

УДК 622.232.72.031.2

И.А. Горобец (канд. техн. наук, проф.)**О.А. Мирошниченко** (аспирант)

Донецкий национальный технический университет

ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ ОЧИСТНЫМИ КОМБАЙНАМИ С ДВИЖИТЕЛЯМИ БСП

Приведен анализ современного состояния угольной промышленности, технического уровня перевооружения очистных забоев шахт Украины. Исследован процесс зацепления для определения влияния погрешностей геометрических параметров элементов колесно-реечного движителя БСП на силовые и кинематические параметры работы механизма перемещения очистного комбайна.

Ключевые слова: промышленность, комбайн очистной, БСП, параметры, погрешность, производительность, долговечность

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Анализ современного мирового состояния производства угля, а так же его потребления показывает, что уголь был и остается основным энергетическим ресурсом, а его роль в мировом топливно-энергетическом комплексе постоянно растет [1]. С одной стороны это связано с ограниченностью запасов и неравномерностью распределения ресурсов нефти и природного газа, а с другой - огромные запасы угля, а так же относительная их доступность, определили в настоящий момент бурное развитие угольной промышленности во всем мире.

В Украине угольной промышленности отводится особая роль по обеспечению стабильного функционирования и развития национальной экономики, т.к. уголь является единственным энергоносителем, которого в Украине потенциально достаточно для полного обеспечения собственных потребностей. Поэтому угольная промышленность Украины является одной из базовых отраслей экономики, поскольку обеспечивает своей продукцией электроэнергетику, металлургию и другие отрасли, и гарантирует энергетическую безопасность и независимость страны.

Однако в настоящее время полноценному удовлетворению энергетических потребностей страны препятствует неудовлетворительная работа угольной промышленности из-за запущенности шахтного фонда, медленного и неэффективного технического перевооружения

большинства угольных предприятий в усложняющихся горно-реологических условиях [8].

Анализ исследований и публикаций. Решению проблемы совершенствования и повышения эффективности эксплуатации оборудования очистных забоев посвящены работы В.А. Бреннера, Л.В. Лукиенко, Н.Г. Бойко, В.А. Антипова, А.И. Зильбермана, И.А. Горобца, В.В. Косарева, В.Г. Гуляева, А.Г. Фролова, В.П. Кондрахина и др. Вопросы создания высокопроизводительных БСП отражены в работах [2-6], где авторы разработали принципиальные схемы конструкций и обосновали параметры цевочного зацепления и зацепления колеса и рейки с оптимальным профилем зубьев.

Задачи исследования.

Выполнить анализ современного состояния добычи угля в Украине. Выявить влияние погрешностей геометрии приводных элементов движителей БСП на параметры зацепления.

Изложение основного материала исследования.

В динамике структуры мирового потребления традиционных энергоресурсов в 2009 г. по видам топлива наибольший удельный вес принадлежал нефти (34,8%), углю (29,4%) и природному газу (23,8%), а наименьший – гидроэлектроэнергии (6,6%) и атомной энергии (5,4%). Сейчас же, в динамике общего потребления ресурсов, удельный вес нефти в общемировом балансе сокращается, а потребление угля возрастает. Так согласно Сценарию новых стратегий спрос на первичную энергию увеличится с 11164 млн. т (2009 г.) до 16700 млн. т к 2030 г. (или на 146,6%) [1]. В целом, мировое потребление электроэнергии на 40,2% вырабатывается на угле, в том числе ЮАР – до 90%, Китай – до 80%, Австралии – более 70%, Индии - более 45%, США – до 50% [1]. Следовательно, энергетический рынок мира в настоящее время и в перспективе ориентируется на потребление угля, это вызвано и тем, что использование угля дешевле использования природного газа или нефти. Следует отметить, что в Украине ввиду повышения цен на газ все усилия национальной экономики будут направлены на сокращение внешней закупки газа и переход на уголь.

