

УДК 622.232.7

## АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕДУКТОРАХ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА УКД300

Кондрахин В.П., докт. техн. наук., проф.,  
Лысенко Н.М., канд. техн. наук, доц., Косарев А.В.,  
Донецкий национальный технический университет,  
Косарев В.В. канд. техн. наук, Стадник Н.И., докт. техн. наук,  
Донгипроуглемаш

*Проведен анализ экспериментальных данных о динамических процессах в редукторах привода механизма перемещения очистного комбайна, возникающих при его работе.*

*The experimental data analysis of the dynamic processes in the driving gearbox of the shearer traveling gear was realized. Those dynamic processes are arisen in the time of working of the shearer.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

В тонких пластах сосредоточена значительная часть запасов украинского угля. Для выемки этих пластов институтом Донгипроуглемаш был разработан очистной комбайн УКД300, оснащенный двухдвигательным цефовчно-реечным механизмом перемещения с частотно-регулируемым электроприводом. Эксплуатация комбайнов УКД300 выявила необходимость повышения тяговых характеристик механизма перемещения. Фактическое суммарное тяговое усилие двух двигателей в некоторых случаях существенно меньше номинального значения. Одной из главных причин этого является неравномерное распределение нагрузки между частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами. Это обусловлено действием ряда факторов:

- несовершенством зубчатых зацеплений трехэлементного цефовчно-реечного двигателя и наличием сдвига фазы между началом зацепления зубьев одного и другого привода;
- изменением межцентрового расстояния в цефовчном зацеплении колеса с рейкой и шага зацепления на стыках реек;
- разбросом и значительной жесткостью механических характеристик электродвигателей;
- отсутствием в конструкции механизма перемещения специальных средств, обеспечивающих выравнивание нагрузки между приводами.

Проблема состоит в измерении степени неравномерности распределения нагрузки в процессе натуральных экспериментальных исследований и в анализе факторов, влияющих на возникновение и величину такой неравномерности.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [1] выполнен анализ геометрических параметров двух- и трехэлементных движителей цевочно-реечных механизмов перемещения, рассмотрены вопросы силовой и кинематической неравномерности зацеплений. Теоретический анализ неравномерности распределения нагрузки между приводами механизма перемещения выполнен в работах [2, 3]. Однако известные разработки в рассматриваемой области носят в основном теоретический характер и нуждаются в подтверждении экспериментальным путем. Натурные экспериментальные исследования механизмов перемещения с частотно-регулируемым приводом до настоящего времени не выполнялись.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является анализ экспериментальных данных о динамических процессах в редукторах привода цевочно-реечного механизма перемещения очистного комбайна.

**Изложение материала и результаты.** В результате анализа данных, полученных при экспериментальных исследованиях комбайна УКД300, установлены основные закономерности формирования динамических процессов в приводах механизма перемещения.

Нагрузки в механизме перемещения даже при отсутствии динамических составляющих сил на исполнительных органах (сил резания) носят динамический характер. На рисунке 1 приведен типичный фрагмент осциллограммы крутящих моментов в приводах левого ( $M_{пл}$ ) и правого ( $M_{пп}$ ) движителей (значения моментов приведены к валу двигателя).

Анализ осциллограмм показывает, что процессы изменения нагрузки в приводе механизма перемещения является случайными, причем в первом приближении их можно рассматривать как стационарные эргодические случайные процессы.

Применительно к условиям стендового эксперимента это обусловлено действием ряда факторов, основными из которых являются:

- случайные изменения сил трения в опорах и цевочных зацеплениях;
- погрешности изготовления и случайный характер изнашивания контактирующих поверхностей зубьев и цевок;

— случайное изменение шага зацепления на стыках реек при изгибе конвейерного става в горизонтальной плоскости.

