

УДК 622.232.72.031.2

**О.А. Мирошниченко**

Донецкий национальный технический университет

## **ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ДВИЖИТЕЛЯ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ <sup>1</sup>**

В настоящее время, уголь остается основным отечественных топливно-энергетическим сырьем, гарантирующем энергетическую безопасность и экономическую независимость страны. [1]

В Украине существуют залежи угля, которые в большей степени сосредоточены в Донецком регионе, объем которых оценивается в 34,153 млрд. т, что составляет 28,7% мирового уровня. Этот показатель значительно выше стран Евросоюза, который составляет 17,7% [2].

Для успешного использования природного богатства необходимо применение высокопроизводительных и надежных автоматизированных комплексов. Одним из важных элементов автоматизированного комплекса является очистной комбайн.

В настоящее время, практически все современные отечественные и зарубежные очистные комбайны оснащаются комбайнами с БСП, которые имеют ряд преимуществ: надежность и экономичность в работе; значительное снижение колебаний скорости перемещения за счет повышения жесткости системы перемещения; повышение безопасности работ за счет ликвидации тяговой цепи; возможность применения в лаве двух и более комбайнов; простота конструкции и малые габариты приводного элемента [3].

Наибольшую актуальность вопрос механизации выемочных работ очистными комбайнами с БСП приобретает на тонких пластах полого падения, т.к. промышленные запасы которых составляют большую часть общего количества в стане, и составляет 80%. Удельный вес добычи из пластов пологого падения возрос за последние 26 лет на 9% [4]

Для выемки тонких пологих пластов в настоящее время применяются современные механизированные комплексы типа УКД 200-250, УКД 300, УКД 400, которые обеспечивают стабильную нагрузку 1000-2500 т/сут. Особенностью работы таких механизированных комплексов является ограниченность габаритов комбайна (в первую

---

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством проф. Горобца И.А., каф. ТМ

очередь по высоте), беспокойная гипсометрия пластов, наличие в пластах твердых включений и прослоек и др.

Следовательно, это накладывает и дополнительные требования и к движителям БСП, связанные с ограничением габаритов. Исходя из этого, рассматриваемые движители выполнены двухэлементными, которые состоят из приводного зубчатого колеса, взаимодействующего с зубчатой (цевочной) рейкой, установленной на конвейере.

Однако, эксплуатация очистных комбайнов с движителя БСП имеет ряд особенностей: неравномерность скорости перемещения, неравномерность тягового усилия, наличие знакопеременных радиальных усилий, которые вызывают изменение мгновенного КПД передачи [5].

В оценке работоспособности движителей БСП большое значение имеет его конструктивные особенности, т.е. качество зацепления движителя – пары «колесо-рейка», т.к. важно обеспечить плавность хода комбайна и минимальные усилия в зацеплении. Эти параметры, в конечном итоге, могут повлиять на положение комбайна в пространстве и следовательно смещать исполнительный орган. Так же при оценке работоспособности движителя необходимо учитывать минимальный износ элементов движителя. Требуется исключение кромочного контакта вершины зуба колеса с рейкой при выходе из зацепления.

Поскольку БСП очистных комбайнов эксплуатируются в тяжелых шахтных условиях [8], где имеет место изменение межосевого расстояния (до 15%), в связи с появлением знакопеременных радиальных усилий [6], и изменением шага зубьев рейки (до 3%), из-за погрешностей изготовления элементов рейки и преодоления стыков реечного става [6]. В результате чего мгновенный КПД передачи может изменяться в пределах 0,3 – 0,93 [9].

Согласно исследованиям [3] точность изготовления зубчатых элементов колесно-реечных механизмов влияет на кинематические и силовые характеристики работы движителей очистных комбайнов.

Кинематическими параметрами процесса зацепления, существенно влияющими на производительность комбайна и долговечность движителя БСП, являются: скорость перемещения комбайна вдоль лавы  $V_K$  и величина относительного скольжения зубьев приводного колеса  $S_{LK}$ .

$$S_{LK} = \{(\rho_{i-1} - \rho)^2 + 2\rho_{i-1}\rho[1 - \cos(\psi_i - \psi_{i-1} - dy)]\}^{0,5} \times \text{sign}(\rho_{i-1} - \rho); \quad (1)$$

$$V_K = \omega[(x_K)_K^2 + (y_K)_K^2]^{0,5} \operatorname{sinarctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\}. \quad (2)$$

Для анализа силовых характеристик зацепления определим такие параметры как: величина и неравномерность усилия зацепления; значения радиального усилия зацепления, интегральный показатель зацепления – КПД движителя.