По данным обзора мировой энергетики Statistical Review of World Energy в июне 2012 г. [9] разведанные запасы угля в Украине насчитывают 33,873 млрд. т, что составляет 3,9% мирового запаса угля (рис. 1). При этом, Украина находится в первой десятке стран по уровню угольного потенциала.

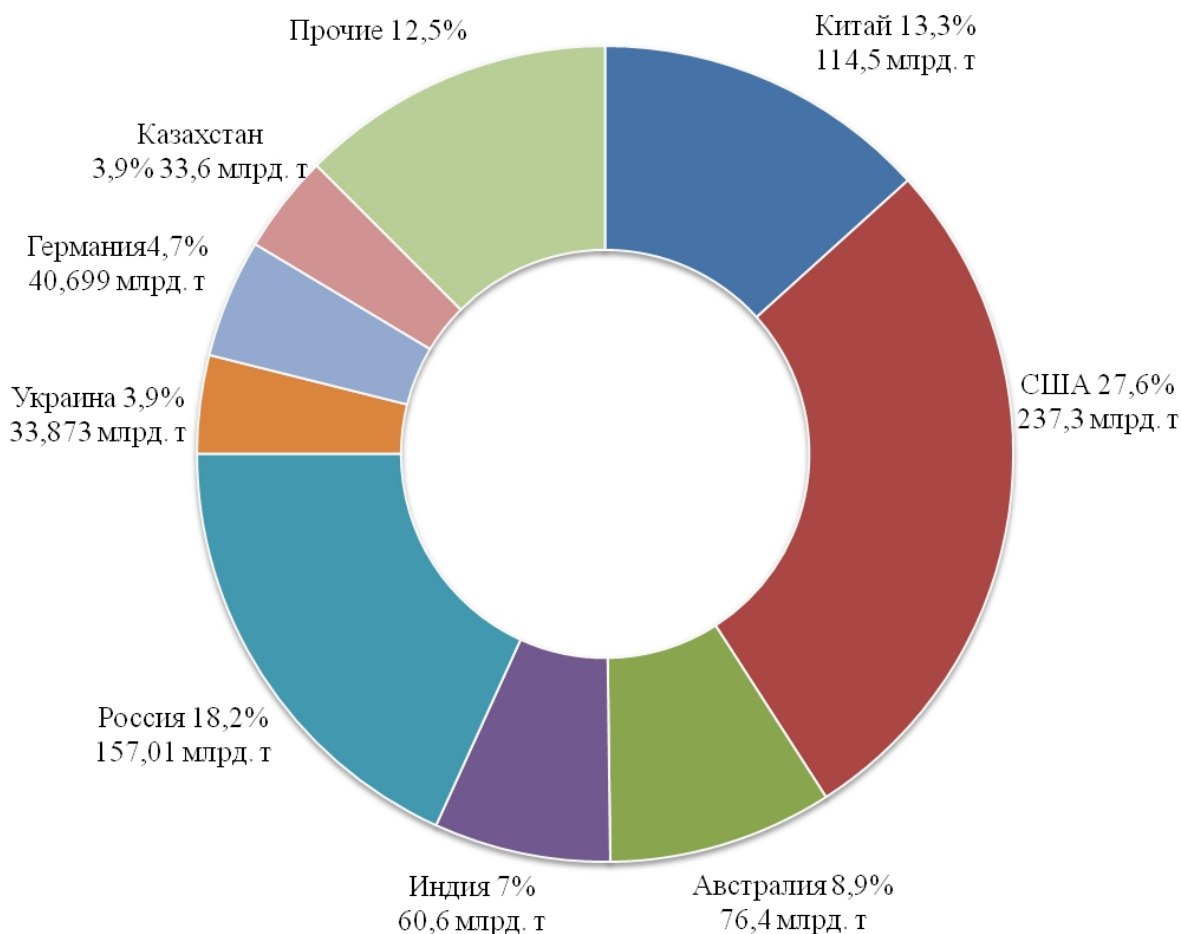


Рисунок 1 – Диаграмма распределения разведанного ресурса угля в мире

Однако при таком высоком потенциале природных ресурсов удельный вес добычи угля составляет лишь 1,1% (86,8 млн. т) (рис. 2), при том, что в Китае – 49,5% (3520 млн. т), в США – 14,1% (992,8 млн. т), в Австралии – 5,8% (415,5 млн. т), в России – 4% (333,5 млн. т).

