

УДК 622.647

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ПРИВОДАМИ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА С ДВУХСКОРОСТНЫМИ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Кондрахин В.П. докт. техн. наук., проф., ДонНТУ,  
Косарев В.В., канд. техн. наук, Стадник Н.И., докт. техн. наук,  
Косарев И.В., Мезников А.В., Донгипроуглемаш

*В статье на основе экспериментальных данных рассмотрен вопрос распределения нагрузки между приводами забойного скребкового конвейера с двухскоростными асинхронными электродвигателями.*

*In this article the questions of a load distribution between drives of the drag-chain conveyor with two-speed induction motors are considered on the base of experimental researches.*

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

В современных приводных системах скребковых забойных конвейеров широко используются двухскоростные асинхронные электродвигатели, не требующие применения гидродинамических муфт. Таким приводом оснащены разработанные институтом «Донгипроуглемаш» энерговооруженные (400-700 кВт) скребковые конвейеры типажного ряда КСД с ресурсом 2,5 – 5 млн. тонн горной массы, способные обеспечить переход на отработку пластов лавами длиной 250 – 350 м и протяженностью выемочных столбов 2 – 2,5 км [1, 2].

Как правило, привод забойных скребковых конвейеров является многодвигательным (от 2 до 4 электродвигателей). В связи с этим возникает проблема обеспечения согласованной работы и равномерной загрузки электродвигателей. Особенно это важно для пусковых режимов конвейера, которые предусматривают определенную последовательность включения электродвигателей головного и хвостового привода на первую и вторую скорость. Решение этой проблемы возможно только на основе сочетания натуральных и вычислительных экспериментальных исследований и оптимизации параметров привода и режимов его запуска.

*Анализ исследований и публикаций.* Вопросам экспериментальных исследований пусковых режимов скребковых конвейеров посвящены работы [3, 4 и др.]. В них исследовались приводы с односкоростными электродвигателями и гидродинамическими муфтами.

Экспериментальные исследования процессов распределения нагрузок между приводами при запуске многоприводного конвейера с двухскоростными электродвигателями, насколько нам известно, не проводились.

**Постановка задачи.** В работе поставлена и решена задача измерения, регистрации и анализа нагрузок в приводах забойного скребкового конвейера КСД27 в процессе его стендовых исследований и определения степени неравномерности распределения нагрузки между приводами при его запуске на первую и вторую скорости.

**Изложение материала и результаты.** Экспериментальные исследования натурального образца незагруженного конвейера КСД27 длиной 82 м производились в условиях сборочного цеха ОАО «Донецкгормаш». В процессе исследований конвейера с двумя приводами измерялись и регистрировались следующие величины:

- крутящие моменты в редукторах головного  $M_r$  и хвостового  $M_x$  привода, для чего редукторы оснащались тензовалами;
- угловые частоты вращения  $n_r$ ,  $n_x$  роторов электродвигателей;
- токи в обмотках низкой ( $I_{нсг}$ ,  $I_{нсх}$ ) и высокой ( $I_{всг}$ ,  $I_{всх}$ ) скоростей, соответственно, головного и хвостового электродвигателя.

Указанные величины регистрировались в цифровом виде многоканальным анализатором качества энергии TOPAS 1020 с шагом квантования по времени 0,01 с.

Все приводы при исследовании пусковых режимов имели одинаковую структуру: электродвигатель ЭКВФТ315L12/4У5 200 кВт с торсионным валом, эластичная муфта SET 200-90/140 фирмы «Fasing», комбинированный редуктор. Запуски производились каждым из двигателей по отдельности и всеми двигателями с различным значением времени задержки. При этом варьировались очередность запуска и интервалы времени между запусками двигателей на низкую и высокую скорости.

В качестве основного, базового алгоритма запуска двухприводного конвейера типа КСД27 на основе опыта его эксплуатации был принят следующий:

- запуск хвостового электродвигателя на низкую скорость (НС), через 1,5-1,7 с запуск головного на НС;
- через 6-7 с запуск хвостового электродвигателя на высокую скорость (ВС), затем через интервал времени  $\Delta t = 0,25$  с - запуск головного двигателя на ВС.