Тяговое усилие, F

$$F = Q \cos \left[ \pi - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctgf}_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \quad (3)$$

Радиальное усилие, R

$$R = Q \sin \left[ \pi - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctgf}_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \operatorname{sing} S_{LK} \quad (4)$$

Крутящий момент на валу приводного колеса, T

$$T = Q((x_K)_K^2 + (y_K)_K^2)^{0,5} \cos \left[ \operatorname{arctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\} + \frac{\pi}{2} - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctgf}_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \quad (5)$$

КПД движителя определим, как отношение полезной мощности движителя к развиваемой мощности на валу приводного колеса

$$\eta_D = \cos \left[ \pi - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctgf}_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \times \operatorname{sinarctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\} \quad (6)$$

В формулах (1) – (6) обозначено  $\rho_{i-1}$ ,  $\rho_i$ ,  $\psi_{i-1}$ ,  $\psi_i$  – полярные координаты точки контакта на профиле зубьев колеса при  $i-1$  и  $i$  его повороте,  $du$  – приращение угла поворота колеса,  $\omega$  – угловая скорость приводного колеса движителя БСП,  $Q$  – усилие зацепления,  $(x_K)_K$ ,  $(y_K)_K$  – координаты точки контакта зубьев приводного колеса,  $(\Phi'_x)_k$ ,  $(\Phi'_y)_k$  – значения частных производных соответственно в переменных  $x$  и  $y$  функции  $\Phi(x,y)$  в точке контакта,  $f_3$  – коэффициент трения в зацеплении.

При описании процесса изнашивания определяющими факторами являются геометрические и силовые параметры движителя БСП, так же трибологические характеристики взаимодействующих деталей. Исследование нагружения БСП колесно-реечного типа показало, что процесс изнашивания зубчатого колеса и рейки может быть оха-

рактизован величиной скорости изнашивания, которая зависит от режима работы рассматриваемой точки взаимодействующих профилей и свойств материала. [7]

Интенсивность изнашивания определяется по зависимости:

$$I = A_2(B_2P_{i,k}^3 + C_2P_{i,k}^2 + D_2P_{i,k}) \quad (7)$$

где  $A_2$  – коэффициент абразивного ускорения износа материала колеса;  $B_2$ ,  $C_2$ ,  $D_2$  – коэффициенты для определения механической составляющей изнашивания колеса;  $P_{i,k}$  – контактная нагрузка в паре «колесо-рейка» движителя.

В настоящее время, наибольшее распространение получила такая конструкция колесно-реечного движителя (рис. 1), где зубчатое колесо взаимодействует с цевочной рейкой

Рейка приведенного очистного комбайна КДК500Ш, разработанная еще в 80-е годы XX века в компании Eickhoff и принятая на «вооружение» в конструкции «Донгипроуглемаш» корпорации «Горные машины».

Технология изготовления рейки, состоящей из основания, цевок и рамы, имеет особенности. Во-первых тип производства элементов

