УДК 622.23.054

А.А. Хорешок, Ю.Г. Полкунов, А.А. Силкин

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДИСКОВЫХ ШАРОШЕК НА ШНЕКАХ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ

Ввиду небольшого количества дисковых шарошек на шнеке, центральный угол между шарошками, находящимися в соседних линиях резания, значительно больше, чем на шнеках, оснащённых резцами. При непрерывной подаче комбайна на забой создаются условия, когда каждая последующая дисковая шарошка опережает в направлении подачи предыдущую на некоторую величину Δh , соизмеримую с глубиной резания h (рис. 1). Это явление уменьшает боковую поверхность обнажения, что затрудняет разрушение в сторону обнажённой поверхности и ведёт к возрастанию нагрузок на дисковой шарошке.

Величина перезаглубления последующей шарошки относительно предыдущей равна

$$\Delta h = \frac{V_n \varphi}{60\omega}, \qquad (1)$$

где V_n – скорость подачи комбайна, м/мин; φ – центральный угол между шарошками в соседних линиях резания, град.; ω – угловая скорость вращения рабочего органа, $с^{-1}$.

Для исполнительных органов с равномерным размещением Z дисковых шарошек по окружности, имеющих скорость вращения n $мин^{-1}$, величина перезаглубления

$$\Delta h = \frac{V_n}{Zn}. \qquad (2)$$

Увеличение нагрузки на инструменте принято учитывать коэффициентом схемы K_c , который, в свою очередь, определяется коэффициентом кинематической заблокированности

$$K = \Delta h / h. \qquad (3)$$

Кинематическая заблокированность K является величиной детерминированной и легко определяется для конкретного исполнительного органа при работе в конкретных условиях. Однако широкий диапазон изменения физико-механических свойств пород, многообразие возможных режимов разрушения создают трудности в экспериментально-статистическом определении зависимости $K_c=f(k)$. Необходимо отметить, что с позиции видов резов [1, 2] перезаглубление приводит либо к изменению параметров разрушения, либо к изменению вида реза. Поскольку вид реза зависит от соотношения t_p/h , то соответственно изменяется и сечение стружки, что в свою очередь приводит к изменению сортового состава разрушенного угля. Одним из способов ликвидации кинематической заблокированности является применение быстросъёмного узла крепления дисковой шарошки на шнековом рабочем органе (рис. 2) [3, 4].

Изменение скорости резания в возможных для угледобывающих машин границах не влияет существенно на средние силы резания и удельные энергозатраты. Однако снижение скорости резания в известных пределах приводит к увеличению

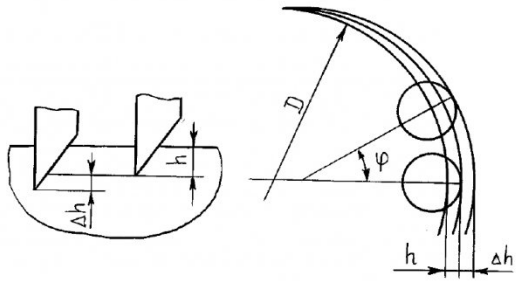

Рис. 1. К определению кинематической заблокированности резов дисковой шарошкой при установке её в забойной части

сечения среза, что в свою очередь уменьшает пылеобразование и увеличивает выход угля крупных фракций.

В этой связи определим скорости взаимодействия дисковых шарошек с разрушаемым массивом и сравним их со скоростью взаимодействия резцов с массивом. Скорость взаимодействия рабочего инструмента с разрушаемым массивом в определённой степени влияет на безопасность ведения выемочных работ, т. к. снижается вероятность искрообразования при фрикционном контактировании режущего инструмента с массивом. В связи с этим определим скорость вхождения в массив точки, находящейся на режущей кромке шарошки при движении её оси по прямолинейной траектории и разрушающей массив с постоянной глубиной резания (рис. 3, а). При качении шарошки без скольжения и повороте её вокруг мгновенного центра P скорость точки C