Время задержки между отключением обмотки низкой скорости и включением обмотки высокой скорости принималось минимально возможным (0,02 с).

Одновременный запуск двигателей на НС невозможен, так как перед запуском головного привода необходимо выбрать слабины на холостой ветви конвейера. Одновременный запуск двигателей на ВС, как правило, также невозможен из-за ограниченной мощности питающей подстанции.

Одним из основных факторов, определяющим качественные и количественные характеристики динамических процессов при запуске конвейера, является интервал  $\Delta t$ . На рис. 1 приведены осциллограммы динамических процессов в приводах конвейера при запуске по основному алгоритму (крутящие моменты приведены к валам электродвигателей).

Основной особенностью рассматриваемого процесса является наличие отрицательных по знаку крутящих моментов в одном из приводов (в хвостовом приводе при работе на НС и головном – при работе на ВС). С течением времени эти тормозные моменты уменьшаются и через 20-30 с работы на ВС нагрузки приводов становятся примерно одинаковыми.

При запуске на НС электродвигатель хвостового привода раскручивает ротор головного привода до угловой скорости 900 об/мин (см. рис 1). Это происходит за счет энергии упругого тягового органа. После подключения головного электродвигателя на НС его частота вращения примерно за 0,2 с достигает номинального значения (около 480 об/мин).

Набольший крутящий момент (около 1,6 кНм) формируется в запускаемом первом хвостовом приводе в процессе разгона на НС. Для обоих приводов при запуске характерен знакопеременный характер приложения нагрузки, что отрицательно сказывается на долговечности редуктора.

Величина пусковых токов при запуске на НС составляет 300-370 А, а при переходе на ВС – 1000-1100 А. Именно высокие пусковые токи при переходе на ВС в большинстве случаев делают невозможным уменьшение задержки времени  $\Delta t$  до нуля (т.е. одновременный запуск обоих двигателей) вследствие ограниченной мощности питающей подстанции.