Общий темп роста мировой добычи увеличивается в основном за счет темпов роста добычи в Китае (255,5%), в Австралии (128,7%) и Индии (163,0%) [1].

При сложившихся объемах добычи запасов угля в Китае может хватить до 37,5 лет, США – 250 лет, Индии – 165 лет, Австралии – 193 года, России – более 500 лет, Украине – до 200-300 лет, при современном уровне добычи [1].

Запасы угля на территории Украины сосредоточены в основном в трех бассейнах: Донецком, Львовско-Волынском и Днепровском. Большая часть залежей угля сосредоточены в Донбассе (87%), где

угольные пласты преимущественно маломощные (0,6-1,2м). Характер залегания угольных пластов - довольно глубокий (глубина разработки достигает 1,5км), а категория взрывоопасности, из-за газообильности, делает угледобычу достаточно трудоемкой, опасной и при отсутствии соответствующего технического оснащения, мало эффективной.

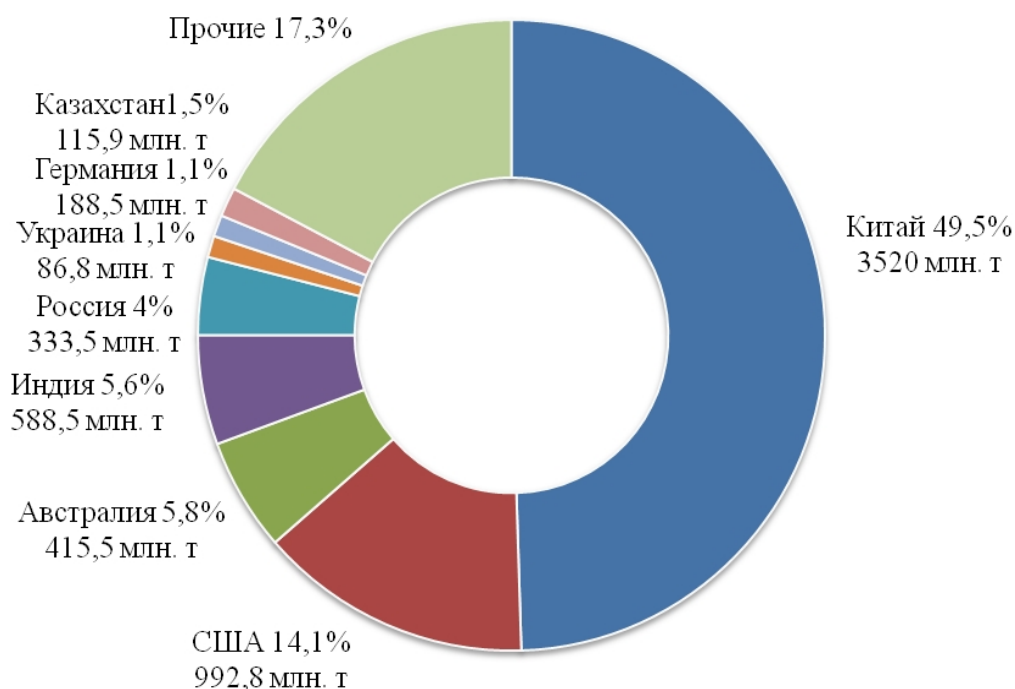


Рисунок 2 – Диаграмма распределения уровня добычи угля в мире в 2011 г.

Поэтому для повышения производительности горно-шахтных работ необходимо применение высокопроизводительного и автоматизированного горно-шахтного оборудования (ГШО), которое обладает кроме прочего и высокой долговечностью, обеспечивающему минимальные простои в работе, связанные с износом или поломкой деталей.