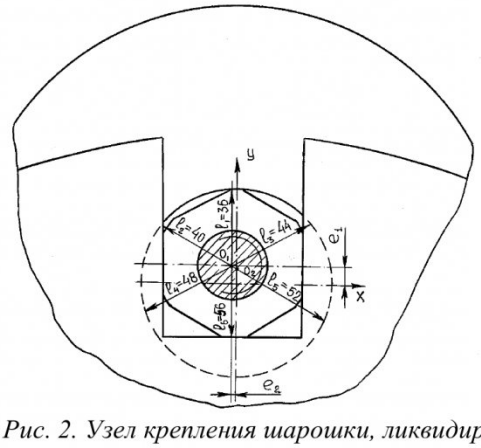

Рис. 2. Узел крепления шарошки, ликвидирующий кинематическую заблокированность

$$V_c = V\sqrt{\frac{h}{D_ш}}. \quad (4)$$

Из выражения видно, что скорость взаимодействия режущей кромки с массивом зависит от скорости V движения её оси, диаметра шарошки $D_ш$ и глубины резания h.Заметим, что по мере проникновения точки С в массив скорость её будет уменьшаться, т. е. в рассматриваемом случае определена максимальная скорость взаимодействия режущей кромки с массивом V_c^{max}.

При установке шарошки на шнек, совершающий вращательное движение и имеющий скорость подачи (рис. 3, б), абсолютная скорость движения точки $V_c^{абс}$ будет определяться суперпозицией относительно $V_c^{отн}$ и переносной $V_c^{перен}$ скоростей

$$V_c^{абс.} = \sqrt{\begin{matrix} V_c^{2отн} + V_c^{2перен} + \\ + 2V_c^{отн} \cdot V_c^{перен} \cos\left(V_c^{отн} \cdot V_c^{перен}\right) \end{matrix}}, \quad (5)$$

где

$$V_c^{отн.} = V_o\sqrt{\frac{2h}{R}} = \\ = V_o\sqrt{\frac{2h_{max}\sin\psi}{R}} = R_{и.о.}\cdot\omega\sqrt{\frac{2h_{max}\sin\psi}{R}}; \quad (6)$$

$$V_c^{перен.} = V_{под.}, \quad (7)$$

$$\cos\left(V_c^{отн.}V_c^{перен.}\right) = \cos\gamma = \\ = \cos\left[\frac{\pi}{2} - \left(\frac{\theta}{2} + \psi\right)\right] = \sin\left(\frac{\theta}{2} + \psi\right), \quad (8)$$

$$\gamma = \left(180^0 - \theta - \psi\right) - \left(90^0 - \frac{\theta}{2}\right) = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} - \psi, \quad (9)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{R - h_{max}\cdot\sin\psi}{R}\right), \quad (10)$$

$$h = h_{max}\cdot\sin\psi, \quad (11)$$

$$\sin\left(\frac{\theta}{2} + \psi\right) = \sqrt{\frac{h}{2R}}\cos\psi + \sqrt{\frac{h+2R}{2R}}\sin\psi. \quad (12)$$

После подстановки выражений (6 – 12) в зависимость (5) получим:

$$V_c^{абс} = \sqrt{\begin{matrix} R_{и.о.}^2\omega^2\frac{2h_{max}\sin\psi}{R} + V_{под.}^2 + \\ + 2R_{и.о.}\omega\sqrt{\frac{2h_{max}\sin\psi}{R}}V_{под.} \end{matrix}} \times \\ \times\left(\sqrt{\frac{h_{max}\sin\psi}{2R}}\cos\psi + \sqrt{\frac{h_{max}\sin\psi + 2R}{2R}}\sin\psi\right), м/с. \quad (13)$$

Из выражения (13) нетрудно видеть, что максимальная скорость вхождения режущей кромки шарошки в массив будет иметь место при ψ=90° .

$$V_c^{абс.max} = \sqrt{\begin{matrix} R_{и.о.}^2\omega^2\cdot\frac{2h_{max}}{R} + \\ + V_{под.}^2 + 2R_{и.о.}\omega\times \\ \times\sqrt{\frac{2h_{max}\sin\psi}{R}}V_{под.}\sqrt{\frac{h+2R}{2R}} \end{matrix}} \quad (14)$$

В табл. 1 приведены значения скоростей взаимодействия с массивом для резцов и режущей кромки шарошки диаметром 280 мм при установке их на шнеках различных диаметров комбайна 1КШЭ.