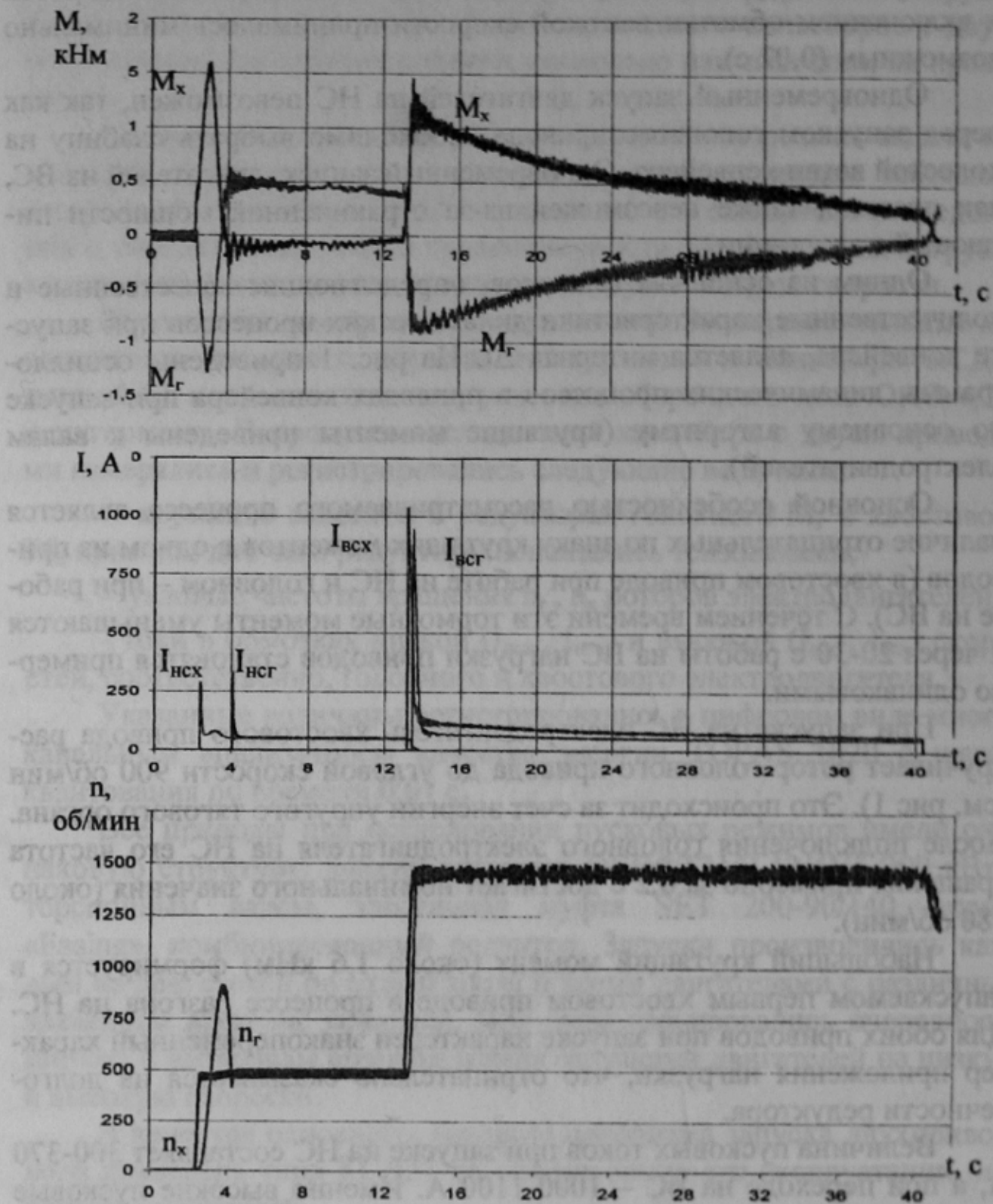


Рисунок 1 – Осциллограммы пуска двухприводного конвейера (задержка времени между пуском на ВС хвостового и головного двигателя 0,25 с)

При уменьшении задержки времени  $\Delta t$  между запусками холостого и головного приводов при переходе с НС на ВС величина тормозящего момента уменьшается. Сокращение времени задержки  $\Delta t$  до 0,05 с приводит к практически полному исчезновению отрицательных по знаку моментов в приводах. Однако при этом остается крайне неравномерное распределение нагрузки между ними: достаточно длительное время (порядка 20 с) работает практически один из двигателей, а другой почти полностью разгружен. Выравнивание нагрузки происходит примерно через 40-60 с.

Основной причиной формирования неравномерной по величине и различной по направлению действия нагрузки в приводах многоприводных конвейеров при их пуске является перераспределение значительной энергии, запасенной упругим тяговым органом, между двумя или тремя доминирующими инерционными элементами – роторами двигателей - при неодновременном пуске электродвигателей с жесткой механической характеристикой. Об этом свидетельствуют предварительные результаты вычислительных экспериментов, проведенных с использованием разработанной математической модели двухприводного скребкового конвейера [5]. Для обеспечения равномерной загрузки приводов необходимо запускать все двигатели головного и хвостового привода одновременно, что, как правило, не представляется возможным.

Одним из факторов, влияющих на неравномерность распределения нагрузки между приводами конвейера и на формирование тормозных режимов работы одного из приводов, является величина номинального скольжения привода. При отсутствии гидромукты механическая характеристика привода оказывается излишне жесткой, что способствует неравномерной загрузке приводов. Для оценки влияния жесткости механической характеристики электродвигателей на величину неравномерности распределения нагрузки между приводами выполнены экспериментальные исследования натурального образца двухприводного конвейера КСД27 длиной 23 м.