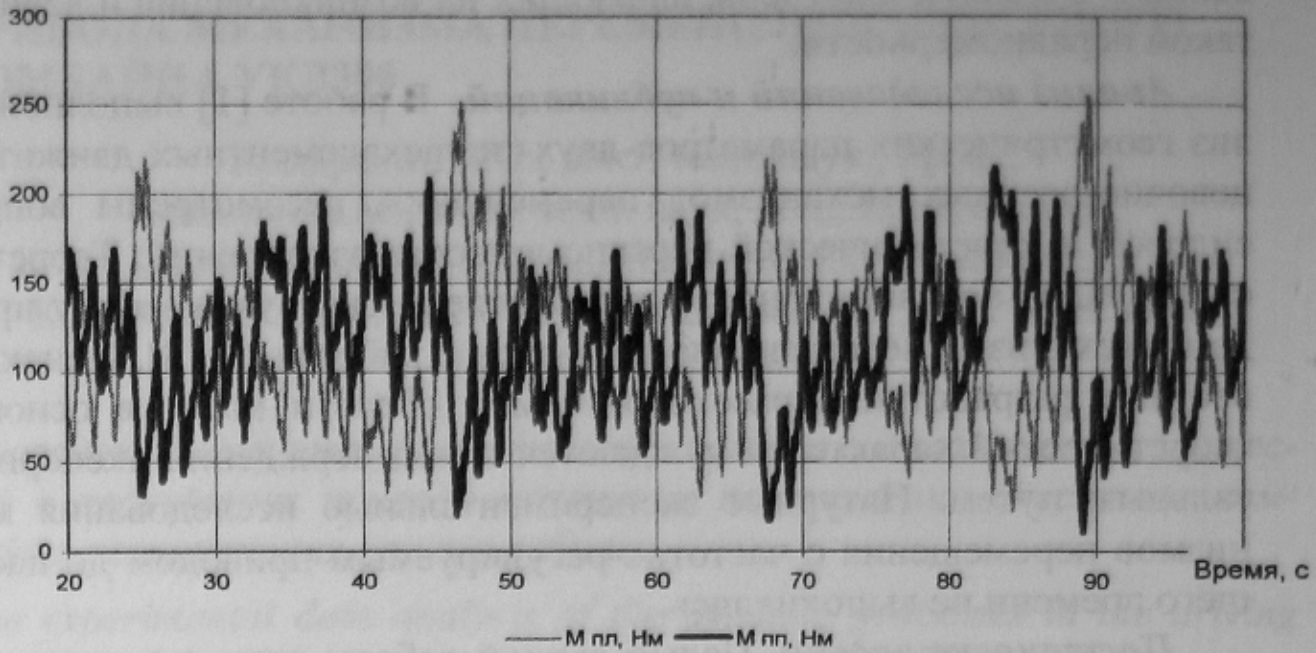


Рисунок 1 – Осциллограмма крутящих моментов левого и правого приводов механизма перемещения (частота питания 25 Гц, скорость подачи 4,2 м/мин)

В связи с этим представляется обоснованным использовать при обработке результатов аппарат математической статистики и теории случайных процессов. На осциллограммах моментов условно можно выделить высокочастотные составляющие с периодом, равным периоду зацепления зуба звездочки с цевочной рейкой (шаг 0,1 м), и низкочастотные составляющие с периодом, равным времени прохождения одной секции рейки (длиной 0,5 м или 1 м). Соответственно частота высокочастотных составляющих изменяется от 0,28 Гц (скорость подачи 1,67 м/мин при частоте питания 10 Гц) до 1,39 Гц (скорость подачи 8,35 м/мин при частоте питания 50 Гц). Амплитуды высокочастотных колебаний момента в рассматриваемом случае достигают 42 Н·м (приведено к валу двигателя). Высокочастотные колебания отмечаются также на осциллограмме частоты вращения вала привода, причем они происходят в противофазе с колебаниями соответствующего крутящего момента.

Во всех зарегистрированных режимах колебания моментов в левом и правом приводах происходят практически в противофазе как по высоко- так и по низкочастотным составляющим. Вследствие этого формируется существенная неравномерность распределения нагрузки

между приводами левого и правого движителей. Например, на рис. 1 при примерном равенстве средних уровней нагрузки, в отдельные моменты времени наиболее нагруженный движитель обеспечивает до 96% общего тягового усилия.

