

УДК 622.23.05

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ  
ГОРНЫХ ПОРОД ПРОХОДЧЕСКИМИ КОМБАЙНАМИ**

**С. А. Прокопенко<sup>1,2</sup>, В. С. Лудзиш<sup>2</sup>, И. А. Курзина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, E-mail: sibgp@mail.ru,  
просп. Ленина, 30, 654059, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>АО «НЦ ВостНИИ»,

ул. Институтская, 3, 650002, г. Кемерово, Россия

<sup>3</sup>Томский государственный университет,  
просп. Ленина, 36, 634050, г. Томск, Россия

Определены влияющие факторы и разработана матрица темпа износа режущего инструмента проходческих комбайнов. Установлено влияние прочности породы на эксплуатационный ресурс проходческого комбайна. Представлены результаты натурного исследования характера и скорости износа породоразрушающих резцов. Разработана и испытана в промышленных условиях конструкция тангенциального поворотного резца многоразового применения, увеличивающая его эксплуатационный ресурс. Для дальнейшего повышения эффективности отбойки пород предложено осуществить разрушение инструментом с режущим диском.

*Шахтный комбайн, резец, конструкция, эффективность, износ, прочность, массив, режущий диск*

Породоразрушающий инструмент, используемый в настоящее время на проходческих и очистных комбайнах российского и зарубежного производства для рыхления нетронутого угленосного массива и выдачи горной массы на земную поверхность, представлен главным образом тангенциальными поворотными резцами (ТНР) (рис. 1).

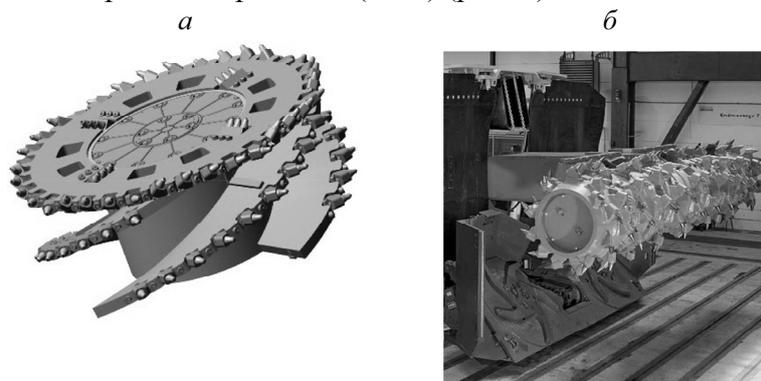


Рис. 1. Исполнительные органы очистного (а) и проходческого (б) комбайнов, оснащенные резцами

В процессе использования резцы изнашиваются и заменяются новыми. Скорость износа определяется соотношением прочности металла и породного массива, формой и параметрами инструмента, режимом эксплуатации резцов. Одна шахта годовой мощностью 6–7 млн т потребляет

15–20 тыс. резцов за год, расходуя на их приобретение 5–8 млн руб. В 2013 г. в Российской Федерации добыто 352 млн т угля, из них подземным способом 101 млн т [1]. Около 80% подземной угледобычи России производится в Кузбассе. Ежегодно в шахты Кузбасса спускается порядка 200–250 тыс. резцов. Главными производителями и поставщиками резцов в шахты России являются машиностроительные заводы Новокузнецка, Юрги, Копейска, а также зарубежные фирмы-изготовители: Kennametal, Sandnik, Betek [2–6].

Основными факторами эффективности разрушения угля и породы выступают механические характеристики — прочности массива и резца. Годовые породы по прочности можно разделить на слабые (до 40 МПа), средней прочности (40–70 МПа) и прочные (свыше 70 МПа) [7]. Учитывая разнообразие горно-геологических условий, производители выпускают резцы различной прочности следующих серий: легкие (уголь крепостью  $f = 0.8...2$  по шкале М. М. Протодяконова), средние (уголь с прослойками породы  $f = 2...5$ ), тяжелые и сверхтяжелые (уголь с прослойками породы  $f = 2...7$  и твердыми включениями  $f = 7...10$ ) [8]. Однако в шахтных условиях не всегда удается соблюсти соотношение прочностей используемой партии резцов и породного массива в связи с изменчивостью его строения, свойств, неоперативной работы снабженческих служб и т. д.

