

УДК 622.232.72

И. А. Горобец, канд. техн. наук, доцент

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

E-mail: gorobets.ascon@gmail.com

УСТРОЙСТВО И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ БЕСЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

Приведены варианты конструкции движителя БСП очистного комбайна. Выявлены недостатки движителей БСП. Дан анализ характера изменения радиального усилия зубчатого зацепления БСП. Описано новое устройство и общая схема работы адаптивной опорной системы очистного комбайна. Разработана математическая модель динамических процессов адаптивной опорной системы очистного комбайна.

Ключевые слова: параметр, зубья, колесо, рейка, система, комбайн, влияние.

I. Gorobets

DEVICE AND MATHEMATICAL MODEL OF ADAPTIVE SUPPORT SYSTEM FOR A SHEARER CHAINLESS HAULAGE SYSTEMS

Design Variants rail teeth for a Shearer chainless haulage system are given. The disadvantages of a Shearer chainless haulage system mover are identified. An analysis of the parameters of the chainless haulage system is given. A new device and a general scheme of the shearer adaptive support system are described. A mathematical model of the dynamic processes of the adaptive support system has been developed.

Keywords: parameter teeth, gear, rail, system, shearer, influence

1. Введение

Объекты транспортного, горного, аэрокосмического и других видов машиностроения для преобразования вращательного в поступательное движение комплектуются колёсно-реечными передачами, рис. 1. В большинстве случаев используемые колёсно-реечные движители являются высоконагруженными узлами, испытывающими знакопеременные динамические нагрузки, благодаря характеру внешних воздействий на объект перемещения, конструктивным особенностям профиля зубьев зацепления и наличию трения скольжения в зубчатой передаче, условиям зацепления зубьев передачи и эксплуатационным погрешностям взаимного расположения элементов движителя. Таким условиям нагружения подвержены и устройства перемещения очистных комбайнов для выемки полезных ископаемых (рис. 2) - бесцепные системы подачи (БСП) [1, 2].



Рисунок 1. Вид колёсно-реечного движителя



Рисунок 2. Вид очистного комбайна с БСП

Колёсно-реечные движители БСП очистных комбайнов, за всю историю существования, имели различную конструкцию, рис. 3. К конструктивным

особенностям исполнений реек таких движителей можно отнести разновидности в виде цевочного, рис. 3, а, или зубчатого ряда, рис. 3, б – г.

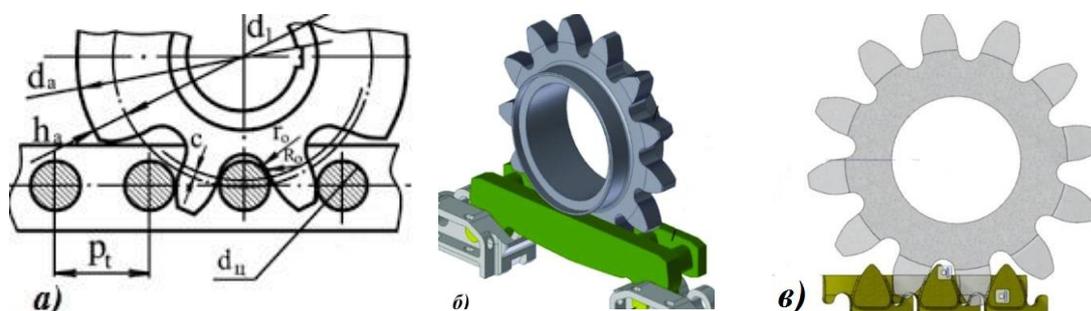


Рисунок 3. Конструктивные особенности реек движителей БСП: а) цевочная, б) зубчатая в) зубчатая повышенной подвижности из элементарных зубьев

Несмотря на разновидности конструкций реек движителя БСП, все они характеризуются наличием знакопеременных радиальных усилий, которые приводят не только к снижению КПД движителя, но и способствуют снижению долговечности передачи, вплоть до прекращения её функционирования [1, 2, 5], рис.4, 5. Негативная ситуация усугубляется наличием необходимого технологического зазора в опорной системе комбайнов, который необходим для реализации перемещения комбайна в условиях неровностей горной поверхности почвы. Такой технологический зазор в опорах очистного комбайна составляет от 10 до 25 мм и является источником возможного изменения межцентрового расстояния между приводным колесом и зубчатой рейкой очистного комбайна, приводящего к резким колебаниям радиального усилия зацепления колёсно-реечного движителя БСП, рис. 4 [1].

