

УДК 62.83.52.0313

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕГУЛИРУЕМОМ АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА СР72

А. А. Ткаченко, А. В. Осичев

Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: osichev@kpi.kharkov.ua, magistramd@mail.ru

А. Б. Богаевский

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61002, Украина.

Проведен анализ динамических процессов в одно- и двухприводном скребковом конвейере с асинхронным регулируемым электроприводом по результатам компьютерного моделирования. Представлены трехмерные пространственно-временные диаграммы динамических усилий в цепи, отображающие различные режимы пуска конвейера и процесс заклинивания. Показаны основные преимущества динамики скребкового конвейера с регулируемым асинхронным электроприводом по сравнению с существующим нерегулируемым с гидромуфтой.

Ключевые слова: скребковый конвейер, гидромуфта, регулируемый электропривод, заклинивание.

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РЕГУЛЬОВАНОМУ АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА СР72

А. О. Ткаченко, О. В. Осичев

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: osichev@kpi.kharkov.ua, magistramd@mail.ru

О. Б. Богаєвський

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Проведено аналіз динамічних процесів в одно- та двоприводному скребковому конвеєрі з регульованим асинхронним електроприводом за результатами комп'ютерного моделювання. Представлено тривимірні просторово-часові динамічні діаграми зусиль у ланцюзі, що відображають різні режими пуску конвеєра та процес заклинювання. Показано основні переваги динаміки скребкового конвеєра з регульованим асинхронним електроприводом порівняно з існуючим нерегульованим з гидромуфтою.

Ключові слова: скребковий конвеєр, гидромуфта, регульований електропривод, заклинювання.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Существующий электропривод забойного скребкового конвейера, как правило, содержит нерегулируемые асинхронный двигатель и гидромуфту. Гидромуфта ограничивает динамические нагрузки при пуске, предотвращая механические повреждения элементов привода, а также порыв или недопустимые по величине напряжения цепи при ее стопорении. Так, проведенное в [1] исследование динамических свойств одноприводного скребкового конвейера СР72 с учетом гидромуфты подтвердило факт смягчения пуска конвейера и, одновременно, показало, что гидромуфта не исключает порыв цепи от заклинивания, а лишь расширяет участок конвейера, на котором заклинивание аварийнобезопасно. Максимальные нагрузки в цепи двухприводного конвейера СР72 при заклинивании в среднем на 13 % выше по сравнению с одноприводным [2], поэтому при такой кинематической схеме ограничение динамических нагрузок гидромуфтой будет еще менее эффективно. Кроме того, гидромуфта не позволяет осуществить пуск конвейера с заданной интенсивностью, не обеспечивает длительной его работы на пониженной скорости. Частые пуски конвейера (до 400 раз в сутки), а также стопорения цепи приводят к нагреву гидромуфты, срабатыванию ее защиты либо выплескиванию рабочей жидкости, следствием чего являются простои и снижение производительности. Поэтому для производителей скребковых конвейеров актуальной является задача исключения гидромуф-

ты из новых разработок конвейеров и замена ее альтернативным оборудованием. Однако для перехода к практическому решению задачи проектирования конвейеров без гидромуфты им вначале необходимо убедиться в том, что конвейер сохранит работоспособность после замены привода с гидромуфтой, например, на современный частотно-регулируемый асинхронный электропривод с векторным управлением, особенно при заклинивании цепи.

Целью работы является исследование динамических свойств электромеханической системы одно- и двухприводного скребкового конвейера СР72 без гидромуфты с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с векторным управлением по результатам компьютерного моделирования в различных технологических режимах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Исходя из проведенных ранее исследований, в частности [1] и [2], можно заключить, что замена привода с гидромуфтой на альтернативный привод (без гидромуфты) возможна при условии, что новый электропривод должен: реализовать различные режимы плавного пуска (позволяющие исключить гидромуфту); иметь высокие динамические свойства (быстродействие, необходимое для экстренного торможения привода при заклинивании); иметь постоянный максимальный момент при пуске (это не приводит к возникновению резонанса на частоте, близкой к частоте колебаний электромагнитного момента асинхронного двигателя при прямом пуске) и заклинивании (это не

приводит к возникновению автоколебаний), который можно изменять в пределах $1...2 M_{ном.дв}$ (для обеспечения работоспособности привода); компенсировать снижение напряжения на хвостовом двигателе двухприводного конвейера, вызванное разностью длин питающих проводов (это не приводит к ударному замыканию ненатянутой цепи).