Для искусственного снижения жесткости механической характеристики электродвигателей для его питания использовалось пониженное напряжение. Принимая в первом приближении допущение о линейности устойчивой части механической характеристики электродвигателя и учитывая квадратичную зависимость момента от напряжения питания, нетрудно получить выражение для оценки скольжения  $S_{н}$ , соответствующего номинальной нагрузке двигателя при заданном напряжении питания  $U$ :

$$S_n = S_n \left( \frac{U_n}{U} \right)^2,$$

где  $S_n$  – номинальное скольжение при номинальном напряжении  $U_n$ .

При использовании напряжения 660 В вместо номинального для указанных электродвигателей 1140 В при работе с номинальной нагрузкой на высокой скорости скольжение увеличивается от 1,2 % до 3,6 %, а на низкой скорости – от 3,05% до 9,15%.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что уменьшение жесткости механической характеристики за счет подачи пониженного напряжения действительно позволяет снизить максимальную величину тормозного момента одного из двигателей в пусковых режимах. При запуске на НС величина тормозного момента при работе с более мягкой механической характеристикой уменьшается в 1,5 раза, а при запуске на ВС – 2,2-3,1 раза в зависимости от величины  $\Delta t$ .

Одним из факторов, влияющим на неравномерное распределение нагрузки между приводами, является неравномерность шага тяговой цепи, которая обусловлена неравномерной вытяжкой различных участков цепи, а также, в меньшей степени, погрешностями при ее изготовлении. При экспериментальных исследованиях нового конвейера можно оценить влияние погрешностей изготовления цепи. На рис. 2 приведена осциллограмма крутящих моментов при пуске трехприводного конвейера КСД27 длиной 82м с минимальной задержкой времени  $\Delta t = 0,09$  с и последующей работе вхолостую на ВС в течение 250 с.

Как видно на рис. 2, при пуске на НС, который происходит со смещением во времени 1,5 с, головной привод развивает тормозной момент -0,8 кНм, который быстро уменьшается и к моменту перехода на низкую скорость составляет 0,2 кНм. В то же время при малых значениях времени задержки  $\Delta t = 0,09$  с тормозные моменты при переходе на ВС не формируются. После завершения процесса пуска нагрузка распределяется между приводами неравномерно, этот процесс носит периодический колебательный характер, причем период колебаний равен примерно 50 с, что соответствует времени движения участка цепи от хвостовой до головной звездочки.

Таким образом, причиной этих медленных колебаний нагрузки является неодинаковость шага различных участков тяговой цепи, которая поставляется отрезками длиной примерно 20 м.

