

УДК 622.232.7

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК МЕЖДУ ДВИЖИТЕЛЯМИ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Кондрахин В.П. д.т.н., проф.; Стадник Н.И. д.т.н.;

Косарев А.В. магистрант

Донецкий национальный технический университет,

Донгипроуглемаш

*Выполнен анализ распределения нагрузки между приводами двухдвигательного механизма перемещения очистного комбайна с частотно-регулируемыми асинхронными двигателями. Показано, что возникающая при работе комбайна разница в межцентровом расстоянии зацеплений «колесо-цевочная рейка» может привести к существенной неравномерности нагрузки приводов.*

*The analysis of load distribution between drives of double mover cutter loader moving mechanism with variable-frequency electric engines was realized. It was demonstrated that the disparity in spacing on centers of the "gear wheel – bobbin rack" toothing results in irregularly distributed loads of the drives.*

**Проблема и её связь с научными или практическими задачами.** Наиболее перспективными механизмами перемещения очистных комбайнов считаются двухдвигательные безцепные системы подачи с цевочно-реечным тяговым органом и частотно-регулируемым асинхронным приводом [1]. Они обладают высокими тяговыми характеристиками и значительно большей надежностью по сравнению с гидравлическими механизмами перемещения. Однако в отличие от гидравлических механизмов при асинхронном частотно-регулируемом приводе отсутствует автоматическое выравнивание крутящих моментов в приводе обоих двигателей. Поэтому нагрузка в приводах такого механизма перемещения может быть различной, причем степень этого различия определяется двумя основными факторами: разницей в межцентровых расстояниях зацеплений «колесо - цевочная рейка» и разбросом номинальных скольжений электродвигателей. В неблагоприятных случаях неравномерность распределения нагрузки может существенно уменьшить фактическое тяговое усилие механизма перемещения.

**Анализ исследований и публикаций.** В работе [2] выполнен анализ распределения нагрузки между работающими на один вал электродвигателями подсистемы привода исполнительных органов

очистного комбайна. Однако проблема распределения нагрузки между частотно-регулируемыми приводами цевочно-реечного механизма перемещения до настоящего времени не исследовалась.

**Постановка задачи.** Целью настоящего исследования является разработка математической модели, позволяющей количественно оценить степень неравномерности распределения нагрузок между приводами, анализ этой неравномерности и разработка на основе результатов анализа возможных способов ее устранения или уменьшения.

Опыт проектирования и эксплуатации очистных комбайнов показывает, что обратные захваты опор, с которыми совмещены движители механизма перемещения, должны иметь зазор 10-15 мм. Он необходим для того, чтобы исключить заклинивание машины при работе на пластах со сложной гипсометрией. В процессе выемки происходит неконтролируемое раскрытие зазоров в обратных захватах, что сопровождается изменением межцентрового расстояния в зацеплениях «колесо – цевочная рейка». Разница в межцентровых расстояниях левого и правого движителей может достигать 9 %, причем по мере износа обратных захватов она будет возрастать. Этот фактор, а также имеющийся на практике разброс фактических механических характеристик электродвигателей определяет возможную существенную неравномерность распределения технологических нагрузок между приводами двух механизмов перемещения.

**Изложение материала и результаты.** Суммарное тяговое усилие  $F_T$  определяется режимом работы комбайна и распределяется между двумя механизмами так, что

$$F_T = F_1 + F_2. \quad (1)$$

Тяговое усилие  $i$ -го ( $i=1, 2$ ) движителя определяется, как

$$F_i = \frac{M_i u \eta}{r_i}, \quad (2)$$

где  $M_i$  – вращающий момент  $i$ -го электродвигателя;

$u$  – передаточное число редуктора;

$r_i$  – межцентровое расстояние цевочного зацепления;

$\eta$  – к.п.д. привода.