Различные сочетания прочностных характеристик определяют разную интенсивность взаимного разрушения инструмента и среды. Вариациями соотношений прочностей определяется темп износа комбайнового резца в процессе разрушения массива. Так, средний по прочности резец при отбойке слабых пород может иметь сопоставимые темп износа и срок службы с прочным (тяжелым) резцом, применяемым по породам средней прочности. Качественную оценку темпа износа резцов в различных условиях можно выполнить с помощью матрицы (рис. 2).

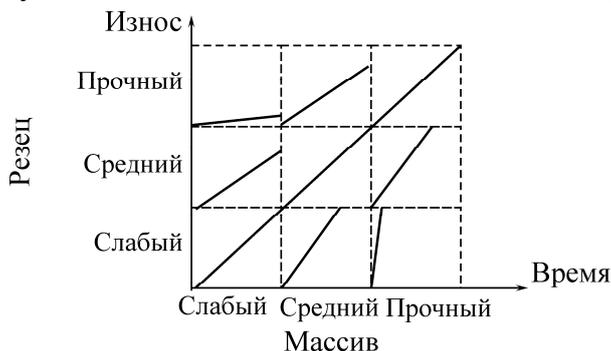


Рис. 2. Матрица качественной оценки темпа износа комбайнового резца при разрушении породного массива различной прочности

Прочность разрабатываемого массива определяет не только срок службы резцов, но и, воздействуя через них на узлы и механизмы, эксплуатационный ресурс самого шахтного комбайна. Зависимость, построенная по данным [9], показывает, что при повышении прочности обрабатываемой породы с 30 до 80 МПа ресурс комбайна до капитального ремонта снижается в среднем с 55–60 до 10–12 тыс. м<sup>3</sup> (рис. 3).

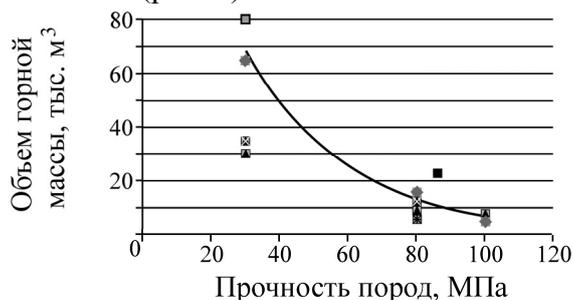


Рис. 3. Влияние прочности породы на эксплуатационный ресурс проходческого комбайна

Для преодоления отрицательного воздействия массива на средства механизации шахтного труда увеличивают мощность приводов комбайнов, усиливают узлы и соединения, изменяют конструкции рабочего органа. Важной проблемой повышения эффективности отбойки горной массы является необходимость совершенствования и повышения прочности режущего инструмента.

Применяемые в настоящее время комбайнами резцы относятся к классу тангенциальных поворотных резцов. Такой резец представляет собой стальной специально обработанный корпус, состоящий из цилиндрического хвостовика и конусной головки. Для повышения стойкости к износу головная часть резца армируется твердосплавным наконечником (рис. 4) [10].

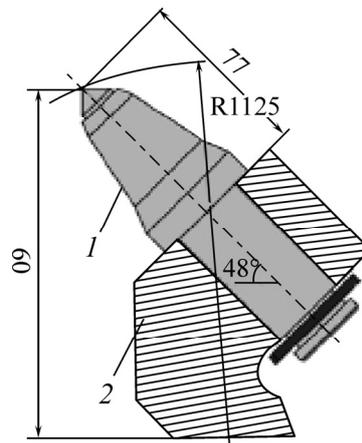


Рис. 4. Тангенциальный поворотный резец для комбайна SL300: 1 — тангенциальный поворотный резец; 2 — резцедержатель

Исследования степени и характера износа резцов, проведенные в шахтах Кузбасса, показали, что интенсивному разрушению подвергается верхняя суженная часть головки резца. На рис. 5 представлен резец, отработавший свой ресурс на проходческом комбайне КП-21.



Рис. 5. Изношенный комбайновый резец (а) и его головка (б)

Установлено, что головки резцов имеют в основном равномерный износ суженной части. При этом средний износ головок составил 20–40 % их длины. Оставшаяся часть головки практически не изменилась и претерпела лишь поверхностный износ 1 мм. Результаты натурного исследования скорости износа головки (сокращения длины) при разрушении прочных пород ( $f = 8$  и более по шкале М. М. Протождяконова) показаны на рис. 6, где кривая 1 описывает уменьшение длины головки с начальных 70 мм, а кривая 2 — суммарный износ головки в процентах нарастающим итогом.

