

ВЫБОР СТРАТЕГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЯ БСП ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Горобец И.А., Мирошниченко О.А., Голубов Н.В.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Аннотация *Исследуются особенности изготовления приводного зубчатого колеса движителя бесцепной системы подачи. Приведены варианты обработки зубчатого колеса, которые связаны с особенностями конструкции колеса, его материалом и режимами резания. Приведено научное обоснование целесообразности использования данных стратегий обработки для повышения производительности технологического процесса производства зубчатого колеса*

Ключевые слова: *движитель, колесо, стратегия, режимы резания, износ, инструмент, производительность*

1. Введение. 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% [11]. По объемам мирового потребления энергоносителей уголь занимает вторую позицию после нефти и значительно опережает природный газ и прочее.

Особенностью залегания угольных пластов в бассейнах Украины является их трудоемкость, т.е. глубина залегания, мощность, характер пород. Поэтому, для успешного использования природного богатства необходимо применение высокопроизводительных и надежных автоматизированных комплексов. Одним из важных элементов автоматизированного комплекса является очистной комбайн.

Передвижение очистного комбайна вдоль лавы в настоящее время осуществляется с помощью бесцепных систем подачи [1], в основном колесно-реечного типа, которые состоят из рейки и приводного колеса (звездочки) [9].

Однако эксплуатация такого движителя БСП имеет ряд особенностей – изменение межосевого расстояния (до 15%) и шага зубьев рейки (до 3%) как на стыках реечного става, так и в результате погрешности изготовления. [12] Поэтому, вопрос точности изготовления колесно-реечного става, влияющий на надежность и производительность всей системы, является актуальным.

Вопросы создания высокопроизводительных БСП отражены в работах [1-10], где авторы разработали принципиальные схемы конструкций и обосновали параметры цевочного зацепления [5, 6, 7] и зацепления колеса и рейки с оптимальным профилем зубьев [8, 9, 10]. В работе [13, 14] рассмотрены вопросы разработки программ ЧПУ при изготовлении зубьев зубчатого колеса. Однако, вопросы стратегий обработки зубьев колеса на станках с ЧПУ и ОЦ, а также исследование способов получения реек става БСП авторами не рассматривались.

Цель исследования – повышение производительности обработки зубчатого колеса за счет выбора рациональной стратегии обработки. Задачами исследования являются: 1) исследовать особенности изготовления зубчатого колеса движителя БСП, 2) исследовать стратегии обработки зубчатого колеса БСП и привести научное обоснование их использования для повышения производительности технологического процесса производства зубчатого колеса.

2. Основное содержание и результаты работы

В теории зацепления известны и нашли широкое практическое применение зубчатые колеса (рис. 1) с различными профилями зацепления: эвольвентный, циклоидный, Новикова. [1]