В настоящее время базовым решением в области электроприводческих систем является частотно-регулируемый асинхронный электропривод с векторным управлением. Такой электропривод однозначно удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям, по своей структуре подобен хорошо известной системе подчиненного регулирования (СПР), позволяет реализовать типовые настройки контуров тока и скорости, а также успешно используется в промышленно выпускаемых преобразователях большинства производителей.

Моделирование динамических процессов проведено на разработанной авторами [1, 2] компьютерной модели одно- и двухприводного скребкового конвейера СР72 с регулируемым асинхронным электроприводом с системой векторного управления, которая представлена стандартной двухконтурной СПР скорости в предположении о полноценно функционирующих контурах потока. Такая модель позволяет исследовать пуск в режиме токоограничения и плавный пуск конвейера, его работу на определенной скорости транспортирования, а также заклинивание цепи от различных причин.

На рис. 1,а, представлены трехмерные пространственно-временные диаграммы динамических процессов усилий $F(x,t)$ в цепи, рассчитанные в модели незагруженного скребкового конвейера без гидромолфты при пуске в режиме токоограничения от одного асинхронного регулируемого электропривода, расположенного в голове конвейера. Для сведения к минимуму колебаний скорости двигателя (перерегулирование), которые являются источником дополнительных динамических нагрузок, вносимых системой управления, регулятор скорости в модели электропривода выбран пропорциональный (П-РС). Максимальный момент двигателя ограничен на уровне $\lambda=1,42M_{ном.дв}$, равном отношению величины пускового момента асинхронного двигателя $M_{пуск.дв}$, работающего на естественной механической характеристике к его номинальному моменту $M_{ном.дв}$. Выбор такого уровня предельного момента регулируемого электропривода дает возможность сопоставить максимальные динамические нагрузки в цепи при прямом пуске и заклинивании конвейера СР72, полученные в [2] с исследуемыми при наличии СПР. Значение предварительного натяжения цепи в модели равно $F_{пт}=44$ кН, провис отсутствует, моделируемая цепь обладает упругостью при растяжении и "сжатии" относительно уровня предварительного натяжения.

Из рассмотрения процессов, представленных на рис. 1,а, можно сделать вывод, что пуск одноприводного конвейера в режиме токоограничения (за время разгона $t=0,2$ с) с максимальным моментом приводит к возникновению собственных колебаний усилий в цепи с частотой 8,3 Гц, амплитуда которых

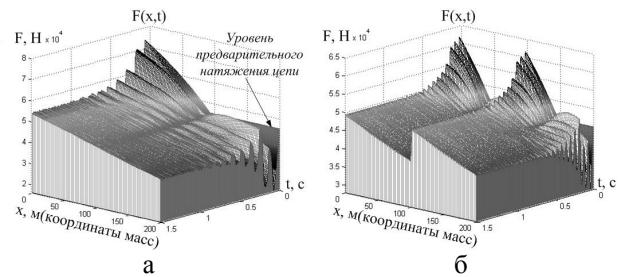


Рисунок 1 – Динамические усилия в цепи при пуске конвейера в режиме токоограничения: а) одноприводной; б) двухприводной

максимальна возле приводной станции 74 кН с учетом $F_{пт}$ и уменьшается по мере отдаления от нее. После разгона конвейера возникшие колебания затухают, двигатель передает тяговое усилие на рабочую и холостую ветви, максимальная нагрузка в цепи в точке набегания возле приводной станции равна 10 кН без учета $F_{пт}$.

На рис. 1,б представлены трехмерные пространственно-временные диаграммы динамических процессов усилий $F(x,t)$ в цепи двухприводного конвейера при пуске в режиме токоограничения от двух идентичных регулируемых асинхронных электроприводов с пропорциональными регуляторами скорости. При такой кинематической схеме максимальные усилия в точках набегания обеих незагруженных ветвей при пуске составляют 62 кН с учетом $F_{пт}$, а в установившемся режиме уменьшаются в два раза до 5 кН без учета $F_{пт}$ по сравнению с одноприводным конвейером. Частота собственных колебаний удваивается до 16,6 Гц.