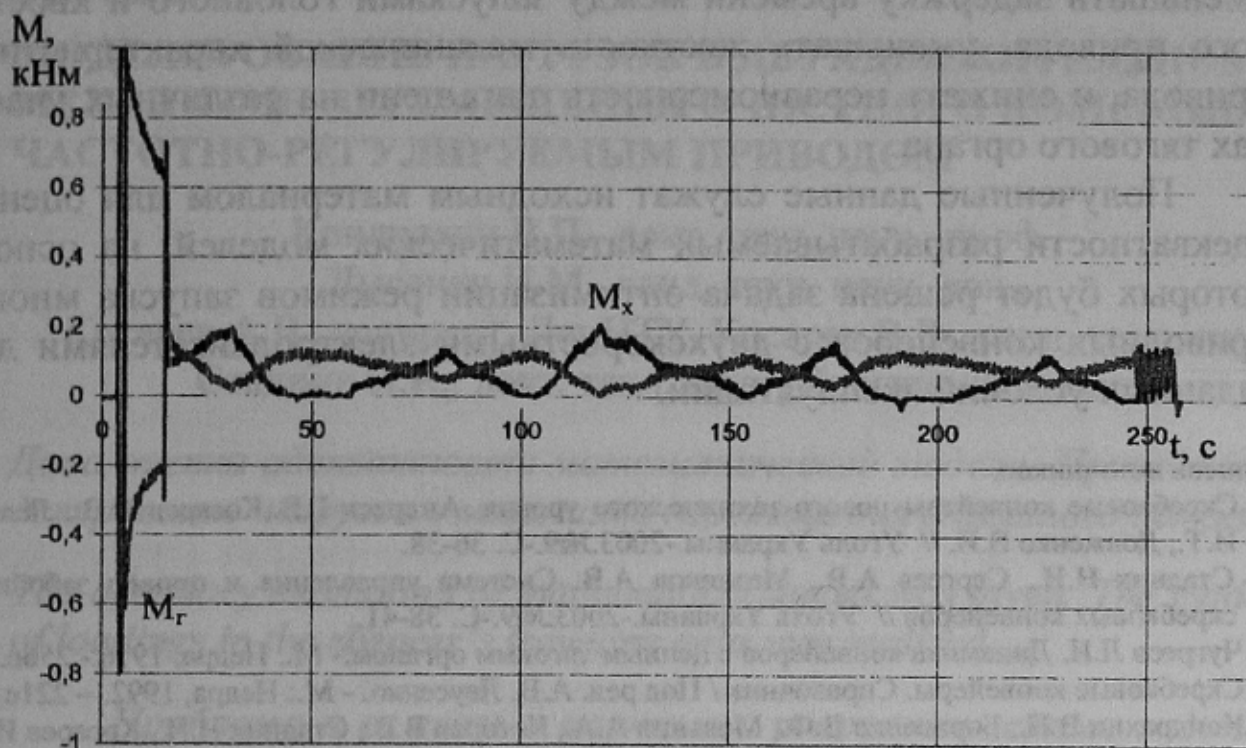


Рисунок 2 – Осциллограмма крутящих моментов при пуске и холостом ходе трехприводного конвейера (задержка времени между пуском на ВС хвостового и головного двигателя 0,09с)

Наибольшие нагрузки в редукторах двухприводного конвейера формируются в процессе запуска конвейера одним двигателем. При этом процесс запуска продолжается 40-50 с и сопровождается формированием знакопеременных крутящих моментов в обоих редукторах. Размахи колебаний момента достигают 5 кНм, а максимальные значения момента в головном приводе – 3,2 кНм. Период колебаний крутящих моментов и угловой скорости равен 2,5 с. Для данного режима характерны значительные колебания угловой скорости не включенного хвостового двигателя, причем максимальная частота вращения достигает 2600 об/мин при номинальной частоте вращения 1480 об/мин.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В результате проведенных экспериментальных исследований впервые для забойных скребковых конвейеров с двухскоростными электродвигателями зарегистрированы явления формирования тормозных моментов в одном из приводов и крайней неравномерности распределения нагрузки между приводами при неодновременном запуске электродвигателей на НС и ВС. Для устранения этих явлений необходимо

уменьшать задержку времени между запусками головного и хвостового привода, уменьшать жесткость механической характеристики привода, и снижать неравномерность шага цепи на различных участках тягового органа.

Полученные данные служат исходным материалом для оценки адекватности разрабатываемых математических моделей, на основе которых будет решена задача оптимизации режимов запуска многоприводных конвейеров с двухскоростными электродвигателями для заданных условий эксплуатации.

Список источников.

1. Скребокковые конвейеры нового технического уровня. Андреев Г.В., Косарев И.В., Лелека И.Т., Довженко В.И. // Уголь Украины.-2003.№9.-С. 36-38.
2. Стадник Н.И., Сергеев А.В., Мезников А.В. Система управления и привод забойных скребокковых конвейеров // Уголь Украины.-2003.№9.-С. 38-41.
3. Чугреев Л.И. Динамика конвейеров с цепным тяговым органом.- М.: Недра, 1976.- 256с.
4. Скребокковые конвейеры. Справочник / Под ред. А.В. Леусенко. - М.: Недра, 1992. – 221с
5. Кондрахин В.П., Борисенко В.Ф., Мельник А.А., Косарев В.В., Стадник Н.И., Косарев И.В. Моделирование пусковых режимов двухдвигательного привода на базе двухскоростных асинхронных электродвигателей // Наукові праці Донецького національного технічного університету, вип.99, Серія: гірничо-електромеханічна.- Донецьк: ДонНТУ.- 2005.- С.104-110.

*Дата поступления статьи в редакцию: 24.10.06*