В некоторых случаях (холостой ход комбайна с большой скоростью подачи) знак крутящего момента в одном из приводов в отдельные непродолжительные периоды времени может изменяться на противоположный, что свидетельствует о возможности работы данного привода в генераторном режиме. Типичные фрагменты осциллограмм для режимов работы механизма перемещения со скоростями 1,7; 4,2 и 8,35 м/мин (частота питания соответственно 10, 25 и 50 Гц) подвергались статистической обработке, результаты которой приведены ниже.

На рис.2 приведены графики оценки нормированных спектральных плотностей момента на правом редукторе  $M_{\text{пр}}$  при различных скоростях перемещения комбайна. Как видно из указанного рисунка, на графиках нормированных спектральных плотностей имеются существенные максимумы на частотах, соответствующих 1-й, 2-й и 3-ей гармоникам высокочастотных составляющих. Круговая частота 1-й гармоники составляет 1,75, 4,4 и 8,8 с<sup>-1</sup>, соответственно, для скоростей перемещения 1,7, 4,2 и 8,35 м/мин. Анализ графиков автокорреляционных функций и нормированных спектральных плотностей крутящих моментов дает возможность установить долю дисперсий высокочастотных составляющих нагрузок в общей дисперсии. Эта доля изменяется в довольно широких пределах и составляет от 25 до 70 %.

В большинстве случаев основную роль в формировании колебательных составляющих моментов играют высокочастотные колебания с частотой входа зуба звездочки в зацепление с цевкой. Следует отметить, что наличие максимумов на графике спектральной плотности, соответствующих 2-й и 3-й гармоникам высокочастотной составляющей, свидетельствует о том, что форма колебаний отличается от синусоидальной.

Результаты определения статистических характеристик (математическое ожидание МО, среднеквадратическое отклонение СКО, коэффициент вариации КВ) приведены в таблице.

Анализ данных таблицы показывает, что математические ожидания моментов в обоих приводах практически одинаковы и в рассматриваемых примерах составляют 114 – 274 Н·м. Коэффициент