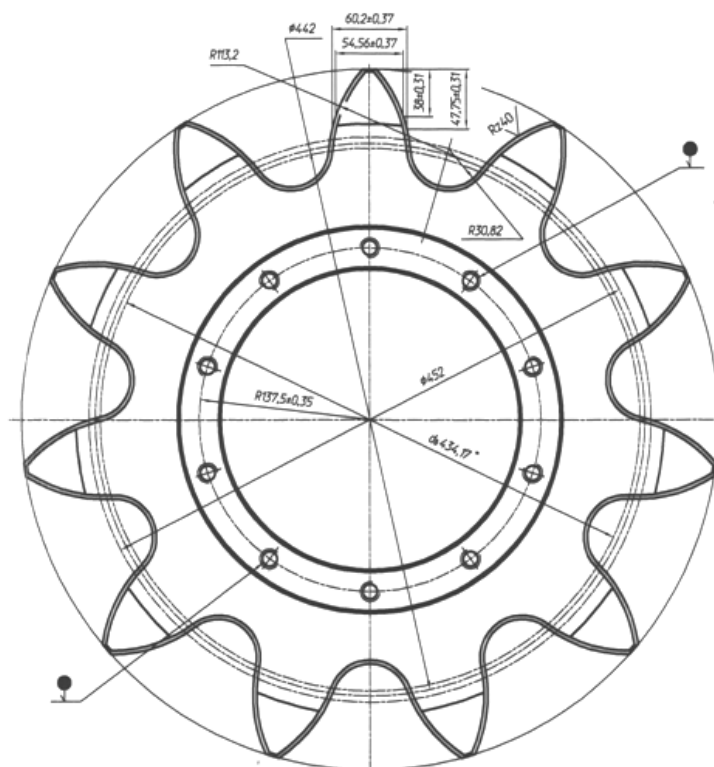


Рис.1. Колесо зубчатое

Однако, поскольку БСП очистных комбайнов эксплуатируются в тяжелых шахтных условиях [2], то важным требованием к зубчатым колесам движителей БСП является не только повышение твердости и износостойкости зубьев, но и возможность работы в условиях значительного изменения межцентрового расстояния, в связи с появлением знакопеременных радиальных усилий [9] и изменением шага зубьев рейки (до 3%), из-за погрешностей изготовления элементов рейки и преодоления стыков речного става [12]. В результате чего мгновенный КПД передачи может изменяться в пределах 0,3 – 0,93 [9].

В этом случае силовые характеристики зацепления и его КПД могут быть описаны параметрами:

- величина и неравномерность усилия зацепления;
- значения радиального усилия зацепления
- интегральный показатель зацепления – КПД движителя, величина, равная отношению полезного усилия, реализующего поступательное движение механизма, к общему усилию зацепления движителя.

Тогда силовые параметры процесса зацепления движителя БСП определяются выражениями:

- тяговое усилие, F

$$F = Q \cos \left[\pi - \operatorname{arccctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right]; \quad (1)$$

- радиальное усилие, R

$$R = Q \sin \left[\pi - \operatorname{arccctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \operatorname{sign} S_{LK}; \quad (2)$$

- крутящий момент на валу приводного колеса, T

$$T = Q((x_K)_K^2 + (y_K)_K^2)^{0,5} \cos \left[\operatorname{arctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\} + \frac{\pi}{2} - \operatorname{arccctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right]; \quad (3)$$

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

$$\eta_d = \cos \left[\pi - \operatorname{arccctg} \left\{ \frac{(\Phi'_x)_k}{(\Phi'_y)_k} \right\} + (\operatorname{arctg} f_3) \operatorname{sign} S_{LK} \right] \cdot \operatorname{sinarctg} \left\{ \frac{(y_K)_K}{(x_K)_K} \right\}; \quad (4)$$

где 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, S_{LK} – относительное скольжение зубьев приводного колеса.

В общем случае, профиль зуба колеса можно описать кривой, состоящей из семейства окружностей, рис. 2.

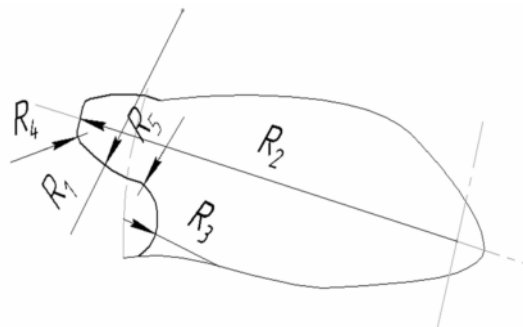


Рис.2. Профиль зуба колеса, представленный в общем виде

Изготовление зубьев зубчатого колеса, (рис. 3) движителя в настоящее время выполняется методом копирования на фрезерных станках с ЧПУ или ОЦ.

В качестве режущего инструмента при обработке зубьев колеса используется пальцевая фреза, которая обрабатывает впадины зубьев по циклу и работает всей пери-

ферией поверхностей лезвий. Однако, такой способ обработки можно образно назвать «экстремальным», в этом случае обработка происходит за один проход.

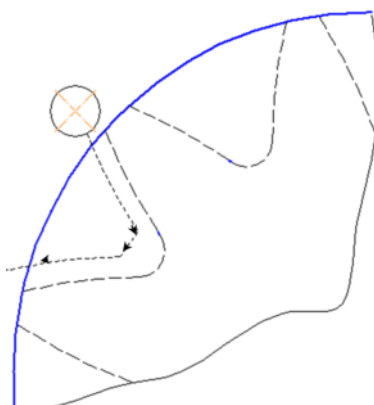


Рис. 3. Вариант обработки зубьев колеса за один проход

При такой стратегии обработки фреза чрезмерно нагружена (рис. 4), что приводит к интенсивному ее нагреву и износу, влияющему не только на стойкость инструмента, но и на погрешность обработки.