Однако, на сегодняшний день, в очистных забоях около 75% механизированных комплексов не соответствуют современному техническому уровню, малонадежны и не приспособлены для работы в сложно-геологических условиях [8]. Так в 2010 г. 76% действующих комплексно механизированных очистных забоев все еще оснащено устаревшими механизированными крепями, а в 95% из них применялись морально устаревшие очистные комбайны и скребковые конвейеры [8].

Анализ статистических данных 1996-2011 гг. (рис. 3) показывает, что ежегодные темпы сокращения количества очистных забоев составляют 7,1% и на конец 2011 г. их численность составляет 254. При этом увеличение внедрения комплексно механизированных забоев в среднем составляет 20,7%, количество которых, на конец 2011 г. составило 122 и нагрузках на них 1300-1400 т/сут. При этом, годовой объем добычи из этих очистных забоев составил 86,8 млн. т., что выше уровня добычи угля предшествующих лет.



Рисунок 3 – Изменение добычи угля с учетом количества очистных забоев и внедрения современных механизированных комплексов

Таким образом, в последние годы в угольной промышленности Украины ведется техническое перевооружение. Так для выемки пластов мощностью 1,35-3,2 м в составе механизированных комплексов на шахтах Украины используются комбайны 2ГШ68Б, РКУ10,

РКУ13, 1ГШ68. Одним из недостатков комбайнов этого типа - устаревший механизм перемещения и уже не соответствующий современным требованиям, предъявляемым к очистным комбайнам, работающих с высоким уровнем нагрузки. Кроме того, используемые в очистных комбайнах механизмы перемещения с открытой тяговой цепью являются потенциальным источником травматизма рабочих и высокой динамической нагруженности приводов исполнительного органа.

На смену устаревшим комбайнам 1К101, ГШ68, КА80, РКУ10, РКУ13 и т.д. внедрены комбайны нового технического уровня: КА200, УКД200-400, КДК500, УКД400.

В настоящее время наиболее перспективной структурой очистных комбайнов можно считать компоновочную схему со шнековыми исполнительными органами и автоматическим приводом рабочих органов, двухдвигательным механизмом перемещения с частотно-регулируемым приводом [10].

Широкое распространение, в качестве более безопасных систем перемещения очистного комбайна, получили движители бесцепной системы подач (БСП), которые состоят из рейки, закрепленной на конвейере вдоль лавы, взаимодействующей с вращаемым зубчатым колесом (колесами). Однако, несмотря на простоту и безопасность, движитель БСП обладает недостатками, связанными с невысоким КПД, влияющим на производительность очистного комбайна. Это обусловлено наличием значительных радиальных сил зацепления, вызванных не только изменением межосевого расстояния (до 15%), но и шага рейки (до 3%) как на стыках речного става, так и в результате погрешности изготовления зубьев речного става. В результате чего мгновенный КПД передачи находится в пределах 0,3 – 0,93 [7].

Профиль зубьев рейки и зубчатого колеса движителя БСП, можно представить кривыми, описанными соответственно уравнениями вида $\Phi(x,y)$, $\Theta(x,y)$ [7]. Взаимодействие зубчатых элементов возможно при условии, когда координаты вершины рабочего профиля зубьев колеса превысят координаты вершины рабочего профиля зубьев рейки:

$$y_k \geq A_W \pm \Delta A_W - H_B \quad (1)$$

где y_k – координата верхней точки рабочего профиля зуба колеса, A_W , ΔA_W – межцентровое расстояние между зубчатым колесом и рейкой и его изменение соответственно, H_B – высота головки зуба рейки.

При выполнении условия зацепления на взаимодействующих зубьях формируются усилия зацепления Q , расположенные по общей нормали в точке контакта профилей зубьев элементов движителя БСП.