Смещение участков зубчатых реек в месте их соединения друг с другом в 3D пространстве, приводящее к изменению шага зубьев сочленённых реек, – также приносит негативные изменения в зацеплении, в качестве появления дополнительного увеличения радиального усилия и снижения КПД движителя.

В связи с перечисленными особенностями работы зубчатого зацепления колёсно-реечного движителя БСП очистных комбайнов, актуальным является вопрос снижения радиальных усилий зацепления движителя, а, следовательно, и повышения КПД зубчатой передачи, за счёт принудительного управления межцентровым расстоянием в зацеплении.

Целью исследований является снижение радиального усилия в зацеплении колёсно-реечного движителя БСП, путём принудительного изменения межцентрового расстояния в зубчатой передаче.

2. Основное содержание и результаты

Выполнение поставленной цели исследований потребовало проведение специальных исследований по определению силовых характеристик зацепления элементов колёсно-реечного движителя БСП очистного комбайна. Для проведения теоретических исследований и моделирования процесса зацепления автором были разработаны математическая модель и методика проведения исследований [2, 6]. В результате моделирования процесса зацепления колёсно-реечного движителя БСП были получены результаты, характеризующие силовые и кинематические параметры зацепления. Анализ результатов моделирования процесса зубчатого зацепления показал

динамический знакопеременный характер изменения радиальных усилий зубчатого зацепления, рис. 6.



Рисунок 4. Вид изношенных приводных зубчатых колёс БСП Eicotrack

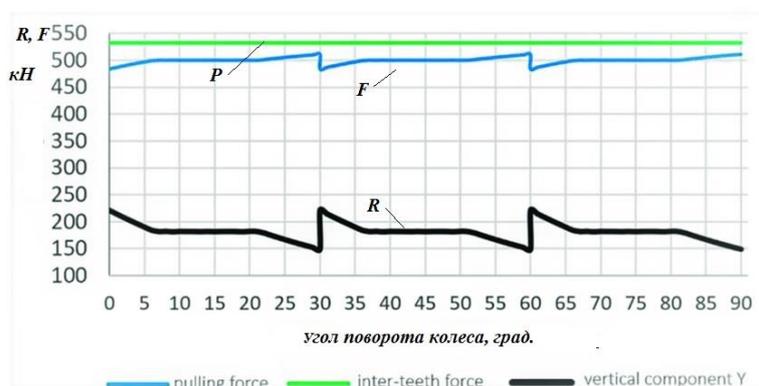


Рисунок 5. Фрагмент реализации силовых характеристик зацепления зубьев колёсно-реечного движителя «KOMTRACK system»: F- тяговое усилие зацепления, R – радиальное усилие зацепления в передаче, P – суммарная сила.

Адекватность результатов моделирования процесса зацепления колёсно-реечного движителя БСП была подтверждена результатами специально проведённых экспериментальных исследований [2].