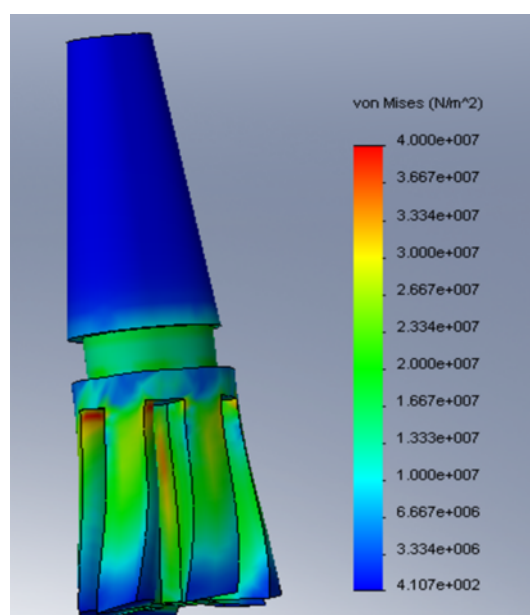


Рис.4. Напряженно-деформированное состояние пальцевой фрезы

При таком виде обработки профиль зубьев колеса значительно отличается в начале и конце изготовления колеса, что приведет к изменению силовых его характеристик и КПД при эксплуатации. В случае поломки инструмента в процессе обработки зубчатого колеса по такой стратегии, увеличиваются затраты времени на смену инструмента, наладку станка. Это приведет к снижению точности, производительности обработки и увеличению стоимости изготовления изделия.

Реализация такой стратегии обработки заготовки требует использования адаптивной системы управления процессом резания, т. е. система, которая учитывала бы влияние режимов обработки на нагруженность инструмента.

Фреза рассчитана с такими режимами резания: глубина резания $t=50\text{ мм}$, подача на один зуб фрезы $s_z=0,04\text{ мм/зуб}$, скорость резания $V=16,5\text{ м/мин}$. При этом возникает сила резания $P_z=24170\text{ Н}$.

Из рисунка следует, что в процессе резания режущие кромки инструмента сильно нагружены, что ведет к быстрому износу и поломке фрезы. Нагруженность инструмента при такой стратегии обработки для фрезерования впадины зубьев колеса приведена на рисунке 5а.

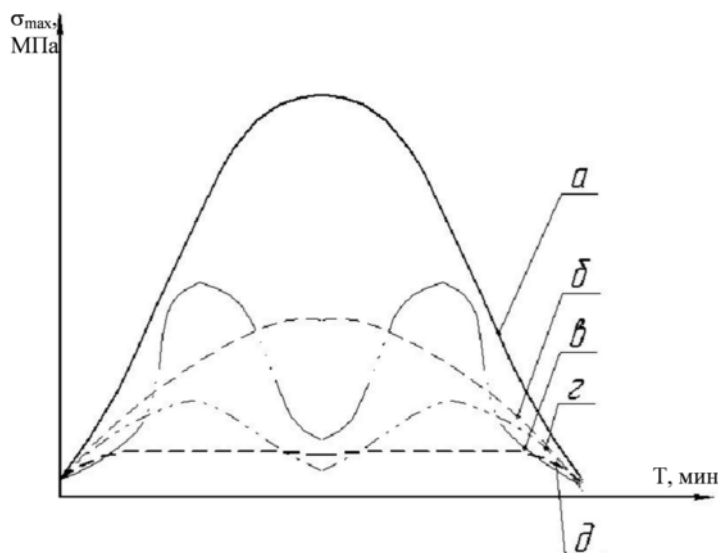


Рис. 5. Нагруженность инструмента для разных стратегий обработки

Для определения влияния режимов резания на максимальное напряжение, возникающее в процессе резания в фрезе под воздействием сил резания σ_{\max} , МПа, воспользуемся теорией планирования эксперимента [15] и определим функцию отклика, зависящую от факторов подачи на один зуб фрезы s_z мм/зуб и скорости резания V , м/мин, т.е. $\sigma_{\max}=F(s_z, V)$.

С помощью регрессионного анализа функции отклика определим ее математическую модель в виде уравнения регрессии:

$$Y=F(X_1, X_2, \dots, X_n; B_1, B_2, \dots, B_m)+e, \quad (5)$$

где Y – функция отклика; X_1, X_2, \dots, X_n – факторы; B_1, B_2, \dots, B_m – некоторые коэффициенты; e – погрешность.