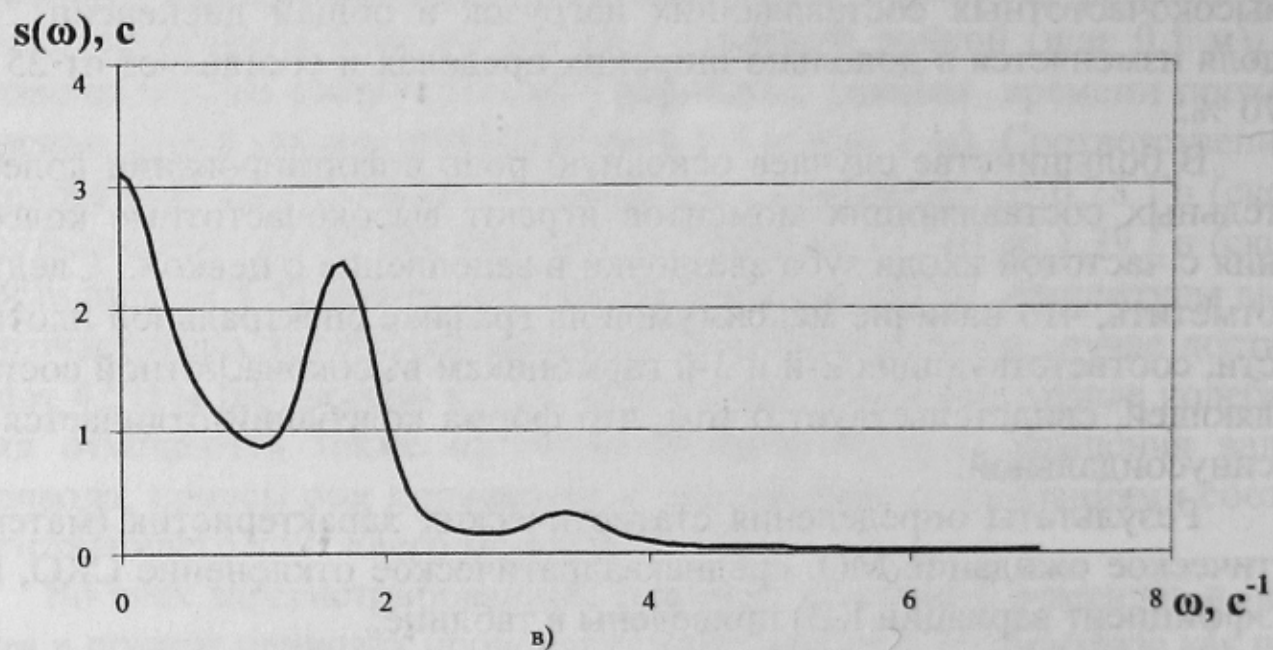
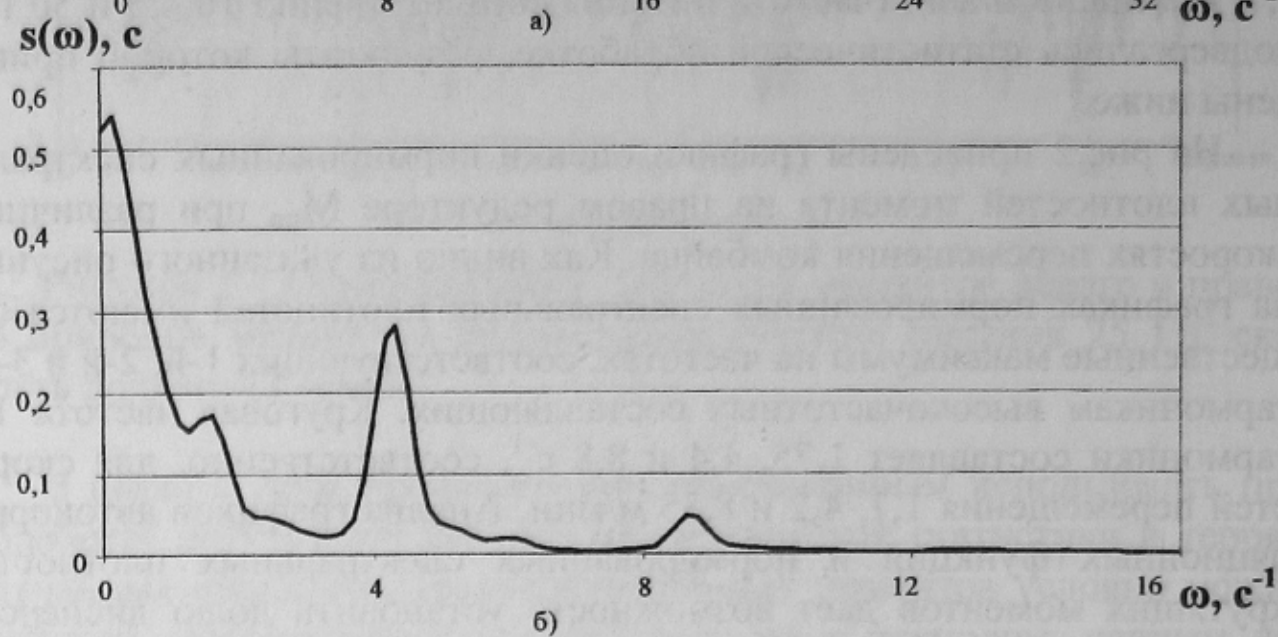
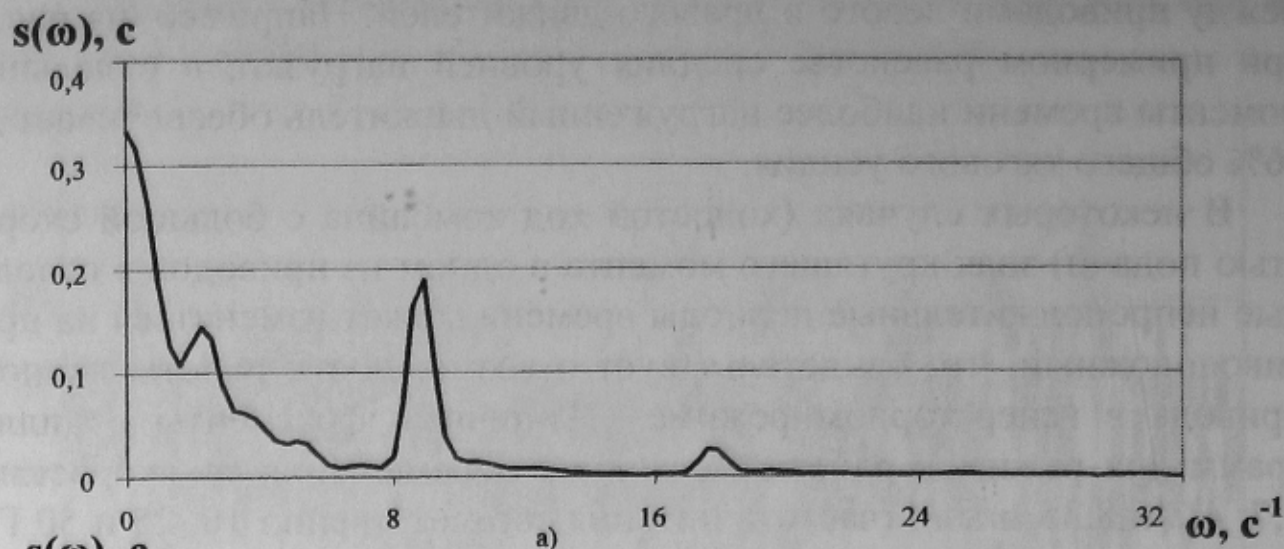