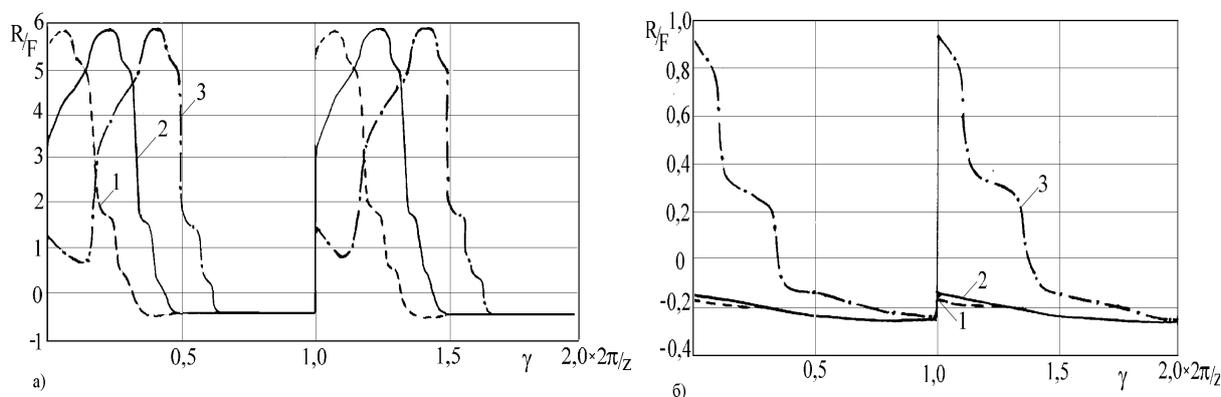


Рисунок 6. Графики изменения радиального усилия в зубчатом зацеплении БСП очистного комбайна КА: а) при номинальном межцентровом расстоянии; б) при максимальном межцентровом расстоянии A_w и шаге зубьев рейки Pp ; 1) минимальном; 2) номинальном; 3) максимальном. R/F - соотношение радиального к тяговому усилию зацепления; γ - угол поворота приводного колеса; Z – число зубьев приводного колеса

Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод о значительной чувствительности передачи к изменениям межцентрового расстояния колеса и зубчатой рейки, приводящей к появлению запредельной величины радиального усилия (до 6 раз превышающему величину тягового усилия) и критическому состоянию процесса перемещения, рис.6, а). При увеличении межцентрового расстояния в движителе предельная величина радиального усилия уменьшалась в 7 раз, рис. 6, б). Как показали результаты исследований, на характер неравномерности и величину радиального усилия зацепления

оказывает влияние и изменения шага зубьев на стыке участков зубчатой рейки колёсно-реечного движителя БСП, рис. 6.

Из анализа полученных результатов моделирования работы колёсно-реечного движителя БСП, рис. 6, можно сделать вывод, что на характер и величину радиального усилия в зацеплении можно повлиять своевременным изменением, межцентрового расстояния передачи. Для выполнения этого изменения возможно использование специального актуатора линейного перемещения. В качестве такого актуатора возможно использование электрического, пневматического или гидравлического устройства. Однако, учитывая большой вес конструкции очистного комбайна, стеснённость габаритов, меры безопасности и степень сложности конструкции перечисленных устройств, очевидно, использование гидравлического устройства в виде гидроцилиндра, будет предпочтительным. Таким образом, гидравлический цилиндр, в качестве исполнительного механизма управления межцентровым расстоянием колёсно-реечной передачи, можно расположить в опоре очистного комбайна. Такая конструкция опорной системы комбайна позволит своевременно изменять межцентровое расстояние в зубчатом зацеплении на величину технологического зазора в опоре. Структурно-функциональную схему системы можно представить в виде адаптивной модели, рис. 7.

Адаптивная опорная система очистного комбайна работает следующим образом, данные сенсора 3 о результатах измерения мгновенной величины радиального усилия зацепления зубьев 1 зубчатого колеса и рейки 2 поступают в пункт управления 4 и далее на исполнительный механизм - гидроцилиндр 5.