В первом приближении представим механическую характеристику  $i$ -го электродвигателя на устойчивом участке в виде [3]

$$M_i = \frac{M_{ii}}{S_{ii}} S_i. \quad (3)$$



где  $M_n$  – номинальный момент электродвигателя;

$S_{ni}$  – номинальное скольжение  $i$ -го электродвигателя;

$S_i$  – скольжение  $i$ -го ( $i=1, 2$ ) электродвигателя.

В установившемся режиме окружные скорости обоих двигателей одинаковы. Отсюда следует

$$r_1(1-S_1) = r_2(1-S_2). \quad (4)$$

Решая систему уравнений (1)...(4), получим

$$F_1 = \frac{F_T S_{n2} (r_1 + \Delta)^2 - M_n u \eta \Delta}{S_{n2} (r_1 + \Delta)^2 + S_{n1} r_1^2}, \quad (5)$$

где  $\Delta = r_2 - r_1$  – разница в межцентровых расстояниях зацепления «колесо-рейка».

Для простоты положим, что тяговое усилие  $F_T$  соответствует работе обоих приводов в номинальном режиме, то есть

$$F_T = \frac{2M_n u \eta}{r_1}.$$

Тогда

$$F_1 = F_T K_{n1}, \quad (6)$$

где

$$K_{n1} = \frac{S_{n2} (r_1 + \Delta)^2 - 0,5 r_1 \Delta}{S_{n2} (r_1 + \Delta)^2 - S_{n1} r_1^2}.$$

Из формулы (6) следует, что  $K_{n1}$  – это коэффициент, показывающий долю тягового усилия первого двигателя в общем тяговом усилии механизма перемещения.

Нетрудно видеть, что при  $\Delta = 0$  и  $S_{n1} = S_{n2}$  нагрузка распределяется между приводами равномерно ( $K_{n1} = 0,5$  или  $F_1 = F_2 = F_T/2$ ). При  $\Delta \neq 0$  и  $S_{n1} \neq S_{n2}$  распределение нагрузки между приводами может быть в значительной степени неравномерным.

На рис.1 приведен график зависимости коэффициента  $K_{n1}$  от величины  $\Delta$  для случая, когда частота питания электродвигателей ЭКВ4-30-6 равна 50 Гц (применительно к параметрам комбайн УКД300 это соответствует скорости перемещения примерно 10,8 м/мин),  $r_1 = 146$  мм. Линия 1 соответствует случаю  $S_{n1} = S_{n2} = S_n = 0,038$ , линия 2 –  $S_{n1} = 1,2S_n$ ,  $S_{n2} = S_n$ , линия 3 –  $S_{n2} = 1,2S_n$ ,  $S_{n1} = S_n$ . Указанный разброс значений номинальных скольжений является вполне возможным, так как ГОСТ 16565-71 допускает разброс номинальных скольжений до +25%).

Как видно из рис. 1, при  $\Delta = 13$  мм движитель 1 (с меньшим значением межцентрового расстояния в зацеплении) даже при равенстве номинальных скольжений обоих электродвигателей практически не работает, и все тяговое усилие формируется движителем 2 опоры. Электродвигатель последнего при этом работает с нагрузкой примерно в 2 раза больше номинальной. Если номинальное скольжение нагруженного электродвигателя в результате случайного разброса при безвыборочной комплектации окажется больше, чем ненагруженного, неравномерность нагрузки уменьшается, в противном случае – увеличивается.