Кинематическими параметрами процесса зацепления, существенно влияющими на производительность комбайна и долговечность движителя БСП, являются: скорость перемещения комбайна вдоль лавы V_K и скорость скольжения зубьев колеса V_S , которые определяются выражениями:

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

$$V_S = dS_{LK} / dy; \quad (3)$$

где ω – угловая скорость приводного колеса движителя БСП, S_{LK} – скольжение зубьев колеса.

Силовые характеристики зацепления определяются как:

Тяговое усилие, F

$$F = Q \cos \left[\pi - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right]; \quad (4)$$

Радиальное усилие, R

$$R = Q \sin \left[\pi - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \operatorname{sign} S_{LK}; \quad (5)$$

Крутящий момент на валу приводного колеса, T

$$T = Q \{(x_K)_K^2 + (y_K)_K^2\}^{0,5} \cos \left[\operatorname{arctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\} + \frac{\pi}{2} - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right]; \quad (6)$$

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

$$\eta_d = \cos \left[\pi - \operatorname{arcctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \cdot \operatorname{sinarctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\}. \quad (7)$$

В формулах обозначено: $(x_K)_K$, $(y_K)_K$ – 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.

Из анализа уравнений (2) – (7) следует, что при зацеплении элементов движителя БСП существует зависимость кинематических и силовых характеристик зацепления от положения точки контакта, а так же определено влияние геометрических параметров на КПД колесно-реечного движителя.

Однако приведенные выше зависимости позволяют определить силовые и кинематические характеристики процесса зацепления лишь для одной пары взаимодействующих зубьев движителя БСП. В реальных условиях, с учетом действительной величины шага рейки и его отклонений от номинального значения, а так же изменений мгновенной величины межцентрового расстояния, необходимо исследовать и производить вычисления для не менее трех пар зубьев колеса и рейки с учетом их упруго-деформированного состояния:

$$F_i = (F - k_{3(i-1)}(E_{ni} \cos(\pi - \arctg \frac{(\Phi'_x)_{ki}}{(\Phi'_y)_{ki}})) + (\arctg f_3) \sin S_{LK(i)} \pm E_{n(i-1)} \cos(\pi - \arctg \frac{(\Phi'_x)_{k(i-1)}}{(\Phi'_y)_{k(i-1)}}) + (\arctg f_3) \sin S_{LK(i-1)} \frac{k_{3i}}{k_{3(i-1)} + k_{3i}}, \quad (8)$$

$$R_i = F_i \operatorname{tg} \left(\pi - \arctg \frac{(\Phi'_x)_{ki}}{(\Phi'_y)_{ki}} + (\arctg f_3) \operatorname{sign} S_{LK(i)} \right) \operatorname{sign} S_{LK(i)}, \quad (9)$$

где k_3 – коэффициент жесткости сопряженной пары зубьев колеса и рейки, E_n – погрешность профиля зуба движителя, обусловленная технологией изготовления либо износом в процессе эксплуатации.

Следовательно, на параметры зацепления большое влияние оказывает величина погрешности взаимного расположения элементов колесно-реечного движителя, связанные с погрешностями изготовления, которые в ходе работы очистного комбайна изменяются в пределах максимального интервала. Это и приводит к дополнительным изменениям кинематических и силовых характеристик зацепления колесно-реечного зацепления, накладывающих свой отпечаток на динамическую нагруженность машины в целом, а так же надежность всего механизированного комплекса.

Таким образом, характеристики кинематического и силового взаимодействия зубьев пары колесно-реечного движителя зависят от профиля пар зацепления, поэтому при изготовлении элементов колесно-реечного движителя возникают вопросы, связанные с необхо-

димой и достаточной точностью их изготовления, позволяющие реализовать кинематическую и силовую характеристики зацепления.

Выводы. В развитии мировой энергетики в перспективе уголь будет являться одним из ведущих энергетических ресурсов. Поэтому для повышения производительности горно-шахтных работ и успешного использования природного богатства страны необходимо применение высокопроизводительного и автоматизированного горно-шахтного оборудования, которое обладает высокой надежностью и обеспечивает меньшие простои в работе, связанные с износом или поломкой деталей.