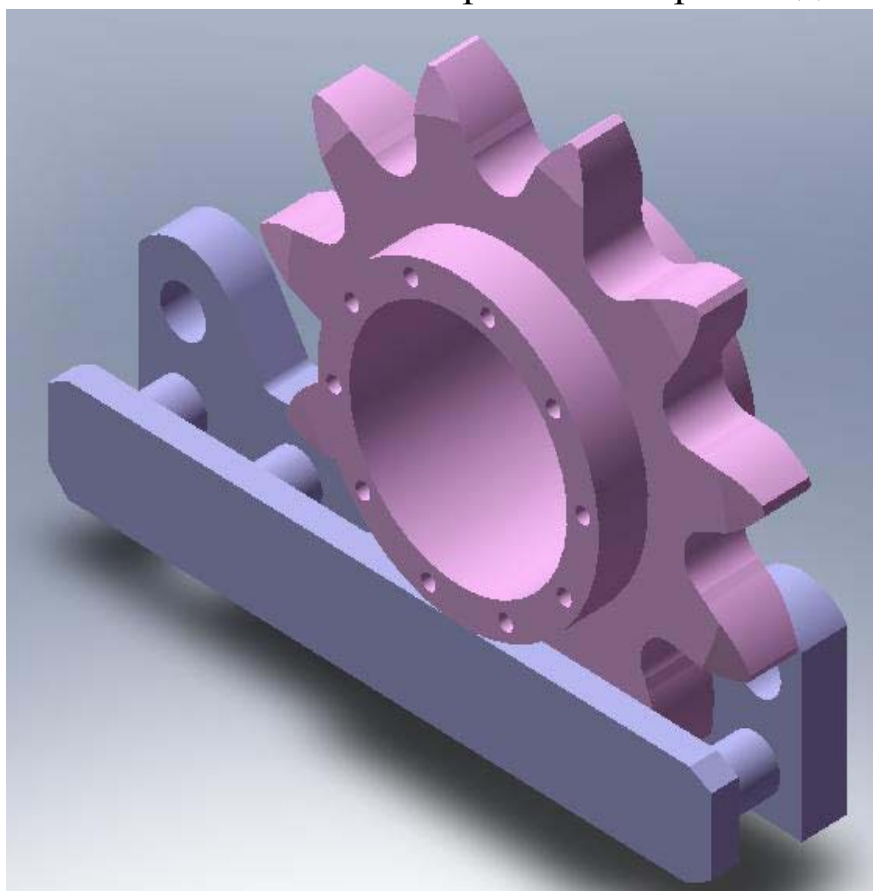


Рисунок 1 - Трехмерная модель движителя очистного комбайна КДК500Ш

рейки массивной. Во-вторых, в качестве заготовок основания и рамы, в настоящее время, применяется литье, а в качестве заготовок цевок – стальной круглый прокат, который впоследствии требует механическую и термическую обработку. Механическая обработка цевок рейки реализуется черновым точением. После установки всех цевок в отверстия основания и рамы, их обваривают. В-третьих – в связи с поводками после сварки, точность реечного става уменьшается.

Таким образом, технология производства цевочной рейки трудоемка, требует значительных затрат времени, а следовательно и повышенной себестоимости, и не обеспечивает достаточной прочности. Учитывая массивный характер изготовления рейки, стоимость БСП горного комплекса существенно выше стоимости цепного тягового органа, используемого в некоторых вариантах конструкции комбайнов.

В АО «Гипроуглемаш» разработана конструкция механизма подачи очистного комбайна БСП-1, рис. 2 а, когда тяговый орган представлен сферическими элементами – цевками, расположенных внутри трубы.

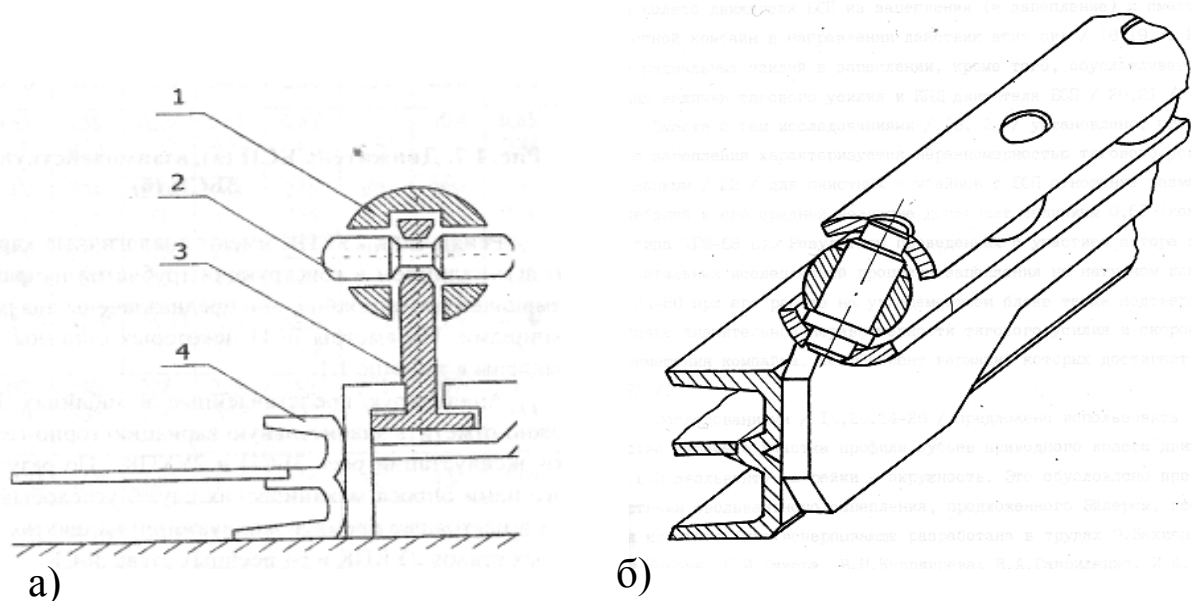


Рисунок 2 – Рейка движителя БСП с сферическими цевками:  
а) схема установки БСП-1 на завальном борту скребкового конвейера; б) вид реечного става БСП комбайна К-104