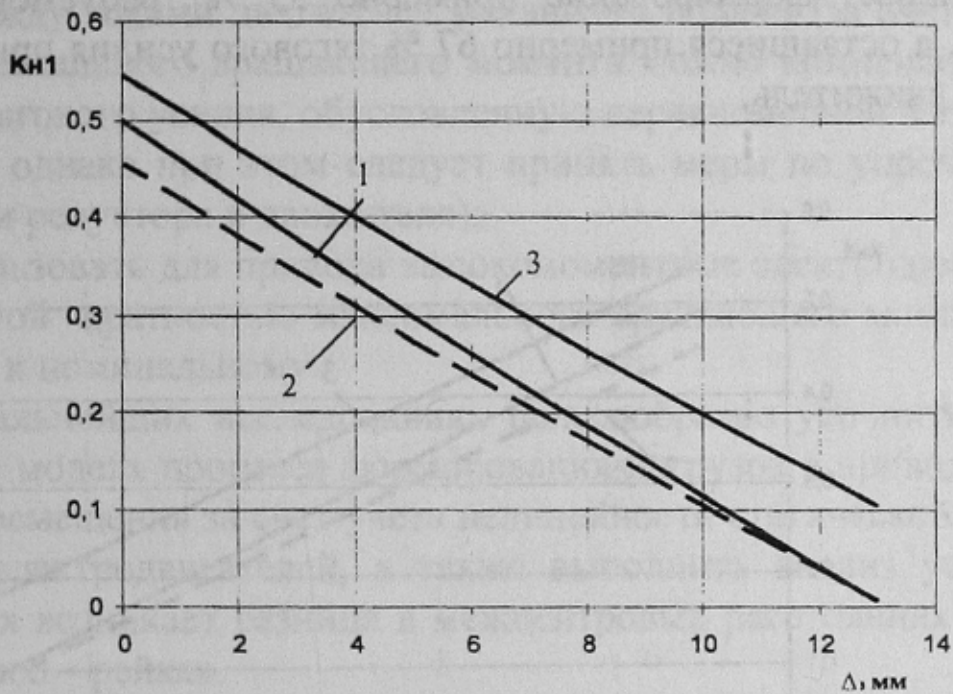


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента распределения нагрузки между приводами от величины  $\Delta = r_2 - r_1$  (частота питающей сети 50 Гц, скорость подачи 10,8 м/мин)

При уменьшении частоты питающей сети (а, следовательно, и скорости подачи) в принятом для механизмов перемещения режиме регулирования номинальный и критический моменты двигателя остаются примерно постоянными, а критическое и номинальное скольжение изменяются примерно обратно пропорционально частоте. Таким образом, при уменьшении скорости перемещения (для частоты сети менее 50 Гц) номинальное скольжение увеличивается обратно пропорционально частоте сети.

На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента  $K_{н1}$  от величины скорости перемещения для случая, когда  $\Delta = 13$  мм,  $r_1 = 146$  мм. Линия 1 соответствует случаю  $S_{н1} = S_{н2} = S_{н}$ , линия 2 -  $S_{н1} = 1,2S_{н}$ ,  $S_{н2} = S_{н}$ , линия 3 -  $S_{н2} = 1,2S_{н}$ ,  $S_{н1} = S_{н}$ .

Из рис. 2 следует, что неравномерность загрузки приводов механизма перемещения при больших скоростях перемещения больше, чем при малых скоростях. Например, при скорости перемещения 1 м/мин приводы даже при максимальном значении  $\Delta$  приводы нагружены примерно одинаково, а при скорости 4 м/мин при одинаковом номинальном скольжении электродвигателей первый движитель обеспечивает формирование примерно 33 % требуемого тягового усилия, а оставшиеся примерно 67 % тягового усилия приходится на второй движитель.