Для рассматриваемого случая уравнение регрессии будет иметь вид:

$$\sigma_{\max}=F(s_z, V; B_1, B_2)+e. \quad (6)$$

Исходными данными для расчета являются:

- материал инструмента – быстрорежущая сталь Р6М5;
- материал заготовки – высококачественная легированная конструкционная сталь 20Х2Н4А;
- технологический процесс, включающий в себя последовательность технологических переходов;
- используемый инструмент – пальцевая фреза 50 мм;

Допущения моделирования:
 - работа инструмента в зоне пластического деформирования;
 Используя Microsoft Office Excel получим уравнение функции отклика, которое имеет вид:

$$\sigma_{max} = 684s_z - 0,3V + 19,3. \quad (7)$$

Функция отклика приведена на рисунке 6.

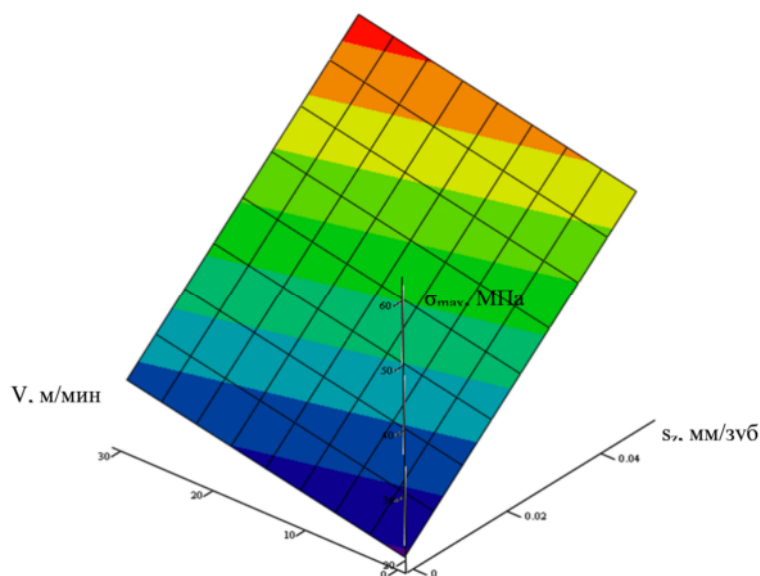


Рис. 6. Поверхность отклика

Из проведенного анализа следует, что большее влияние на напряжение, возникающие в инструменте, оказывает подача, нежели скорость резания. При увеличении подачи с 0,01мм/зуб по 0,08мм/зуб напряжение увеличивается, а при увеличении скорости резания V с 11м/мин по 30м/мин – напротив, уменьшается на 70%.

С целью повышения производительности технологического процесса можно предложить следующие способы обработки зубчатого колеса, рис. 7:

1) Послойная обработка всего зубчатого венца инструментом с припуском, рис. 7а:

$$z = K_1 z_{max}, \quad (8)$$

где K_1 – коэффициент снижения нагруженности инструмента, который находится в пределах:

$$K_1 \in [0,2 \dots 1,0]. \quad (9)$$

Коэффициент снижения нагруженности K_1 выбирается в зависимости от свойств материала обрабатываемой заготовки и режущих свойств инструмента.

Нагруженность инструмента при таком способе обработки приведена на рисунке 5б.

2) Обработка зубчатого венца колеса движителя БСП с предварительной обработкой впадины между зубьями концевым инструментом. Реализация этой стратегии может быть произведена двумя способами:

а) Обработка фрезерованием зубьев колеса с предварительным просверливанием отверстия у ножки зуба, рис 7б, для снижения нагруженности фрезы и снижения ее отклонений от заложенной геометрии профиля зуба.

В таком случае диаметр отверстия D_o у ножки зуба выбирается из условия:

$$0,5D_{BB} < D_o \leq D_{BB}. \quad (10)$$

где D_{BB} – диаметр вписанной окружности впадины зубьев колеса.

Однако такой способ обработки приведет к дополнительным затратам времени, связанным с предварительной обработкой впадин зубьев колеса.

