущим диском, минимизируя ширину прорезаемой щели.

Минимальным удельным энергозатратам комбинированного РО на отделение полезного ископаемого от массива пласта соответствует максимальная теоретическая производительность ВСА (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что зависимости производительности ВСА от ширины его захвата для углей с различной сопротивляемостью резанию при определенной установленной мощности электродвигателя привода РО имеют выраженные «максимумы» производительности, соответствующие оптимальной ширине захвата. Производительность при комбинированном способе разрушения в 2-3 раза выше производительности разрушения углей сплошным резанием, в частности шнековым РО серийных комбайнов. При сопротивляемости резанию  $A = 100$  Н/мм и мощности РО  $N_{уст} = 200$  кВт производительность составит  $6,1$  т/мин, а для комбинированного разрушения –  $11,2$  т/мин, т. е. выше в 1,8 раза. При сопротивляемости резанию  $A = 300$  Н/мм – соответственно  $2,2$  и  $5,2$  т/мин, т. е. производительность ВСА будет в 2,5 раза выше по сравнению со шнековым комбайном.

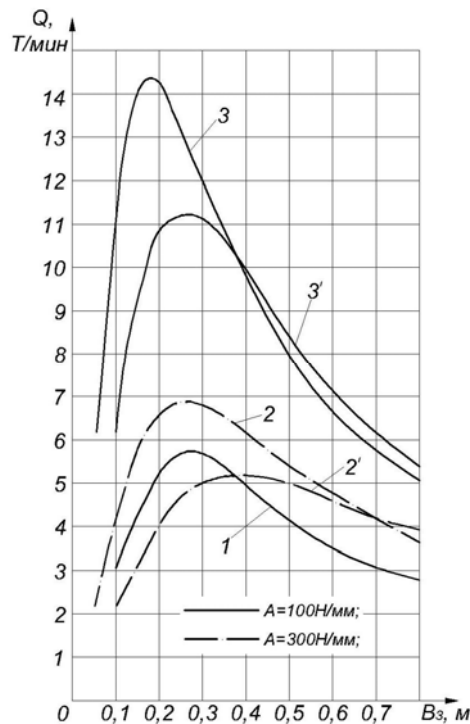


Рисунок 3 – Зависимость теоретической производительности от ширины захвата ВСА:  
 1 –  $N_{уст} = 100$  кВт,  $B_{щ} = 0,1$  м,  $A = 300$  Н/мм; 2 и 2' –  $N_{уст} = 200$  кВт,  $B_{щ} = 0,05$  и  $0,1$  м,  $A = 300$  Н/мм; 3 и 3' –  $N_{уст} = 200$  кВт,  $B_{щ} = 0,05$  и  $0,1$  м,  $A = 100$  Н/мм

С уменьшением ширины щели, прорезаемой диском, производительность РО увеличивается. Если сопротивляемость резанию  $A = 100$  Н/мм, а установленная мощность  $N_{уст} = 200$  кВт, то максимальная производительность при ширине щели  $B_{щ} = 0,05$  м составит 14,2 т/мин, а при  $B_{щ} = 0,1$  м – 11,2 т/мин, при сопротивляемости резанию  $A = 300$  Н/мм соответственно – 6,9 и 5,2 т/мин. Очевидно, снижение мощности на резание диском при уменьшении ширины прорезаемой щели является одним из возможных направлений повышения производительности ВСА.

Следует отметить, что произведенные выше расчеты не учитывают снижения удельных энергозатрат ВСА в связи с действием отжима угля горным давлением и работы его РО в зоне ослабленной сопротивляемости угля резанию. Ориентировочно коэффициент отжима можно принять в диапазоне 0,4...0,5. С учетом отжима производительность ВСА может быть примерно в 2 раза выше.

Моделированием динамических систем и исследованиями динамических процессов в ВСА установлено, что повышение режимных параметров (скоростей резания и подачи) привело к улучшению динамики ВСА, а также к уменьшению динамических нагрузок на элементы привода РО и системы подачи ВСА. Это происходит за счет отстройки гармонических составляющих средней возбуждающей нагрузки РО от собственных колебаний в динамических системах, устранения автоколебаний в системе подачи и переходу к колебаниям в зарезонансном режиме. Что касается высокочастотных стохастических нагрузок на режущий инструмент, то эти нагрузки пассивным фильтром «РО – податливость трансмиссии привода» выравниваются и не воздействуют, как и у современных выемочных комбайнов, на элементы трансмиссии. Однако это не исключает воздействий медленно изменяющихся стохастических колебаний нагрузки, связанных с изменением сопротивляемости резанию разрабатываемого пласта по длине лавы. При достаточно низкой частоте изменения сопротивляемости резанию осредненная нагрузка РО может создавать динамические нагрузки на электродвигатели привода РО и системы подачи ВСА.

