

УДК 62.83.52.0313

РАЗРАБОТКА СЕМЕЙСТВА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Осичев А.В., к.т.н., проф., Ткаченко А.А., асп.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21

E-mail: osichev@kpi.kharkov.ua, magistrand@mail.ru

У статті описані проблеми функціонування існуючих електроприводів скребкових конвеєрів і особливості їхньої роботи у зв'язку з модернізацією. Розроблені комп'ютерні моделі конвеєрів з різними кінематичними схемами, що дозволяють досліджувати основні й аварійні режими роботи. Представлено тривимірні просторово-часові перехідні характеристики, що відображають пуск конвеєра й появу стоячих хвиль.

Ключові слова: забійний скребковий конвеєр, кінематичні схеми, гідромуфта, модель конвеєра.

In the paper the problems of work of existing longwall armored face conveyor electric drives and features of their work caused by their modernization are described. Computer models of these conveyors with the various kinematic chains are developed, allowing to investigate the basic and emergency modes of work. The three dimensional space-time response reflecting (displaying) start-up of the conveyor and occurrence of standing waves are presented.

Key words: longwall armored face conveyor, kinematic chains, fluid coupling, conveyor model.

Введение. Современное состояние и уровень развития угольной промышленности требует постоянной модернизации и обновления оборудования. К такому оборудованию относятся различные виды конвейеров, описанию и исследованию динамики которых посвящено много работ таких ведущих ученых и специалистов как Спиваковский А.О., Дьячков В.К., Иванченко Ф.К. [1, 2]. Создание новых типов конвейеров требует комплексного подхода, включающего этап математического моделирования, как показано, например, в работах [3-5]. В то же время появление серийно выпускаемых надежных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов открывает возможности такой модернизации действующего оборудования, которая является не частичным улучшением, а принципиальным обновлением, особенно в части динамических свойств. Одним из примеров такого оборудования являются забойные скребковые конвейеры. Актуальность задач исследования динамики и усовершенствования этого вида конвейеров отображена в работах Бандурин А.Н., Каширских В.Г. (КузГТУ), Маренич К.М. (ДонНТУ), Morley L.A. (США), Broadfoot A.R., Wauge David H. (Австралия) [6-12].

Цель работы - разработка семейства компьютерных моделей для исследования динамических процессов в электроприводах скребковых конвейеров с учетом основных факторов, влияющих на их работоспособность.

Материал и результаты исследования. Скребковые конвейеры производятся на Украине несколькими машиностроительными предприятиями, в частности, Харьковским машиностроительным заводом "Свет шахтера". Завод является крупнейшим поставщиком оборудования забойного транспорта угольным и сланцевым шахтам, калийным рудникам и другим горным предприятиям ближнего и дальне-

го зарубежья. Длина выпускаемых скребковых конвейеров находится в пределах 100-400 м, энергооборуженность 30-800 кВт, производительность 125-1400 т/ч [13].

В настоящее время широко используются скребковые конвейеры со следующими основными кинематическими схемами (рис. 1):

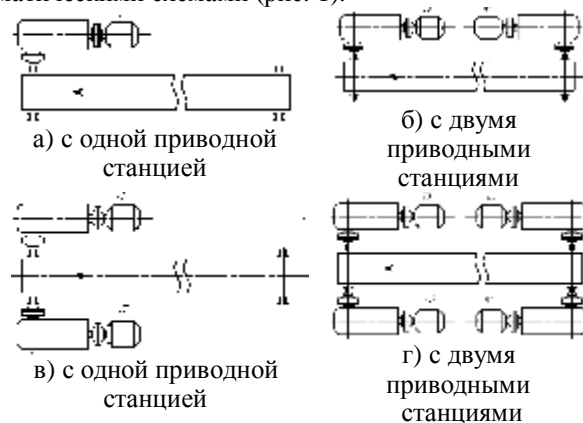


Рисунок 1 – Кинематические схемы скребковых конвейеров

Скребковый конвейер может иметь одну или две приводные станции, включающие один или два приводных блока каждая. Приводной блок содержит асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, гидродмуфту, редуктор и приводную звездочку. Тяговое усилие от звездочки зацеплением передается на цепь с закрепленными на ней скребками, которые перемещают уголь.