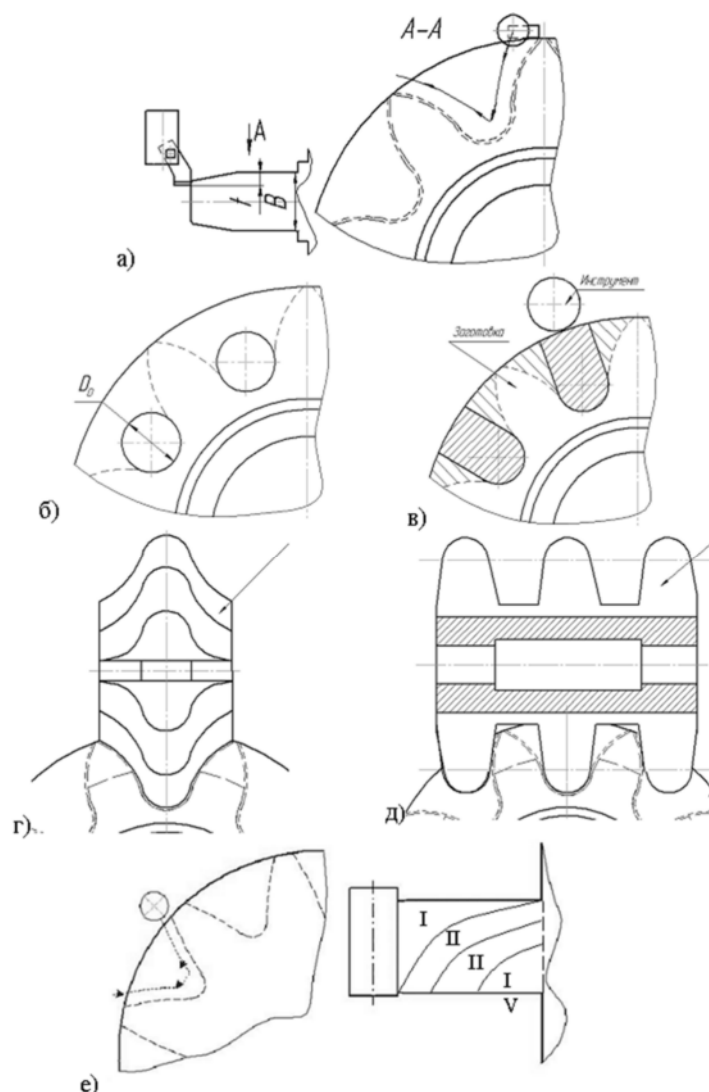


Рис. 7. Варианты обработки зубьев зубчатого колеса движителя БСП очистного комбайна

б) Радиально-эквилидистантная стратегия обработки профиля зубьев, рис. 7в. Где первоначально фреза совершает прямолинейные радиальные движения, до формирования впадины зубьев колеса. Затем - движение фрезы реализуется по эквидистанте к поверхности зубьев. В этом случае возможна дифференциация (и смена) инструмента из магазина ОЦ или станка с ЧПУ для обработки только радиальным ходом и только об-

работки профиля зубьев колеса. При такой смене, инструмент успевает охладиться, а нагруженность фрезы для радиального прохода впадины не повлияет на точность обработки.

Реализация такой стратегии позволит уменьшить нагруженность инструмента для обработки профиля зубьев колеса и повысит точность обработки. Нагруженность инструмента при такой стратегии обработки приведена на рисунке 5в и 5г соответственно.

3) Обработка зубчатого венца колеса движителя БСП зуборезным инструментом, при этом возможны такие способы как, фрезерование дисковой фрезой с единичным делением на горизонтально-фрезерном станке, рис. 7г, и фрезерование червячной фрезой на зубофрезерном станке методом обката, рис. 7д.

При этих способах обработки получают равномерный припуск под чистовую обработку. Однако профилирование крупногабаритных инструментов сопровождается трудностями и сложностью изготовления режущего инструмента.

4) 3D обработка поверхности зубьев, реализуемая по схеме рис. 7е. Здесь режущий инструмент движется по эквидистанте профиля зубьев. При этом на вершине зуба, где припуск наименьший, фреза совершает обработку всей ширины зуба. При дальнейшей обработке слой снимаемого материала увеличивается, при этом фреза поднимается вдоль ширины зуба. Данный способ достаточно эффективный, с точки зрения нагруженности инструмента, рис. 5д, точности и времени обработки. Однако, для реализации такой стратегии обработки необходимо динамическое изменение параметров и высотной траектории резания. Поэтому задачей выбора стратегии является нахождение траектории движения фрезы, и режимных параметров обработки.

По сравнению с первым вариантом обработки все последующие более рациональны, с точки зрения увеличения стойкости инструмента и точности обработки зубьев колеса. При этом, несмотря на наличие дополнительных проходов инструмента, время обработки значительно меньше, чем при фрезеровании за один проход, следовательно производительность технологического процесса обработки увеличивается.

3. Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, проведен анализ особенностей технологии изготовления приводного зубчатого колеса движителя БСП. Определена зависимость между напряжением, возникающим в инструменте под воздействием сил резания, и режимами резания. Нагруженность инструмента увеличивается при увеличении подачи или при уменьшении скорости резания. Этот анализ позволит найти рациональные режимы резания для производства зубчатых колес с точки зрения снижения напряжения в инструменте, что увеличит стойкость и сопротивление износу инструмента, следовательно и срок службы фрезы.