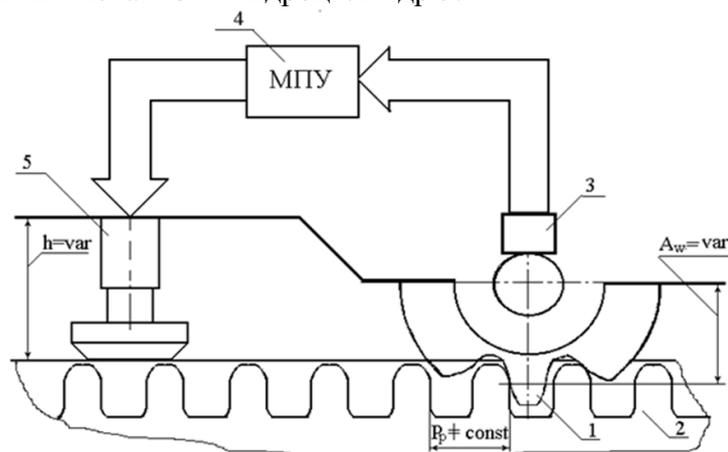


Рисунок 6. Функциональная схема адаптивной опорной системы очистного комбайна

Для выбора конструктивных параметров гидравлической системы привода гидроцилиндра опоры 5 очистного комбайна, прогнозирования параметров переходных процессов, необходимых демпфирующих свойств гидросистемы, разработана математическая модель, описывающая согласованное взаимодействие электрической, механической, гидравлической систем комбайна. Объединение моделей, описывающих указанные системы, осуществляются на основе энергетического баланса, учитывающего трансформацию энергии в различные формы: электрическую в механическую, либо в энергию движения жидкости.

Предполагаем наличие в гидравлической системе комбайна кроме гидроцилиндров – опор, гидроаккумулятора - источника постоянной составляющей давления в гидросистеме, гидравлической арматуры, соединяющей между собой элементы системы, сервисных устройств.

В соответствии с выбранной структурой и составом гидравлической адаптивной опорной системы очистного комбайна, математическая модель должна описывать динамические процессы в узловых точках системы, с учётом воздействия внешних возмущений (передающихся на шток гидроцилиндра), управляющих воздействий и демпфирующих свойств гидроаккумулятора. Тогда, математическая модель гидравлической системы будет иметь следующий вид :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= \frac{1}{W\beta}(Q_i - Q_{i+1}) \\ \frac{\rho L}{2A} * \frac{dQ_i}{dt} &= P_i + P(t) - \frac{L}{2D_i} \frac{\rho\lambda}{2A^2} Q_i^2 \text{sign}(Q_i) \\ \frac{\rho L}{2A} * \frac{dQ_{i+1}}{dt} &= -P_{i+1} + P(t) - \frac{L}{2D_i} \frac{\rho\lambda}{2A^2} Q_{i+1}^2 \text{sign}(Q_{i+1}) \\ \frac{dP}{dt} &= k * K_s \frac{1}{V^{k+1}}(Q_i - Q_{i+1}) \\ \frac{1}{V^{k+1}} &= \left(\frac{P}{K_s}\right)^{\frac{k+1}{k}} \end{aligned} \right\}, \tag{1}$$

где: $P(t)$ - изменение давления во времени на исполнительном органе адаптивной опорной системы очистного комбайна (гидроцилиндре); P - давление газа в гидроаккумуляторе; P_i - давление жидкости на i -том участке гидросистемы; Q_i - расход жидкости через i -тое сечение трубопровода; β - модуль объёмного сжатия рабочей жидкости; λ - коэффициент потерь по длине; ρ - плотность рабочей жидкости; D_i - диаметр i -того участка трубопровода; L_i - длина i -того участка трубопровода; A_i - площадь сечения i -того участка трубопровода; V - объем газовой полости гидроаккумулятора; W - объем жидкости i -того участка трубопровода.

Первое уравнение системы (1) учитывает сжимаемость жидкости. Это свойство, как установлено исследованиями [7], оказывает существенное влияние при больших длинах участков трубопровода. Второе и третье уравнения описывают течение жидкости на участке между i и $i+1$ -ой точкой трубопровода. Четвёртое и пятое уравнения учитывают влияние гидроаккумулятора на динамические процессы в системе.