Анализ таблицы показывает, что при размещении на шнеке одной шарошки в линии резания скорость резания шарошкой меньше скорости резания резцом на комбайнах 1КШЭ при скоростях подачи до 2,5 м/мин. При установке двух шарошек в линии резания при скорости подачи 4 м/мин для комбайна 1КШЭ скорость резания шарошкой в 1,2 – 1,5 раза меньше скорости резания резцов.

Эффективная работа дисковых шарошек возможна только при разрушении массива в сторону дополнительной боковой обнажённой поверхности. Поэтому компоновка шнекового исполнительного органа с дисковыми шарошками должна предусматривать только последовательную схему набора последних.

При этом возможны два принципиально различных варианта схемы набора:

1. Дисковые шарошки расположены по винтовым линиям, направление которых противоположно направлению погрузочных лопастей. При этом сами шарошки обращены скалывающими конусами в сторону обнажённой поверхности забоя со стороны завала (рис. 4, а).

Таблица 1

Тип комбайна	Диаметр шнека, м	Тип инструмента	Кол-во в линии резания	Скорость резания резцом и шарошкой, м/с при скорости подачи $V_п$, м/мин							
				0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
1КШЭ	1,8	резец	–	……	……	……	2,74	……	……	……	……
		шарошка	1 2	1,15 0,81	1,63 1,15	2,01 1,41	2,32 1,63	2,60 1,83	2,86 2,01	3,10 2,17	3,32 2,32
	2,0	резец	–	……	……	……	3,04	……	……	……	……
		шарошка	1 2	1,30 0,92	1,85 1,30	2,27 1,60	2,62 1,85	2,94 2,07	3,23 2,27	3,49 2,45	3,74 2,62

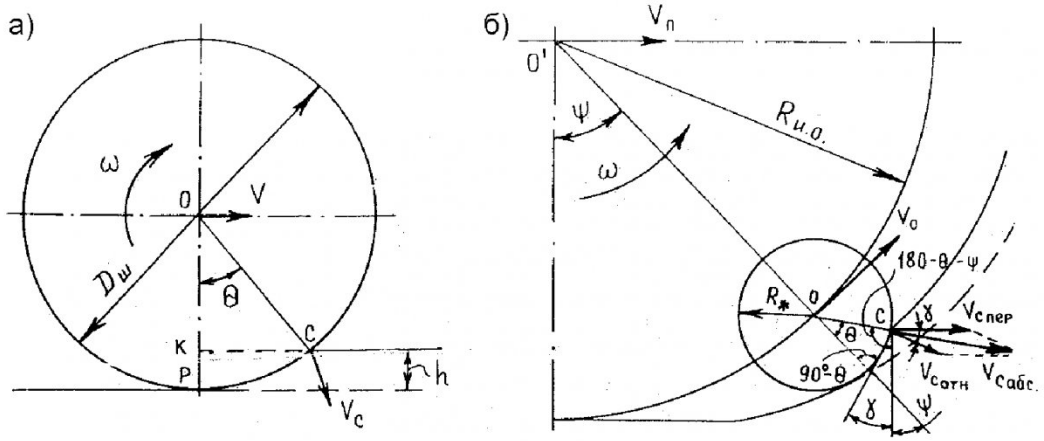

Рис. 3. К определению скорости взаимодействия шарошки

2. Дисковые шарошки расположены по винтовым линиям, направление которых совпадает с направлением погрузочных лопастей. При этом шарошки обращены скалывающими конусами в сторону забоя (рис. 4, б).