Таким образом, результаты, полученные для одно- и двухприводного конвейера с регулируемым асинхронным электроприводом при пуске в режиме токоограничения соответствуют полученным в [2] для асинхронного электропривода с прямым пуском при условии, что уставка λ максимального момента в системе регулирования задана на уровне $M_{пуск.дв}/M_{ном.дв}$ асинхронного двигателя. Превышение этого уровня приводит к увеличению динамических нагрузок в цепи при пуске конвейера и при его заклинивании, как будет показано ниже.

Основным отличием динамических процессов является то, что при пуске конвейера стоячие волны на частоте третьего резонанса, близкой к частоте колебаний электромагнитного момента асинхронного двигателя, при прямом пуске не возникают, поскольку момент двигателя с наличием СПР в режиме токоограничения постоянный. Такое преимущество позволяет устранить дополнительные динамические нагрузки в цепи конвейера при пуске (вызванные резонансными явлениями) аналогично гидромолфте, которая в исходной модели конвейера также демпфировала колебания пускового момента асинхронного двигателя.

Оценим величину динамических нагрузок в цепи одно- и двухприводного конвейера при пуске с постоянным ускорением при времени разгона $t=2$ с. Такой способ плавного пуска обеспечивает линейный задатчик интенсивности преобразователя. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

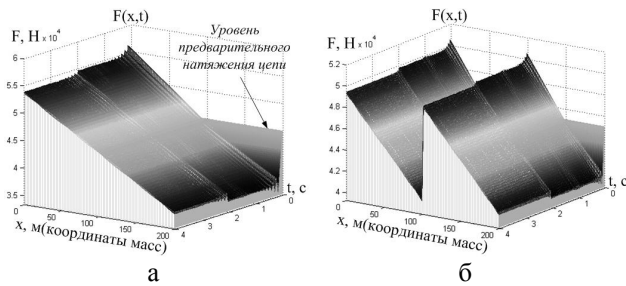


Рисунок 2 – Динамические усилия в цепи при плавном пуске конвейера: а) одноприводной; б) двухприводной

Из графиков (рис. 2) видно, что увеличение времени разгона до 2 с приводит к значительному снижению динамических нагрузок в цепи при пуске одноприводного (на 76 %) и двухприводного (на 81 %) конвейера, по сравнению с прямым пуском от асинхронного двигателя. Небольшие собственные колебания усилий в цепи возникают только в момент трогания и при завершении разгона конвейера из-за наличия скачков ускорения, которые, как правило, устраняются стандартным S-образным задатчиком интенсивности преобразователя.

Оценим величину динамических нагрузок в цепи одно- и двухприводного конвейера при заклинивании рабочего органа по причине попадания скребка в рештак, как наиболее опасного для цепи и кинематических звеньев аварийного режима. После разгона конвейера и выхода его на рабочую скорость моделируется мгновенный останов скребка посередине рабочей ветви. Регулятор скорости в модели – пропорциональный, а максимальный момент привода задан на уровне $\lambda = 1,42 M_{ном.дв.}$. Результаты расчета такого вида заклинивания приведены на рис. 3.

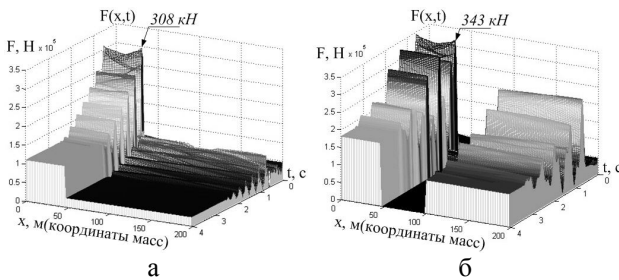


Рисунок 3 – Динамические усилия в цепи конвейера при заклинивании: а) одноприводной; б) двухприводной