Рисунок 2 – Нормированные спектральные плотности момента  $M_{\text{пн}}$  в опытах со скоростью перемещения 8,4 м/мин (а), 4,2 м/мин (б) и 1,7 м/мин (в)

вариации момента левого (толкающего) привода на 6-16% выше, чем момента правого (тянущего), и составляет 0,169...0,356. Такое различие можно объяснить особенностями работы толкающего привода и формирования низкочастотных составляющих нагрузки, а также возможной разницей номинальных скольжений приводных электродвигателей. С ростом среднего уровня нагрузки коэффициенты вариации крутящих моментов снижаются от значений 0,3...0,36 до 0,15...0,17.

Таблица – Статистические характеристики крутящих моментов в трансмиссии механизма перемещения комбайна УКД300

		8,4 м/мин	4,2 м/мин	4,2 м/мин	1,7 м/мин
M <sub>пл</sub>	Математическое ожидание, Нм	161	267	117	177
	Среднее квадратическое отклонение, Нм	45,8	45,0	41,5	35,4
	Коэффициент вариации	0,285	0,169	0,356	0,200
M <sub>пп</sub>	Математическое ожидание, Нм	158	274	114	170
	Среднее квадратическое отклонение, Нм	39,1	41,4	38,3	28,4
	Коэффициент вариации	0,248	0,150	0,335	0,167

Максимальные значения крутящих моментов в приводе левой (толкающей) звезды, как правило, формируются при переходе с длинной на короткую цевочную рейку. На рис. 1, например, левая звезда проходит эти стыки на 25, 46 и 67 и 88 секундах. Переход этой звездой с короткой на длинную рейку происходит соответственно на 32, 53, 74 и 95 секундах. При этих переходах также происходит увеличение нагрузки в приводе данной звезды.

Переход с длинной на короткую рейку правой (тянущей) звезды на рис. 1 происходит на 34, 55, 76 и 97 секундах, а переход с короткой рейки на длинную соответственно на 41, 62 и 83 секундах. Практически во всех случаях эти переходы сопровождаются формированием более высоких амплитуд нагрузок в трансмиссии привода рассматриваемой звезды, однако рост нагрузки происходит не так явно выражено, как в приводе левой (толкающей) звезды. Таким образом, существуют определенные различия в формировании нагрузок в при-

воде толкающей и тянущей звезды. Это, по-видимому, объясняется различными условиями взаимодействия звезд с речным ставом, которые возникают при искривлении рештачного става конвейера в плоскости пласта.

На заднем (толкающем) механизме подачи средний уровень крутящего момента при работе на короткой рейке, как правило, выше (до 1,5 раз), чем при работе на длинной рейке. Менее выражена эта закономерность при работе переднего (тянущего) механизма перемещения. Эти особенности возникновения нагрузок в приводе звезд формируют низкочастотные составляющие нагрузок и требуют специального изучения. Можно предположить, что определяющим фактором может быть изгиб рештачного става и речного тягового органа в плоскости пласта.