Каждый из указанных вариантов имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам первой схемы набора относятся:

– при разрушении максимально используются обнажённая со стороны забоя боковая поверхность и явление отжима угля, что положительно сказывается на удельных энергозатратах;

– повышенный выход крупно-средних сортов угля и меньший выход штыба;

– хорошая эвакуация крупных кусков угля и разрушенных твёрдых включений боковыми поверхностями шарошек из рабочей зоны;

– возможность дальнейшего развития конструкции рабочего органа путём замены резцов на кутковой части шнека кутковыми дисковыми шарошками, что позволит иметь на исполнительном органе один тип рабочего инструмента.

Недостатками такой схемы набора являются-образующиеся в массиве трещины и скол шарошками в сторону завала приводит к опережающему обрушению (особенно при большой мощности пласта), что, с одной стороны, не позволяет существующими средствами эффективно бороться с пылеподавлением, а, с другой стороны, требует значительных затрат ручного труда на разрушение негабаритов, транспортировка которых затруднена. Кроме того, из-за особенностей конструкции шарошки и узла её крепления существенно уменьшается проходное сечение шнека, что сказывается на его транспортирующей и погрузочной способностях.

Достоинства второй схемы набора:

– высокая погрузочная способность, которая практически не меньше, чем у серийных шнеков;

– скол в сторону забоя позволяет локализовать образующуюся при разрушении пыль в зоне исполнительного органа, что обеспечивает более эффективное подавление её водой и снижение запылённости воздуха в забое;

– скол в сторону забоя исключает возможность возникновения негабаритов;

– возможность изготовления цельнолитой конструкции.

К недостаткам второй схемы набора следует отнести:

– обязательное наличие на кутковой части шнека режущих инструментов, прорезающих врубовую щель с целью создания обнажённой боковой поверхности, необходимой для эффективной работы дисковых шарошек;

– при работе по твёрдым включениям и образовании в последних опережающих трещин за-

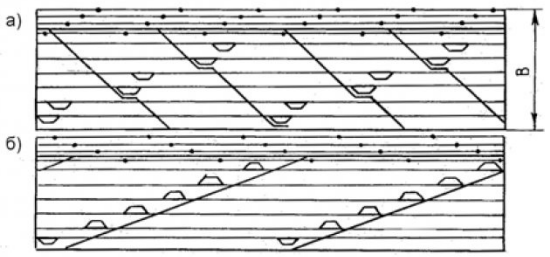

Рис. 4. Варианты схем набора дисковых шарошек

труднена эвакуация из массива крупных кусков вследствие того, что шарошки скалывающими конусами обращены в сторону забоя. Это приводит к дополнительному дроблению твёрдых включений.

В целом по комплексу показателей на данном этапе трудно полностью отдать предпочтение первому или второму вариантам схемы набора. Очевидно, что выбор варианта компоновки должен производиться с учётом конкретных требований к исполнительному органу, условиями эксплуатации, и возможен лишь после проведения всесторонних шахтных испытаний.

Кроме схемы набора важнейшим конструктивным параметром шнекового рабочего органа является шаг (ширина) резания.

Исходным положением является соотношение $t_p/h \le 2.0$, при котором имеет место свободный рез. На рис. 5 приведена зависимость критических

значений $f(h)$, делящая всю совокупность параметров разрушения на зону свободных и полусвободных резов и зону блокированных и повторно-блокированных резов, что является определяющим фактором при выборе рациональных параметров исполнительного органа.

При наличии данной зависимости задача в практическом отношении сводится к определению или выбору глубины резания h.

Известно, что все современные очистные комбайны имеют гидравлические или электрические вариаторы бесступенчатого регулирования скорости подачи от *0* до V_n^{max}, что, естественно, предопределяет и переменное значение максимальной глубины резания h_{max}, связанное со скоростью подачи V_n зависимостью

$$h_{max} = \frac{100V_n}{Zn}, \qquad (15)$$

где n– частота вращения шнека, мин$^{-1}$; Z – число шарошек в линии резания.

При заданной производительности комбайна Q_3, т/мин необходимая скорость подачи определяется из выражения

$$V_n = \frac{Q_3}{B_3 H_\gamma}, \text{ м/мин}, \qquad (16)$$

где B_3 – величина захвата исполнительного органа, м; H – вынимаемая мощность пласта, м; γ – объёмный вес угля, т/м^3.