Эксплуатацию резца ведут до износа твердосплавной армировки, после чего он заменяется новым. Имеются технические предложения по продлению срока службы головки путем армирования ее режущими пластинами [11, 12]. При этом практических решений по дальнейшему ис-

пользованию оставшейся части резца долгие годы не находилось и она отправлялась в отходы, что определяло низкий уровень ресурсоэффективности и экономичности процесса отбойки горной массы.

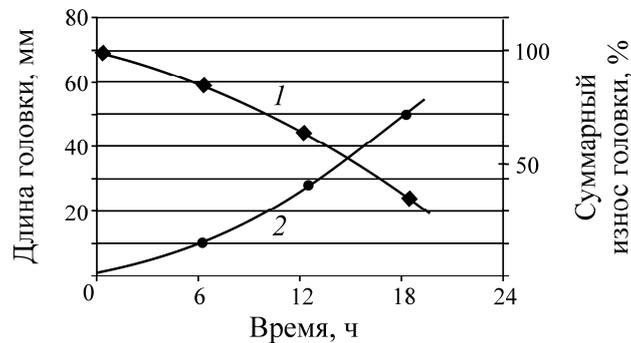


Рис. 6. Скорость износа головки резца

На основе анализа выполненных исследований темпа и характера износа резцов, их конструктивного исполнения и условий применения разработана новая конструкция резца, обладающего ремонтпригодностью и увеличенным сроком службы. Предложено изготавливать головку резца со сменной рабочей частью, что позволило сделать его многоразовым в применении (рис. 7).



Рис. 7. Резцы многоразового применения на проходческом комбайне КП-21

Благодаря изготовлению сменной головки с возможностью поворота вокруг оси резца инструмент обретает второй узел вращения (первый — в резцедержателе), чем обеспечиваются более легкие условия для проворачивания, равномерного изнашивания и длительной эксплуатации наконечника. После его полного износа рабочая часть головки заменяется, а сам корпус резца эксплуатируется многократно.

Промышленные испытания в шахте Кузбасса при отбойке угля крепостью  $f = 1.1$  с присечкой 70% прочных пород крепостью  $f = 6...8$  по шкале М. М. Протодяконова показали хорошую работоспособность сменной головки и длительный срок службы резца. Благодаря возможности многократной смены изнашивающихся головок и продления срока службы резца на порядок, расход металла на изготовление и использование резцов сократился до 20 раз [13].

Дальнейшими исследованиями установлено, что конусная форма инструмента мало пригодна для резания массива. Механизм разрушения породы таким резцом описан в работах [14, 15] и имеет скалывающе-вырывающий характер. Это обусловлено тем, что резец при своем перемещении в заглубленном положении массив не режет из-за отсутствия режущей грани, а порода перед резцом деформируется, уплотняется, измельчается, а после достижения критических

напряжений происходит хрупкий скол и отрыв породных частиц различных размеров и форм от массива. Такой режим разрушения требует больших усилий на внедрение инструмента в породу, высоких энергозатрат комбайна и высокой прочности узлов и трансмиссий. Как показано в [14], распределение энергии на разрушение угля тангенциальным резцом происходит следующим образом: 50–78 % — на образование измельченного ядра; 20–46 % — на трение резца об уголь; 1 % — на образование трещин.

Помимо потребления большого количества энергии, измельченное породное ядро выступает источником интенсивного пылеобразования в забое. Пыль, смешиваясь с метаном, образует взрывоопасную среду, а интенсивное трение резца о массив ведет к искрообразованию. Нередко перечисленные факторы служат причиной взрыва в шахте, для предотвращения чего требуются специальные устройства и мероприятия.

Устранить перечисленные недостатки резцов позволяет смена принципа разрушения с разрыва на резание посредством изменения формы твердосплавного элемента с конусной на лезвийную. Результатом становится обретение резцом высокой режущей способности с меньшими усилиями, энергоемкостью и пылением вследствие уменьшения образования мелкодисперсных частиц. Конструкция резца с лезвийным наконечником в форме режущего диска представлена на рис. 8.