Высокочастотные составляющие нагрузки в трансмиссии формируются под действием переменного во времени усилия в зацеплении звезда-цевка. Неравномерный характер распределения нагрузки между приводами механизма подачи в значительной степени обусловлен тем, что высокочастотные и низкочастотные составляющие нагрузки в приводах звездочек изменяются практически в противофазе. Применительно к высокочастотным составляющим это объясняется наличием сдвига во времени между началом входа в зацепление зубьев одной и второй звездочки.

В результате обработки полученных данных было установлено, что временной сдвиг составил 0,6–1,2 с при скорости движения комбайна 1,68 м/мин (10 Гц). Таким образом, величина рассматриваемого фазового сдвига может составлять в зависимости от количества стыковых участков 15 – 28% длительности цикла зацепления одного зуба ведущей звездочки. Величина этого фазового сдвига играет решающую роль в формировании неравномерности нагрузок между приводами по высокочастотным колебаниям, имеющим период, равный периоду зацепления зуба звезды с цевочной рейкой.

В условиях стендовых исследований комбайна УКД300 во всех исследуемых режимах происходила перекладка зазоров в обоих обратных захватах, то есть условия работы (межцентровые расстояния на 13 мм больше расчетных) обоих движителей были одинаковыми. Для имитации работы движителей с разными межцентровыми расстояниями были проведены специальные эксперименты, в которых наваривались планки толщиной 10 мм на нижней опорной поверхности некоторых секций рейки. При прохождении звездами этих реек

межцентровое расстояние в зацеплении составляло 150 мм, а при прохождении остальных – 160 мм (при номинальном межцентровом расстоянии 147 мм).

Анализ осциллограммы показывает, что при переходе движителя на работу с межцентровым расстоянием 150 мм не происходит качественных изменений в процессах формирования моментов в приводах звезд.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Впервые экспериментально подтвержден факт неравномерного распределения нагрузки между приводами механизма перемещения с частотно-регулируемыми асинхронными двигателями. Нагрузки в механизме перемещения носят ярко выраженный динамический характер, причем в спектральном составе имеются высокочастотные составляющие с периодом, равным периоду зацепления зуба звездочки с цевочной рейкой (шаг 0,1 м), и низкочастотные составляющие с периодом, равным времени прохождения одной секции рейки (длиной 0,5 м или 1 м).

Высокочастотные составляющие нагрузки в трансмиссии формируются под действием переменного во времени усилия в зацеплении «звезда – цевка» и обусловлены в основном наличием сдвига во времени между началом входа в зацепление зубьев одной и второй звездочки. Величина этого сдвига составляет 15 – 28% длительности цикла зацепления одного зуба.

Следует продолжить исследования рабочих процессов механизма перемещения комбайна УКД300 в следующих направлениях:

- установление причин возникновения и закономерностей формирования низкочастотных составляющих нагрузки;
- установление закономерностей влияния износа рабочих поверхностей зубьев и цевок на формирование нагрузок механизма перемещения;
- исследование влияния параметров зубчатых зацеплений трехэлементного движителя на нагрузки механизма перемещения.

Список источников.

1. В.А. Бреннер, Л.В. Лукиенко Повышение ресурса бесцепных систем подачи угледобывающих комбайнов. – Новомосковск, : Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева. Новомосковский институт, 2004.-204 с.
2. Кондрахин В.П., Косарев А.В., Стадник Н.И. Распределение нагрузок между движителями механизма подачи очистного комбайна // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 83, серія: гірничо-електромеханічна.– Донецьк: ДонНТУ, 2004. — С.150-155.
3. Ма тематическая модель для определения нагрузок в опорно-направляющих устройствах и механизме перемещения очистного комбайна УКД300 // Кондрахин В.П., Лисенко Н.М., Косарев А.В. и др. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 99, серія: гірничо-електромеханічна.- Донецьк: ДонНТУ, 2005. - С.111-120.