Цевки секций направляющей 1 выполнены в виде пальцев 2 с полусферическими концами. Пальцы 2 свободно вставлены в отверстия и имеют возможность проворачиваться в момент зацепления с приводной звездой, что уменьшает их совместный износ. Соединение секций направляющей производится на их стыках с помощью опор 3.

Полки удерживают опору 3 с направляющей 1 от подъема над конвейером и поперечного смещения и обеспечивают возможность ее продольного перемещения относительно конвейера, что исключает возникновение дополнительных усилий, которые могут возникнуть в процессе передвижки конвейера на забой. Данная конструкция за счет особенностей монтажа на конвейере обеспечивает приспособляемость к перекосам.

Аналогичная конфигурация реечного става, рис. 2б, реечного става применяется в механизме подачи комбайна К-104. При зацеплении зубьев приводного колеса со сферами последние проворачиваются относительно трубы, устраняя скольжение зубьев в зацеплении. Зубчатая рейка механизма подачи такой конструкции является одновременно и опорным элементом комбайна. Это позволяет при расположении центров сфер по оси цилиндрической направляющей рейки компенсировать влияние колебаний корпуса на процесс зацепления.

Недостатками движителя БСП, рис. 2, является во-первых сложность его конструкции. Следовательно, трудоемкость его изготовления будет велика. Во-вторых нарушение функционирования за счет заштыбовки элементов движителя, что вызывает уменьшение эффективности работы, а следовательно снижение долговечности механизма подачи очистного комбайна. В связи с этим, данная конструкция движителя БСП не слишком распространена, т.к. трудна в изготовлении и, следовательно, имеет большую стоимость.

Возможно и такая конструкция движителя БСП, рис. 3, когда зубья звездочки, которые имеют вогнутую форму, и взаимодействуют своими вогнутыми полусферическими поверхностями со сферами пальцев, консольно закрепленных на рейке с помощью упругих элементов [10].

Применение данного движителя позволит повысить надежность и долговечность механизма подачи за счет исключения кромочного контакта зубьев звездочки и пальцев рейки при периодических изменениях положения корпуса комбайна в результате его работы, за счет применения вогнутой полусферической формы зубьев звездочки и сферических поверхностей пальца рейки. Это позволяет им самоустанавливаться, что важно при нарушениях взаимного расположения движителей и различных смещениях рейки, имеющих место в реальных шахтных условиях, особенно на пластах с неспокойной гипсометрией. Применений этого движителя позволит значительно снизить динамические нагрузки.

Технология изготовления реечного става имеет такие особенности: тип производства пальцев имеет массовый характер; в качестве заготовок элементов рейки применяют литые. Основание и пальцы рейки требуют механическую обработку, но такая конструкция реечного става не предусматривает сварочные операции для закрепления пальцев на ставу по сравнению с цевочным тяговым органом. Это происходит при помощи упругих элементов. Такая конструкция рейки и пальцев позволяет осуществить быструю замену отдельных изношенных или поломанных пальцев рейки, что значительно сокращает время простоев очистного комбайна, связанных с ремонтом реечного става.