При обработке профиля зубьев колеса движителя БСП имеет место множество стратегий, связанных с особенностями конструкции колеса, его материалом, принятого пространственного движения инструментов.

Список литературы: 1. Бреннер В. А., Лукиенко Л. В. Повышение ресурса бесцепных систем подачи угледобывающих комбайнов. РХТУ им. Д. И. Менделеева. Новомосковский институт, Новомосковск, 2004. – 204 с. 2. 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). 3. Бойко Н. Г. Теория рабочих процессов комбайнов для добычи угля из тонких пологих пластов: Дис. ... д-ра. Техн.наук. – М., 1985 – 287 с. 4. Докукина А. В., Фролова А. Г. Создание и развитие угледобывающих комбайнов. М., Недра, 1984. – 160 с. 5. Фролова А. Г., Буцыка Н. И. Выбор параметров цевочного зацепления

зубчато-реечного механізму БСП виємочного комбайна//Известия вузов. Горный журнал. – 1980. - №4. – с. 93-96. 6. Семенов Ю. Н., Гончаров В. В., Лукиенко В. Г. Двигатели с цевочной рейкой в БСП очистных комбайнов// Горные машины и автоматика. – М.: ЦНИЭИуголь, 1981. -№5. – с. 29-33. 7. Соколовский В. И., Пашина В. С., Баранова Г. Л. Выбор рационального профиля зуба цевочной звездочки промежуточного цепного привода//Известия вузов. Горный журнал. – 19787. - №5. – с. 81-84. 8. Горобец И.А., Русланов Р. Г., Оптимизация геометрии зацепления колесно-реечных двигателей// 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 двигателей" в сб. трудов XIII Международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006г. В 5-х томах. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Т1 - с. 26-27. 10. Горобец И.А., Бен Айша Зиед "Проектирование колесно-реечного зубчатого зацепления с оптимальными параметрами". Статья опубликована в студенческом научно-техническом журнале ИнженерN2/2002 11. <http://www.ok2invest.com/ru/analytics/reviews> Отраслевые обзоры, а также описания по отдельным предприятиям Украины. 12. Горобец И.А. Результаты исследования параметров зацепления двигателей БСП очистных комбайнов. Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научно-техн. сб., - 1991, вып. 88. – с. 31-36. 13. Бойко Н.Г., Горобец И.А. Применения ЭВМ при расчетах геометрических параметров зубьев деталей, изготавливаемых на фрезерных станках с ЧПУ. – Рационализаторские положения и изобретения, рекомендуемые Министерством для внедрения на заводах угольного машиностроения. – М.: ЦНИЭИуголь, 1987. - №4. – с. 14-16. 14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2х томах./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – т.2. – 496 с. 15. Болтян А.В., Горобец И.А. Теория инженерных исследований: Учебное пособие (издание 2-е переработанное и дополненное). – Донецк, ДонНТУ, 2004. – 162с.

CHOICE OF STRATEGY OF MAKING OF THE CHAINLESS SERVE SYSTEM OF CLEANSING COMBINE.

I. Gorobets, O. Miroshnichenko (DonNTU)

Abstract: Investigated to the features of propeller gear-wheel of making of the chainless system of serve. Variants are resulted treatments of gear-wheel, which are constrained from the wheel feature construction, by it's material and cutting modes. The scientific ground of the use expedience of these strategies treatment for the increase of technological process of production productivity of gear-wheel is resulted

Key words: propeller CSS, gear-wheel, strategy, cutting modes, firmness, wear, instrument, productivity

ВИБІР СТРАТЕГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ РУШІЯ БСП ОЧИСНОГО КОМБАЙНА.

І. О. Горобець, О. О. Мирошніченко. (ДонНТУ)

Анотація: Досліджуються особливості виготовлення приводного зубчатого колеса рушійної бесценної системи подачі. Приведені варіанти обробки зубчастого колеса, які пов'язані з особливостями конструкції колеса, його матеріалом і режимами різання. Приведено наукове обґрунтування доцільності використання даних стратегій обробки для підвищення продуктивності технологічного процесу виробництва зубчастого колеса

Ключеві слова: рушій БСП, колесо, стратегія, режими різання, стійкість, знос, інструмент, продуктивність

Надійшла до редколегії 17.06.2011 р.