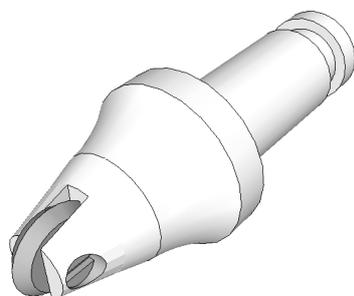


Рис. 8. Резец многоразового применения, оснащенный режущим диском

Режущий диск из твердосплавного материала размещают в осевой прорези сменной части головки резца. Закрепляют диск на оси вращения, выполненной в виде винта, вкручиваемого в тело сменной части головки в резьбовое отверстие. Для предохранения винта от повреждения породой его головка со шлицем заглублена в резьбовое отверстие. Диск имеет сплошную заостренную под углом 60–80° режущую кромку. Сменная часть головки крепится к основной головке посредством осевого выступа, оснащенного разжимным полукольцом.

Эксплуатацию резца осуществляют на шахтном комбайне, а именно на его исполнительном органе, который, вращаясь, обеспечивает внедрение резца в массив. С момента контакта резца с массивом, благодаря силе трения и двум узлам вращения инструмента, диск поворачивается по линии наименьшего сопротивления. Его режущая кромка совмещается с линией перемещения резца по поверхности массива, заглубляется в него и производит процесс резания. Разрушение массива происходит в облегченном режиме, так как проникающая способность режущей кромки диска выше, чем у конусного наконечника. Механизмы комбайна работают без динамических перегрузок с меньшим потреблением энергии. Установкой резцов на рабочем органе комбайна по определенной схеме добываются нужной частоты линий резания массива для отделения от него частей.

Вращение диска обеспечивает равномерный и длительный износ режущей кромки. После неизбежного затупления режущей кромки диска винт, выполняющий функцию оси вращения, выкручивается из резьбового отверстия, устанавливается следующий диск и сменная головка готова к дальнейшей эксплуатации. Это позволяет увеличить продолжительность ее применения. В случае

чрезмерного износа диска и повреждения сменной рабочей части головки ее заменяют на новую. При этом сам резец — хвостовик и основную головку — продолжают использовать. Это дает возможность существенно увеличить ресурс резца по сравнению с известными решениями.

Конструктивная проработка изделия и изучение механизма разрушения породы предлагаемым одиночным резцом и исполнительным органом комбайна в целом находятся в стадии постановки. В первом приближении этот механизм может быть сопоставим с разрушающим действием дискового скалывающего инструмента, результаты изучения которого освещаются с 90-х годов прошлого века [16, 17]. В последние годы в этом направлении все активнее применяются методы компьютерного моделирования [18, 19].

Однако уже сейчас можно оценить преимущества нового резца. Так, изготовление поворотной рабочей части головки облегчает условия вращения лезвия и его установки благодаря силе трения о массив по направлению резания. Вследствие того что длина режущей кромки диска на несколько порядков больше длины конусной режущей вставки, срок службы предлагаемого лезвийного резца возрастает сопоставимо. Это означает, что усилие внедрения инструмента в породу будет длительное время оставаться на низком уровне. Величину этого усилия можно оценить по рис. 9 [14]. Острая режущая кромка диска обеспечит ему на длительное время существенно меньшее усилие внедрения (кривая 1) в сравнении с конусной твердосплавной вставкой нынешнего резца. Так, острый инструмент для внедрения в массив на 1 мм требует усилия 4.7 кН, тогда как на быстро затупившийся конусный наконечник необходимо прикладывать усилия на 70% большие.

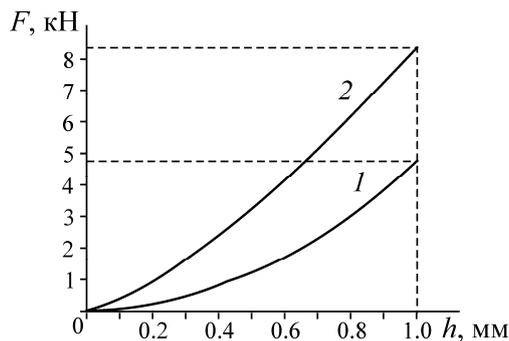


Рис. 9. Зависимость усилия внедрения  $F$  от глубины внедрения  $h$  кернов в форме конуса 1 и эллипсоида 2

Как показали исследования [20], удельные энергозатраты комбайна при использовании конусных ТПР в процессе их затупления уже через сутки возрастают на 20–60%. Если у новых резцов удельные энергозатраты составляли 3.5 кВт·ч/м<sup>3</sup>, то к концу суток использования инструмента они были равны 5.5 кВт·ч/м<sup>3</sup> (рис. 10).