Таким образом, использование разработанной схемы конструкции адаптивной опорной системы очистного комбайна с рационально выбранными параметрами гидравлической системы позволит снизить пиковые радиальные усилия в зацеплении, повысить КПД и долговечность колёсно-реечного движителя БСП очистного комбайна.

Разработанная математическая модель, воспользовавшись рекомендациями [8], позволит произвести имитационное моделирование поведения динамической системы и дальнейшие исследования эффективности системы адаптивного управления процессом зацепления колёсно-реечного движителя БСП очистного комбайна, с целью выявления новых направлений улучшения параметров систем перемещения очистных комбайнов.

3. Заключение

Проанализированы варианты конструктивного исполнения реек колёсно-реечного движителя БСП очистного комбайна. Выявлены общие недостатки движителей БСП, влияющие на КПД и долговечность системы перемещения очистного комбайна. Выполнен анализ характера и величины радиального усилия зацепления и его корреляции с изменением межцентрового расстояния приводного колеса и зубчатой рейки БСП. Предложен общий подход к уменьшению величины негативной составля-

ющей усилия зацепления движителя на базе использования адаптивной системы регулирования межцентрового расстояния колеса и рейки БСП. Описано новое устройство и общая схема работы адаптивной опорной системы очистного комбайна с исполнительным механизмом в виде гидроцилиндра.

Разработана математическая модель описывающая динамические процессы в узловых точках системы, с учётом воздействия внешних возмущений, передающихся на шток гидроцилиндра, управляющих воздействий и демпфирующих свойств гидроаккумулятора. Разработанные устройство и математическая модель функционирования динамической адаптивной опорной системы комбайна позволят выполнить исследования эффективности адаптивного управления процессом зацепления колёсно-реечного движителя БСП и выявить новые направления улучшения параметров систем перемещения очистных комбайнов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kotwica, K. Impact of Geometry of Toothed Segments of the Innovative KOMTRACK Longwall Shearer Haulage System on Load and Slip during the Travel of a Track Wheel / Kotwica K., Stopka G., Kalita M., Bałaga D., Siegmund M. // Open journal MDPI *Energies* - 2021, 14, 2720. <https://doi.org/10.3390/en14092720>

2. Горобец, И. А. Результаты исследования параметров движителей БСП очистных комбайнов. / И. А. Горобец // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Донецк: ДПИ, 1991. – Вып. 88. – С. 31-36.

3. Горобец, И. А. Оценка влияния параметров зацепления движителя БСП на производительность горного комбайна /И. А. Горобец // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – Вып. № 2(69). – С. 9-15.

4. Лукиенко, Л. В. Расширение области применения электровозной откатки для горно-транспортных машин за счёт использования зубчато-реечных передач / Л. В. Лукиенко, К. В. Гальченко, И. В. Литвинов, В. В. Исаев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Издательство «Горная книга», 2017. – №9. – С. 52-59.

5. Kotwica, K Simulation tests of new solution of the longwall shearer haulage system/ Kotwica K., Stopka G., Gospodarczyk P. // Materials Science and Engineering Innovative mining technologies (IMTech Scientific and Technical Conference) 14–16 October 2019 – Szczyrk: Poland, 2019. – Volume 679, part 2. – P. 1-8.

6. Горобец, И. А. Выбор 3D формы зубьев рейки колёсно-реечного движителя Международного сборника научных трудов / И. А. Горобец // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – Вып. №2(73). – С. 22-28.

7. Горелик, В. С. Моделирование устройства уравнивания валков толстолистового стана 3000 / Горелик В. С., Деркач А. В., Хорхордин А. В., Горковенко А. В., Недосекин В. Б. // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 1999. – Вып. 4. – С. 12-17.

8. Гладчук, Е. А. Параметрическое моделирование технической системы нестабильной структуры / Е. А. Гладчук // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – Вып. № 3(54). – С.25-29

Поступила в редколлегию 20.02.2022 г.