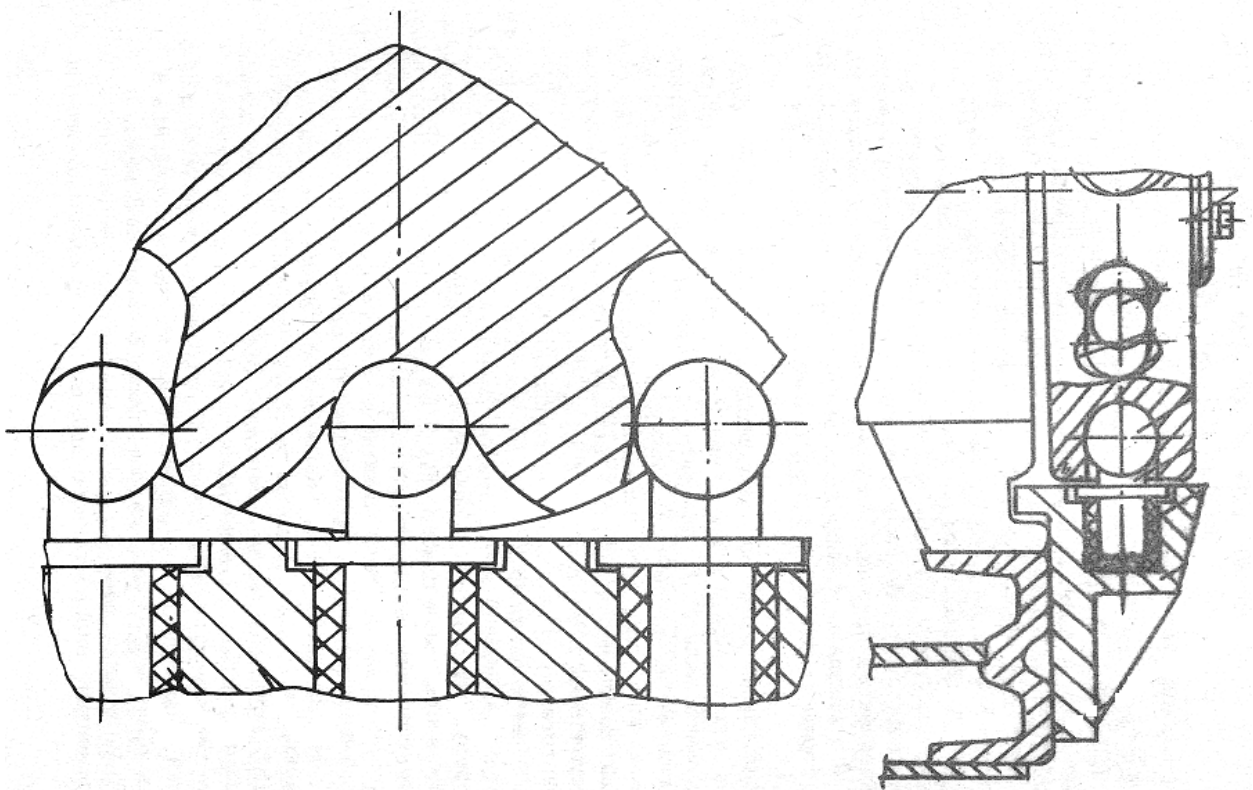


Рисунок 3 – Механизм подачи очистного комбайна

Данная конструкция движителя БСП обладает также повышенной трудоемкостью изготовления элементов движителя, а так же сложной конструкцией.

В ГП «Донгипроуглемаш» была разработана конструкция колесно-реечного движителя БСП очистного комбайна, зубчатая рейка которого, рис.4, является более технологичной в конструкции, чем ранее рассмотренные конструкция реечных ставов.