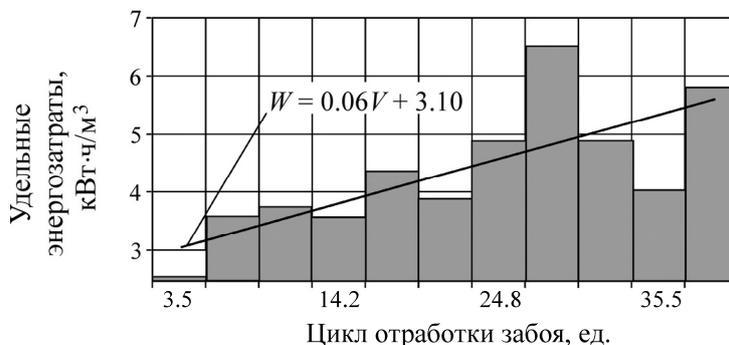


Рис. 10. Зависимость удельных энергозатрат от цикла отработки забоя за период между двумя смежными ремонтными сменами

К ускоренному затуплению применяемых в настоящее время ТПР приводит нередкое заштыбование резцедержателей породной пылью и прекращение вращения инструмента. Продолжение эксплуатации резцов в таком состоянии сопровождается быстрым односторонним износом головки, уменьшением угла заострения армировки, а в дальнейшем ведет к ее выламыванию и выходу резца из строя. Лезвийный резец вследствие большой длины режущей кромки длительное время будет эксплуатироваться в режиме низких энергозатрат.

Новая конструкция комбайнового резца с твердосплавной вставкой в форме режущего диска позволяет перераспределять полезную энергию с переизмельчения породы и преодоления сил трения на образование трещин, что облегчает условия внедрения инструмента в массив и повышает эффективность его разрушения. После затупления диска его заменяют новым, а при повреждении всей рабочей части головки проводят средний ремонт с заменой обеих деталей прямо в шахтном забое без выдачи на земную поверхность. При этом потребность в замене всего резца наступает после десятикратного и более использования сменной головки.

### ВЫВОДЫ

Основными факторами эффективности разрушения угля и породы в шахте являются механические характеристики — прочности массива и резца. Различные их сочетания обуславливают разную интенсивность взаимного разрушения инструмента и породного массива. Высокая прочность разрушаемого массива увеличивает расход резцов и активно сокращает срок службы шахтного комбайна. При повышении прочности отрабатываемой породы с 30 до 80 МПа ресурс комбайна до капитального ремонта снижается в среднем с 55–60 до 10–12 тыс. м<sup>3</sup>.

Применяемые на шахтных комбайнах тангенциальные поворотные резцы, несмотря на ряд достоинств, имеют существенный недостаток — одноразовый характер эксплуатации, что определяет их низкую ресурсоэффективность и экономичность. Натурные исследования характера и степени износа резцов, условий и режимов их использования позволили разработать конструкцию многократного резца со сменной рабочей частью головки. Промышленные испытания новых резцов показали увеличение срока их эксплуатации по сравнению с применяемыми в настоящее время на порядок.

Установлено, что механизм разрушения породы резцом с конусной формой наконечника носит скалывающе-вырывающий характер. На разрушение массива требуются значительные усилия инструмента и высокие энергозатраты комбайна. Образующееся перед наконечником измельченное породное ядро выступает источником пыления в забое. Пыль, смешиваясь с метаном, образует взрывоопасную среду, а интенсивное трение резца о массив ведет к активному искрообразованию. Перечисленные факторы свидетельствуют о высокой взрывоопасности используемых резцов и требуют разработки специальных мер предотвращения взрыва в забое.