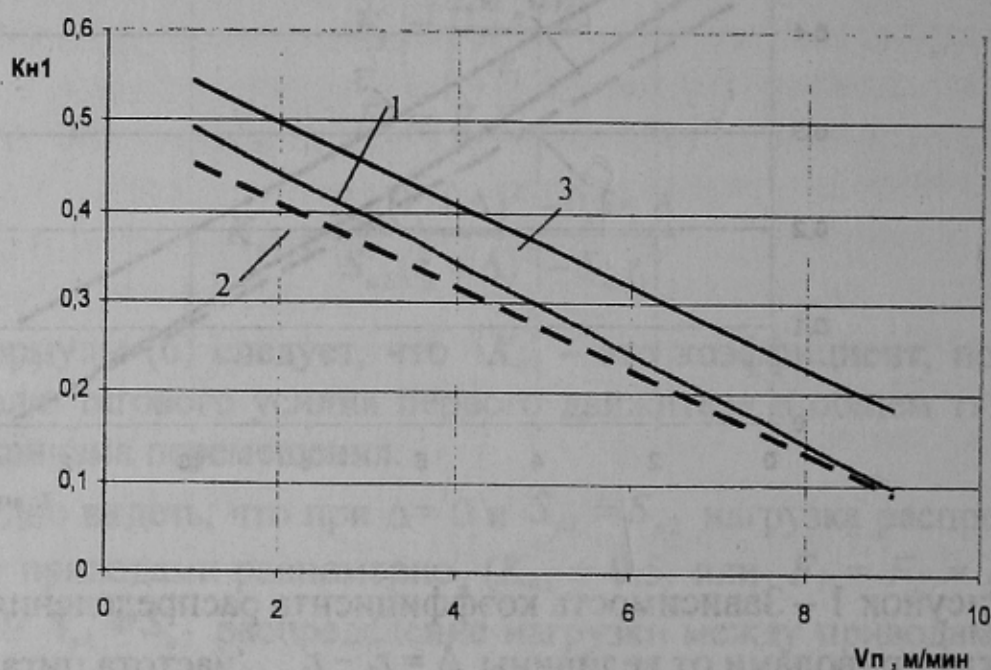


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента распределения нагрузки между приводами от величины скорости подачи ( $\Delta=13$  мм)

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Таким образом, при работе двухдвигательных механизмов перемещения с частотно-регулируемым приводом возможна существенная неравномерность нагрузки электродвигателей, которая приведет к снижению суммарных тяговых характеристик механизма. Для устранения этого недостатка можно предложить ряд мер:



- снижение до минимума (1-2 мм) зазора в обратных захватах, при этом для исключения заклинивания опор следует предусмотреть дополнительные степени свободы в узлах крепления рейки к конвейеру и обратных захватов комбайна к его корпусу;

- проводить выборочную комплектацию двигателей для механизмов подачи каждого комбайна;

- ввести в конструкцию механизма перемещения уравнивательный механизм, обеспечивающий механическую связь редукторов обоих двигателей;

- усовершенствовать алгоритм управления электродвигателями, предусмотрев повышение питающего напряжения при появлении разницы между токами двигателей механизма подачи (за счет повышения максимального вращающего момента можно компенсировать недостачу тягового усилия, обусловленную неравномерной загрузкой двигателей, однако при этом следует принять меры по упрочнению конструкции редуктора и движителя);

- использовать для привода высокомоментные электродвигатели с повышенной кратностью максимального вращающего момента по отношению к номинальному.

При дальнейших исследованиях целесообразно уточнить математическую модель процесса формирования нагрузок в приводах механизма перемещения за счет учета нелинейности статической характеристики электродвигателей, а также выполнить анализ условий, при которых возникает разница в межцентровых расстояниях зацеплений «колесо – рейка».

Предусматривается проверка установленных зависимостей в процессе проведения экспериментальных исследований комбайна УКД300 на стенде, для чего будут выполнены замеры нагрузки в приводах (токи двигателей, мощность, крутящие моменты) при различных скоростях перемещения и различных  $\Delta$ , а также установлены фактические значения номинальных скольжений электродвигателей механизма перемещения.

Список источников.

1. Косарев В.В. Новая горная техника Донгипроуглемаша - основа интенсификации добычи угля / Уголь Украины, №9, 2003 - С.5-9.
2. Гуляев В.Г., Семенченко А.К., Горбатов П.А. Вероятностная оценка скольжений двигателей ЭКВ-4У при безвыборочной комплектации ими двухдвигательных комбайнов типа 1ГШ-68 / Известия вузов. Горный журнал, №8, 1974 – С.123-128.
3. Общая электротехника // Под ред. А.Т. Блажкина. Л.: Энергия, 1979. – 472 с.