Из рис. 3, а видно, что мгновенный останов скребка вызывает значительные колебания усилий в цепи на участке от точки заклинивания к приводной станции. Первый пик усилий амплитудой 308 кН с учетом $F_{пн}$, превышающей разрывное усилие цепи калибра 18×64 конвейера СР72, равное 252 кН, вызван волной растяжений, распространяющейся от места заклинивания к приводной станции и отражающейся от нее. Нарастание усилий в цепи происходит по мере нагружения привода с одновременным снижением его скорости (вплоть до остановки) за счет перехода кинетической энергии, запасенной в останавливающихся инерционных массах в потенциальную энергию растяжения цепи. При нулевой скорости двигателя

усилия растяжения в цепи максимальны, что приводит к его раскручиванию в обратную сторону и появлению волны “сжатий”, которая теперь распространяется от двигателя к месту заклинивания. Возникшие в процессе “растяжений–сжатий” колебания затухают за четыре периода, двигатель останавливается, не переходя в автоколебательный режим, и создает стопорный статический момент, натягивая цепь до уровня 110 кН с учетом $F_{пн}$.

Из рис. 3, б видно, что максимальная амплитуда первого пика усилий в цепи возле головного привода двухприводного конвейера при заклинивании посередине рабочей ветви на 11 % выше, чем для одноприводного, и равна 343 кН с учетом $F_{пн}$. После останова конвейера усилие натяжения рабочей ветви составляет 181 кН с учетом $F_{пн}$, что почти в два раза больше по сравнению с одноприводным конвейером за счет действия стопорного момента хвостового привода через холостую ветвь. Динамические удары на рабочей ветви конвейера от хвостового привода до точки заклинивания, описанные в [2], не возникают, поскольку постоянного усилия хвостового привода достаточно для преодоления нагрузки со стороны холостой ветви (даже при учете разности длин питающих проводов), цепь находится в ненапрянутом состоянии, но ее ударного замыкания не происходит.

Обобщение результатов моделирования (рис. 4) подтвердило выявленный в [1, 2] факт снижения максимальных усилий в цепи по мере отдаления точки заклинивания от головного привода до уровня 224 кН с учетом $F_{пн}$ для одноприводного и 280 кН с учетом $F_{пн}$ для двухприводного конвейера.

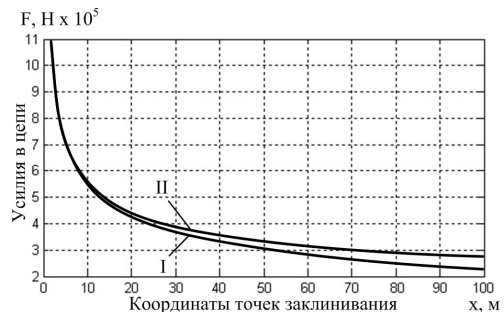


Рисунок 4 – Зависимость максимальной величины динамических усилий в цепи от места заклинивания: I – одноприводной; II – двухприводной

Из зависимостей видно, что максимальные усилия в цепи двухприводного конвейера (кривая II) по величине совпадают с максимальными усилиями в цепи одноприводного конвейера (кривая I) при нахождении точки заклинивания в начале рабочей ветви. В этом случае нарастание упругого усилия до максимума заканчивается гораздо раньше, чем начинает нагружаться (останавливаться) хвостовой привод через холостую ветвь, принимая участие в процессе заклинивания. По мере отдаления точки заклинивания от головного привода максимальные усилия в цепи двухприводного конвейера становятся больше по сравнению с усилиями в одноприводном, поскольку время прохождения волны растяжений по рабочей ветви от точки заклинивания к го-

ловному приводу, а значит и время нарастания упругого усилия до максимума, увеличивается, что приводит к увеличению влияния хвостового привода через холостую ветвь.

Покажем влияние величины уставки λ предельного момента двигателя на амплитуду максимальных усилий в цепи при заклинивании. Для этого выполнен расчет динамических процессов в одно- и двухприводном конвейере с регулируемым электроприводом, регулятор скорости в модели оставим пропорциональный с возможностью изменения величины уставки в пределах $\lambda=1\dots 2 M_{ном.дв}$, а точку заклинивания цепи в модели зададим посередине рабочей ветви. Результаты моделирования приведены на рис. 5.