Устранить перечисленные недостатки резцов позволяет смена принципа разрушения массива с разрыва на резание посредством изменения формы твердосплавного элемента с конусной на лезвийную. Оснащение поворотной рабочей части головки сменным режущим диском облегчает условия проникновения инструмента в массив в течение длительного времени эксплуатации, предотвращает образование переуплотненного ядра породы перед резцом, снижает трение изделия о массив. Возможность обновления сменной рабочей части головки дополняется отдельной заменяемостью изношенного диска, что значительно продлевает срок эксплуатации резца на комбайне. Следствием является повышение ресурсоэффективности разрушения горных пород комбайном.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Итоги** работы угольной промышленности России за 2013 год: составитель И. Г. Таразанов // Уголь. — 2014. — № 3.
2. **Каталог** инструмента / ООО “Горный инструмент”, 2009.
3. **Каталог** инструмента фирмы ВЕТЕК. Режим доступа: <http://www.betek.de/ru/productprogramme/ining-tunneling.html> (Дата обращения 17.03.2014 г.).
4. **Бизнес система** Кеннаметал / Каталог продукции фирмы Кеннаметал, 2006.
5. **Современное оборудование** компании Sandvik для угольных шахт // Горн. пром-сть. — 2011. — № 2.
6. **Резцы** для шахтного и дорожного оборудования Sandvik Mining and Sandvik Construction. Режим доступа: <http://www.mining.sandvik.com/SANDVIK/1181/Internet/CIS/S000924.nsf/Alldocs/C1256D39002> (Дата обращения 12.01.2014 г.).
7. **Ковалев В. А., Хорешок А. А., Кузнецов В. В., Мухортиков С. Г., Дрозденко Ю. В.** Эксплуатация проходческих комбайнов на шахтах ОАО “СУЭК-Кузбасс” // Вестн. КузГТУ. — 2013. — № 2.
8. **Хорешок А. А., Цехин А. М., Борисов А. Ю.** Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов // Горн. оборудование и электромеханика. — 2012. — № 6.
9. **Габов В. В., Задков Д. А., Лыков Ю. В., Гуримский А. И., Шпилько С. И.** Особенности эксплуатации проходческих комбайнов на шахтах ОАО “Воркутауголь” // Горн. оборудование и электромеханика. — 2008. — № 12.
10. **Крестовоздвиженский П. Д., Клишин В. И., Никитенко С. М., Герике П. Б.** Выбор формы армирующих вставок для тангенциальных поворотных резцов горных машин // ФТПРПИ. — 2014. — № 6.
11. **Prokopenko S. A., Sushko A. V., Kurzina I. A.** New design of cutters for coal mining machines, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 91.
12. **Прокопенко С. А., Лудзиш В. С.** Проблемы инновационного курса развития горнодобывающих предприятий России // Горн. журн. — 2014. — № 1.
13. **Прокопенко С. А., Лудзиш В. С., Курзина И. А., Сушко А. В.** Результаты промышленных испытаний шахтных резцов многоразового применения // Горн. журн. — 2015. — № 5.
14. **Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин** / А. А. Хорешок, М. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов, П. В. Бурков, С. П. Буркова, П. Д. Крестовоздвиженский; Юрг. технолог. ин-т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013.
15. **Aksenov V. V., Lavrikov S. V., Revuzhenko A. F.** Numerical modeling of deformation processes in rock pillars, Applied Mechanics and Materials, 2014, Vol. 682.
16. **Герике Б. Л.** Качественные особенности процесса разрушения крепких горных пород дисковым скалывающим инструментом и их количественные оценки // ФТПРПИ. — 1991. — № 2.
17. **Герике Б. Л.** Моделирование разрушающего действия дискового инструмента проходческо-очистных комбайнов на породный массив // ФТПРПИ. — 2008. — № 5.
18. **Khoreshok A. A., Mametyev L. E., Borisov A. Yu., Vorobeyev A. V.** The distribution of stresses and strains in the mating elements disk tools working bodies of roadheaders, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol. 91, Article number 012084.
19. **Khoreshok A. A., Mametyev L. E., Borisov A. Yu., Vorobeyev A. V.** Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms, Applied mechanics and materials, 2015, Vol. 770.
20. **Шабаев О. Е., Хищенко Н. В., Бридун И. И.** Формирование усилий резания на резцах исполнительного органа проходческого комбайна с учетом затупления. <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/26246/1/shhicbri.pdf> (Дата обращения 20.03.15 г.).