При выполнении проектных работ, когда отсутствуют требования по производительности Q_3, следует ориентироваться на максимально возможную скорость подачи комбайна в конкретных условиях. Для шахтопластов Кузбасса, имеющих простое строение, мощность привода современных очистных комбайнов не ограничивает их работу на максимальной скорости подачи, равной V_n^{max}=5.0 м/мин для комбайнов 1КШЭ и 2КШ3 и V_n^{max}=6.0 для комбайнов 2ГШ-68Б. В этом случае значения h_{max} при одном рабочем инструменте в линии резания составляют: для комбайнов 2ГШ-68Б – 12,2 см, для комбайнов 1КШЭ и 2КШЭ – 17,2 см.

Однако очевидно, что выбор рационального шага на основе соотношения t_p/h должен производиться не по максимальному значению глубины

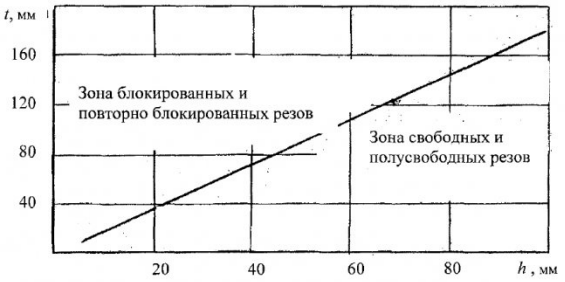

Рис. 5. Влияние параметров резания на режим разрушения

резания, а по среднему $h_{ср}$, определяемому как

$$h_{ср} = \frac{2}{\pi} h_{max}. \qquad (17)$$

Установлено, что с уменьшением скорости подачи уменьшаются и рациональные значения шагов резания. Для указанных выше типов комбайнов при работе на пластах простого строения можно рекомендовать последовательную схему набора инструмента с двумя шарошками в линии резания и шагом резания t_p=7- 10 см.

При отработке пластов сложного строения скорость подачи значительно меньше V_n^{max}, поэтому выбор числа шарошек и шага резания должен происходить с учётом общей нагрузки на рабочем органе и содержания твёрдых включений в пласте. То есть, если содержание твёрдых включений небольшое и приоритет отдаётся получению наилучшего сортового состава угля, то при выборе Z и t_p можно использовать указанные выше рекомендации. В этом случае при разрушении твёрдых включений шарошки будут работать в режиме повторно-блокированного и полусвободного резания, что увеличит энергоёмкость процесса разрушения.

При высокой насыщенности пласта твёрдыми включениями и в случаях, когда не предъявляются жёсткие требования по сортовому составу разрушенного полезного ископаемого, выбор числа шарошек в линии резания Z и шага резания t_p должен производиться с учётом максимальной производительности комбайна. Безусловно, что на выбор шага резания и числа шарошек в линии резания будут оказывать влияние и конструктивное исполнение узлов крепления шарошек и общие нагрузки на рабочем органе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нестеров В.И.* Особенности процесса разрушения исполнительным органом с дисковыми шарошками / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок, Ю.Г., Ю.Г. Полкунов // Механизация горных работ: Межвуз. сб. науч. тр. / КузПИ. – Кемерово, 1984. – С. 23-28.

2. Оценка схем размещения резцов на исполнительных органах угольных комбайнов через кинематический коэффициент заблокированности / Н.Д. Бенюх, В.И. Нестеров, А.Н. Коршунов, А.А. Хорешок //КузПИ. – Кемерово, 1977. – 36 с. ДЕП. в ЦНИЭИуголь 21.02.77, № 919-77.

3. А. с. 1456568 СССР, МКИ Е21С27/02. Исполнительный орган горного комбайна / В.И. Нестеров, А.А. Силкин, А.А. Хорешок и др.; Кузбас. политехн. ин-т. – Опубл. 07.02.89, Бюл. № 5.