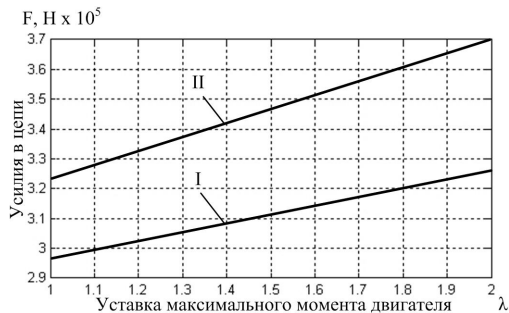


Рисунок 5 – Зависимость максимальной величины динамических усилий в цепи от уставки λ при заклинивании: I – одноприводной; II – двухприводной

Из рис. 5 видно, что максимальные усилия в цепи прямо пропорционально зависят от максимального момента двигателя при его стопорении. Причем в двухприводном конвейере этот эффект выражен сильнее по сравнению с одноприводным. Поэтому для снижения динамических нагрузок в цепи при заклинивании целесообразно уменьшать макси-

мальный момент привода после его разгона. Однако в рассматриваемом случае предотвратить порыв цепи таким способом не получится, поскольку даже при минимальной уставке, равной $\lambda=1$, усилие в цепи превышает разрывное значение.

ВЫВОДЫ. Замена нерегулируемого электропривода конвейера CP72 с гидромуфтой на регулируемый электропривод по системе СПР без гидромуфты улучшает динамические свойства всей электро-механической системы, но не исключает возможности порыва цепи при заклинивании рабочей ветви. Поэтому для снижения динамических нагрузок в цепи необходимо провести разработку системы с датчиком заклинивания, по сигналу с которого обеспечивалось бы экстренное торможение привода.

Асинхронный электропривод по системе СПР обеспечивает плавный пуск и устраняет слабозатухающие колебания на третьей гармонике при пуске конвейера в режиме токоограничения, а в случае заклинивания цепи не переходит в режим автоколебаний. Кроме того, исключается ударное замыкание ненатянутой цепи в двухприводном конвейере при заклинивании.

ЛИТЕРАТУРА

- Осичев А.В., Ткаченко А.А. Оценка влияния гидромуфты на динамические усилия в скребковом конвейере CP72 при заклинивании рабочего органа // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4/2010 (63), ч. 3. – С. 126–129.
- Ткаченко А.А., Осичев А.В. Анализ динамических процессов в двухприводном скребковом конвейере CP72 в различных технологических режимах // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2011. – № 03 (79). – С. 182–184.

THE ANALYSIS OF DYNAMIC PROCESSES IN THE ADJUSTABLE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF ARMORED FACE CONVEYOR CP72

A. Tkachenko, A. Osichev

National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute"

ul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: osichev@kpi.kharkov.ua, magistramd@mail.ru

A. Bogaevskiy

Kharkov National Automobile and Highway University

ul. Petrovskogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine.

The comparative analysis of dynamic processes is lead to one- and double-drive the longwall armored face conveyor with the asynchronous adjustable electric drive by results of computer modelling. The three dimensional space-time dynamic processes of forces in chain displaying various modes of start-up of the conveyor and jamming are presented. The main advantages of dynamics of the armored face conveyor with the adjustable asynchronous electric drive in comparison with existing noncontrollable with the fluid coupling are shown.

Key words: longwall armored face conveyor, fluid coupling, adjustable electric drive, jamming.

REFERENCES

- Osichev A.V., Tkachenko A.A. Estimation of influence fluid coupling on dynamic tensions in armored face conveyor CP72 at chain jamming // *Transactions of Kremenck Mykhaylo Ostrogradskiy State Polytechnic University*. – Kremenchuk: KDU, 2010. – Iss. 4/2010 (63), part 3. – PP. 126–129. [in Russian]
- Tkachenko A.A., Osichev A.V. The analysis of dynamic processes in double-drive the longwall armored face conveyor CP72 in various technological

modes // *Electrotechnic and computer systems*. – K.: Technika, 2011. – № 03 (79). – PP. 182–184. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Гладирем А.І.