Моделирование динамических систем ВСА проводилось с учетом влияния электромагнитного момента асинхронного электродвигателя [10] по методикам работ [11-13].

На основе использования изложенных выше и других проведенных применительно к ВСА исследований разработаны и изготовлены для разрушения горных пород с различными фи-

зико-механическими свойствами три оригинальных варианта макетов РО для экспериментальных стендовых исследований и три прототипа реальных РО ВСА. В 2012 г. планируются экспериментальные исследования, в т. ч. вибрационного резания, для которых созданы специальные экспериментальные стенды.

В заключение отметим некоторые основные преимущества разрабатываемого ВСА:

- сочетание в ВСА преимуществ струговой технологии выемки и комбайнового РО с вибрационным резанием, но лишенного недостатков существующих комбайнов и стругов;
- значительное снижение удельных энергозатрат ВСА (0,2...0,25 кВт·ч/т) на отделение полезных ископаемых на основе использования щелевого способа разрушения массива пласта с вибрационным резанием и отжима забоя горным давлением;
- многократное увеличение режимных параметров ВСА по сравнению с параметрами существующих выемочных комбайнов;
- улучшение динамики систем привода РО и подачи;
- уменьшение перемещаемой вдоль лавы массы ВСА 10...12 т и его габаритов;
- возможность применения ВСА в сложных горно-геологических условиях (малая вынимаемая мощность пласта, сложная его гипсометрия, наличие твердых включений и прослоек и т. п.).

ВСА в основе комплексов механического оборудования предназначен для безвзрывной выемки из пластовых месторождений подземным и открытым способами различных полезных ископаемых: угля, сланцев, строительных горных пород и др.

При выемке полезных ископаемых из маломощных пластов подземным способом сокращается возможное свободное пространство и ограничивается перемещение в лаве обслуживающего персонала, поэтому для механизированного комплекса на основе ВСА обязательным становится требование обеспечения высокого уровня автоматизации управления оборудованием комплекса и работа последнего без постоянного присутствия людей в забое.

#### Список литературы

1. Краснянский Г. Л., Зайденварг В. Е., Ковальчук А. В., Скрыль А. И. Уголь в экономике России. – М.: Экономика, 2011. 383 с.
2. Лиманский А.В. перспективные технологии снижения потерь угля в недрах при разработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями. – М.: НИЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. Научные сообщения, №335 – Люберцы – 2009, С. 150-166.
3. Рубан А. Д., Артемьев В. Б. и др. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов. – М.: Горная книга, 2010. 500 с.
4. Щелухин Э.Г. Исследование и выбор рабочих параметров исполнительного органа высокоскоростного малозахватного угледобывающего комбайна. Дисс.... канд. техн. наук – М.: МГИ – 1976, 217 с.
5. Машункин И. А. Исследование динамики движения и установление ее влияние на нагрузки высокоскоростной малозахватной угледобывающей машины. Дисс.... канд. техн. наук – М.: МГИ, 1974.
6. Картавый Н.Г., Серов В.А. Направление повышения технико-экономических показателей выемочного оборудования при разработке угольных пластов средней мощности// Уголь. – 1992 - №3 – С. 13-17.
7. Бреннер В. А., Кавыршин И. П., Кутлуниев В. А. и др. Виброактивное разрушение горных пород проходческими комбайнами. – Тула: Тульский полиграфист, 2000. 203 с.
8. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с япон./ Под ред. И.И. Портнова, В. В. Белова. – М.: Машиностроение. 1985. 424 с.
9. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. – М.: Недра. 1984. 289 с.
10. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов. – Л.: Машиностроение, 1969, 368 с.
11. Докукин А.В., Красников Ю.Д., Хургин З.Я. Статическая динамика горных машин. – М., Машиностроение, 1978, 249 с.
12. Докукин А.В., Красников Ю.Д., Хургин З.Я. Динамические процессы горных машин. – М.: Наука, 1972, 150 с.
13. Красников Ю.Д., Хургин З.Я., Нечаевский В. М. и др. Оптимизация привода выемочных и проходческих машин. – М.: Недра, 1983. 264 с.