4. *Коршунов А.Н.* Шнековый рабочий орган с быстросъёмными узлами крепления дисковых шаро-

шек: Информ. листок № 251-88 / А.Н. Коршунов, А.А. Хорешок, В.Н. Вернер, Е.К. Соколова. – Кемерово: Кемеровский ЦНТИ, 1988.

Авторы статьи:

Хорешок
Алексей Алексеевич
- докт.техн. наук, проф. каф. горных машин и комплексов

Полкунов
Юрий Григорьевич
- докт.техн. наук, проф. каф. горных машин и комплексов

Силкин
Александр Августович
- канд.техн. наук, начальник научно-исследовательского отдела «СредазНИПИпромтехнологии»

УДК 621.622.012.2

Б.А. Александров

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ РОССИИ

В недалёком прошлом основной базой угольного машиностроения Советского Союза была Украина. Горловский машиностроительный завод им. С.М. Кирова (очистные комбайны и струговые установки), Дружковский им. 50-летия Советской Украины (механизированные крепи, комплексы для очистных забоев и оборудование для шахтного транспорта), Харьковский «Свет шахтёра» (скребковые конвейеры), им. Г.И. Петровского (насосные станции для механизированных крепей), Краснолучский (режущий инструмент) покрывали практически все потребности в очистном оборудовании страны.

Значительный вклад в оснащение угольной промышленности внесён и Каргормашем (механизированные крепи и обогатительное оборудование).

В настоящее время Россия поддерживает тесные связи с Украиной и Казахстаном в области развития угольной промышленности. Отдавая должное этой положительной тенденции, необходимо констатировать, что развитие угольного машиностроения России следует считать первостепенным.

В европейской части России расположены два машиностроительных завода, которые играют большую роль в оснащении угольной промышленности угледобывающей и проходческой техникой – Узловский машиностроительный завод им. И.И. Федунца (механизированные крепи) и Копейский машиностроительный завод (проходческие комбайны). Однако данные заводы только в определённой степени способны покрыть потребности угольной промышленности в продукции машиностроения.

В этой связи со всей актуальностью встаёт вопрос о переносе базы угольного машиностроения в восточные районы страны, в пользу чего свидетельствует доминирующее значение в угольной промышленности Кузнецкого бассейна.

В Кемеровской области расположен ряд крупных машиностроительных предприятий, обеспечивающих потребности угольной промышленности. К ним относятся Анжерский машиностроительный завод, Киселёвский машиностроительный завод им. И.С. Черных, Кемеровский «Кузбассэлектромотор», Ленинск-Кузнецкий завод «Красный Октябрь», Беловский завод по ремонту механизированных крепей, Прокопьевский завод шахтной автоматики и др. Кузбасс располагает развитой сетью предприятий по ремонту угледобывающей и проходческой техники, рядом заводов, в той или иной степени связанных с обслуживанием угольных шахт.

В последние десять лет роль центра угольного машиностроения Кузбасса взял на себя Юргинский машиностроительный завод. Он обладает необходимым кадровым потенциалом и самым современным оборудованием, что позволило ему не только освоить производство механизированных крепей и угольных комбайнов, но и принять участие в проектировании данных машин.

Юргинский машзавод и такие шахты Кузбасса, как «Владимирская», «Томусинская», «Чертинская», им. В.И. Ленина, «Берёзовская», «Распадская», «Полосухинская», «Есаульская», «Тайжина» связывают узы содружества. По мнению руководителей данных шахт, комбайны типа К500Ю ничем не уступают зарубежным, а стоят в несколько раз дешевле. То же касается и механизированных крепей типа МКЮ-4У.

Сегодня перед юргинскими машиностроителями стоит задача оснащения шахт Кузбасса струговыми комплексами для отработки пластов мощностью 0,9–1,2 м.

Близость металлургической базы, доступность источников энергии ряда предприятий на территориях Кемеровской и соседних областей, способных обеспечивать завод комплектующими изделиями, свидетельствуют о целесообразности дальнейшего развития угольного машиностроения именно в Кузбассе.

Автор статьи:

Александров
Борис Алексеевич
- докт. техн. наук, проф.каф. горных машин и комплексов