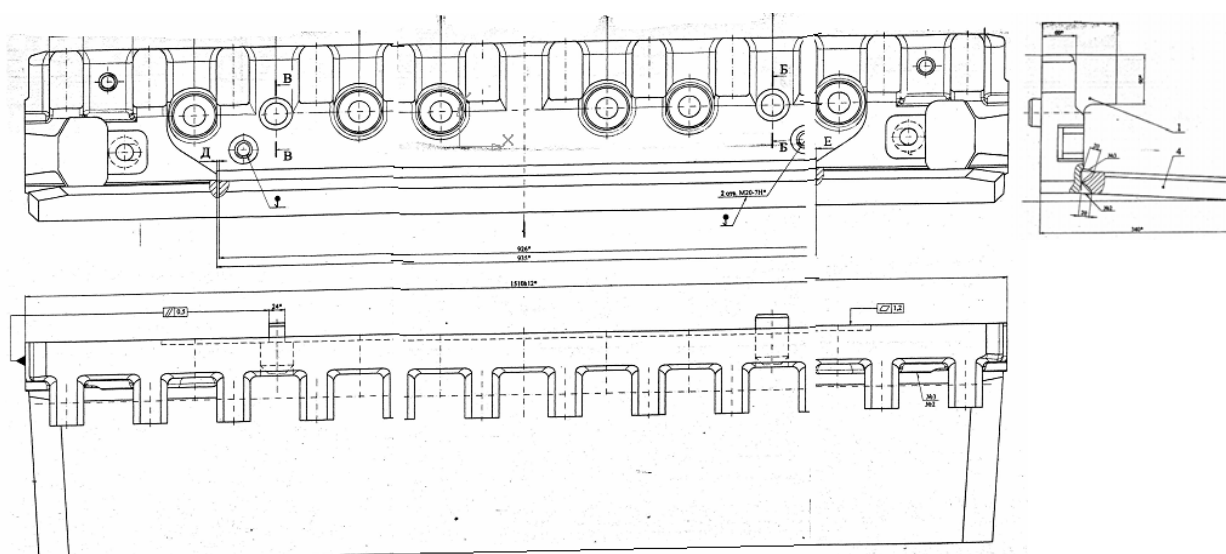


Рисунок 4 – Зубчатая рейка очистного комбайна УКД 400

Такая рейка получается способом литья и предусматривает минимум операций механической обработки резанием, связанных лишь с получением четырех отверстий для крепления рейки к ставу скребкового конвейера и фрезерованием двух призонных поверхностей по длине детали и двух торцов рейки.

Таким образом, как видно из описания технологии обработки, рейка имеет меньшую трудоемкость при изготовлении, в сравнении с трудоемкостью изготовления цевочной рейки. Зубья рейки не нуждаются в точной обработке, их профиль может быть получен литьем. Точность обработки зубчатой рейки, рис. 2, главным образом определяется точностью заготовки – отливки. Хотя точность отливки и не высока, но существуют методика выбора параметров зацепления движителя, позволяющая максимально повысить КПД зацепления с учетом погрешности зацепления [5].

Таким образом, анализ особенностей конструкций и технологии изготовления колесно-реечных движителей позволил сделать следующие выводы. Наиболее распространенной, в настоящее время, является цевочная рейка, которая обладает простотой конструкции, но трудоемкой технологией изготовления. Некоторое применение нашли движители с реечным ставом со сферическими цевками и конструкция реечного става с консольно-закрепленными пальцами. Однако такие движители БСП механизма подачи обладают повышенной трудоемкостью изготовления элементов движителя и сложностью конструкции. Наиболее технологичной и менее затратной является



конструкция литого зубчатого реечного става, по сравнению с конструкциями приведенных реек.

Список источников:

1. Грядущий Б.А., Мухин Е.П., Грядущий В.Б. Стратегические направления возрождения угольной отрасли // Уголь Украины. – 2007. – № 1. – С. 9.
2. <http://www.ok2invest.com> Отраслевые обзоры, а также обзоры по отдельным предприятиям Украины
3. Бабенко М.О. Исследование точности изготовления реек бесцепных систем подачи горных комбайнов // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: Материалы восьмого научно-практического семинара. Г. Донецк, 17-20 апреля 2007 г. В 3-х томах. Т.2 – Донецк, ДонНТУ, 2007 – 67-70 с.
4. <http://www.coal.in.ua/> Вскрытие и подготовка угольных месторождений
5. Горобец И.А., Бен Айша Зиед "Проектирование колесно-реечного зубчатого зацепления с оптимальными параметрами". Статья опубликована в студенческом научно-техническом журнале Инженер N2/2002
6. Горобец И.А. Результаты исследования параметров зацепления движителей БСП очистных комбайнов Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научн.-техн. сб.,- 1991, вып. 88.- с. 31-36
7. Бреннер В. А., Лукиенко Л. В Повышение ресурса бесцепных систем подачи угледобывающих комбайнов. РХТУ им. Д. И. Менделеева. Новомосковский институт, Новомосковск, 2004. – 204 с.
8. Горобец И.А., Русланов Р. Г., Оптимизация геометрии зацепления колесно-реечных движителей// Качество машин: Сб. тр. IV международная научно-техническая конференция 10-11 мая 2001 г. Г. Брянск. – Брянск: БГТУ, 2001 – Т.1. – с. 27-29.
9. Горобец И. А., Бабенко М. О. "Влияние погрешности профиля зубьев на характеристики колесно-реечных движителей" в сб. труде XIII Международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006г. В 5-х томах. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Т1 - с. 267-270
10. Бойко Н.Г., Горобец И.А., Шевцов В.Г., Нечепаев В.Г., Болтян А.В. Движитель механизма подачи очистного комбайна. – Рационализаторские положения и изобретения, рекомендуемые Министерством для внедрения на заводах угольного машиностроения. – М.: ЦНИЭИуголь, 1988. - №4. – с. 25-27.