Для реализации условий высокой производительности очистного комбайна и долговечности БСП необходимо учитывать не только геометрию элементов зацепления движителя, но и погрешность изготовления, монтажа реечного става. Поэтому при проектировании движителя БСП необходимо учитывать аспекты технологии изготовления приводных элементов движителя.

Список литературы

1. Трушина Г.С. Значение угольной промышленности в развитии мировой энергетики / Г.С.Трушина, М.С. Щипачев // Научно-технический и производственно-экономический журнал "Уголь -10". – 2011. – 40-42 с.
2. Бреннер В.А. Повышение ресурса бесцепных систем подачи угледобывающих комбайнов / В.А. Бреннер, Л.В. Лукиенко. – Новомосковск: РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковский институт, 2004. – 204 с.
3. Эксплуатация узкозахватных комбайнов на шахтах Донбасса / И.Л. Элькин, В.А. Антипов, С.С. Казаков и др. – К.: Техника, 1980. – 188 с., ил. – Библиогр.: с 184 – 186. (Б-ка передового опыта. Технология производства).
4. Бойко Н.Г. Теория рабочих процессов комбайнов для добычи угля из тонких пологих пластов: дис. ... д-ра техн.наук / Н.Г. Бойко. – М.: 1985 – 287 с.
5. Докукина А.В. Создание и развитие угледобывающих комбайнов / А.В. Докукина, А.Г.Фролова. – М.: Недра, 1984. – 160 с.
6. Горобец И.А. Оптимизация геометрии зацепления колесно-реечных движителей / И.А. Горобец, Р.Г. Русланов // Качество машин: Сб. тр. IV Международной науч.-техн. конф. 10-11 мая 2001 г. (г. Брянск). – Брянск: БГТУ, 2001 – Т.1. – С. 27-29.
7. Горобец И.А. Влияние погрешности профиля зубьев на характеристики колесно-реечных движителей / И.А. Горобец, М.О. Бабенко // сбор. трудов XIII Международной науч.-техн. конф. в г. Севастополе 11-16 сентября 2006 г. В 5-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Т.1. – С. 26-27.
8. Концепция технико-экономического перевооружения очистных забоев угольных шахт Донбасса / В.И. Зензеров, С.С. Гребенкин, Н.И. Стадник, С.Н. Хромовских // Теорія та практика управління національною економікою: Зб. наук. праць Донецького держ. ун-ту управління. Серія: Економіка. – Донецьк: ДонДУУ, 2011. – Т. XII. – Вип. 189. – С. 36-44.
9. Statistical Review of World Energy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>
10. Константинова Н.И. Кинематические и силовые параметры движителей механизма перемещения очистного комбайна УКД400 / Н.И. Константинова, В.П. Кондрахин // Механика

жидкості и газа. Мат. VIII Международной науч.-техн. студ. конф. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 268 с.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2012

I.O. Горобець, O.O. Мирошніченко. Донецький національний технічний університет

Переозброєння очисних забоїв очисними комбайнами з рушіями БСП.

В статті виконаний аналіз сучасного стану вугільної промисловості, технічного рівня переозброєння очисних забоїв шахт України. Досліджено процес зачеплення для визначення впливу похибки геометричних параметрів елементів колісно-рейкового рушія БСП на силові і кінематичні параметри роботи механізму переміщення очисного комбайна.

Ключові слова: промисловість, комбайн очисний, БСП, параметри, похибка, продуктивність, довговічність.

I. Gorobets, O. Miroshnichenko. Donetsk National Technical University

Re-Equipment of Mining Faces.

The article analyses the current state of the Ukrainian coal industry and considers the problems of mine faces re-equipment. We study the engagement process to define the influence of errors of geometric parameters of wheeled rack mover CHS elements on power and kinematical parameters of the mechanism, which moves a shearer.

Keywords: coal industry, shearer, parameters, error, durability.