Существующий электропривод скребкового конвейера, как правило, содержит асинхронный двигатель и гидродмуфту. Гидродмуфта ограничивает динамический момент при пуске, предотвращая механические повреждения элементов привода, а также

порыв или недопустимые по величине напряжения цепи при ее стопорении. Применение гидромурфт в скребковых конвейерах позволяет увеличить срок службы приводных электродвигателей в 5-6 раз, цепи – в 2-3 раза [13]. Однако гидромурфта не позволяет осуществить пуск конвейера с заданной интенсивностью, а также не обеспечивает длительной его работы на пониженной скорости. Затяжные пуски перегруженного конвейера и частые стопорения приводят к нагреву гидромурфты, срабатыванию ее защиты или выплескиванию перегретой эмульсии, следствием чего являются простои и снижение производительности [9].

Системы с двухскоростными асинхронными двигателями без гидромурфты обеспечивают технологический режим движения на пониженной скорости, но не обладают достаточными демпфирующими свойствами. Кроме того, в них сохраняются броски момента при переключении обмоток статора (пар полюсов), увеличиваются габариты и стоимость коммутационного оборудования во взрывозащищенном исполнении [8, 9], а также имеются проблемы с реализацией экстренного торможения при заклинивании конвейера во избежание порыва цепи. Автоматизированный электропривод с применением двигателя постоянного тока имеет существенные преимущества и может реализовать все необходимые режимы работы конвейера. Однако наличие коллекторного узла и трудность осуществления взрывозащиты повсеместно ограничили его распространение в системах шахтного конвейерного транспорта [1].

В современных асинхронных частотно-регулируемых электроприводах устранены вышеупомянутые недостатки и “даже такая консервативная отрасль, как угольная промышленность, постепенно переходит к внедрению этого оборудования” [10]. Применение частотного электропривода с векторным управлением позволяет решить следующие задачи: исключить гидромурфту и ограничить пусковые токи (долговечность двигателей, просадка напряжения в слабых сетях); обеспечить работу конвейера на любой заданной скорости; выровнять загрузку двигателей при отличии параметров редукторов и механических характеристик двигателей; обеспечить заданное напряжение на двигателях конвейера независимо от длины питающих кабелей; предотвратить стопорение перегруженного конвейера при пуске [10].

Проведение эксперимента на реальном оборудовании в условиях шахты затруднено как в условиях отечественных шахт, так и для зарубежных исследователей. Руководство шахт отказывается проводить в качестве эксперимента пуск перегруженного конвейера или намеренное его стопорение [11]. В связи с этим для изучения возможности замены привода с гидромурфтой на частотно-регулируемый асинхронный электропривод авторами статьи разработано семейство моделей конвейеров с их различными кинематическими схемами.

При составлении модели в качестве объекта был использован скребковый конвейер СР72, выпускаемый Харьковским машиностроительным заводом

“Свет шахтера”. Длина конвейера $L=100$ м, производительность $\Pi=600$ т/ч, количество цепей – 2, калибр цепи – 18×64 , масса погонного метра 2-х цепей со скребками – 18 кг/м, погонная масса транспортируемого груза – 100 кг/м, угол наклона конвейера $\alpha=0^\circ$, приводной асинхронный двигатель мощностью $P_{\text{н}}=55$ кВт, скорость транспортирования груза $v_{\text{ном}}=0,95$ м/с [13].

Механическая часть конвейера в модели представлена системой с сосредоточенными параметрами и состоит из 200 элементарных звеньев, соединенных между собой. Каждое элементарное звено рабочей ветви характеризуется суммарной массой $m_i=118$ кг (цепи, скребка и груза), упругостью $k=2 \cdot 10^8$ н/м и вязкостью цепи $\beta=3000$ н·с/м. На каждую массу действуют силы трения скольжения угля по стали с коэффициентом трения $\Psi=0,45$ [2], при наклонной трассе – проекции силы тяготения, а также упруго-вязкие усилия со стороны соседних звеньев. Движение рабочего органа описывается системой дифференциальных и алгебраических уравнений, составленных на основании второго закона Ньютона и закона Гука.

На рис.2 представлена трехмерная “осциллограмма” проведенного авторами расчета пуска незагруженного конвейера при предельно упрощенной модели привода: при усилении, воздействующем на первую массу и уменьшающемся с ростом ее скорости, а также при наличии провиса цепи у ведущей звездочки на стороне сбегавшей ветви, аналогично тому, как это было рассмотрено в работе [6].

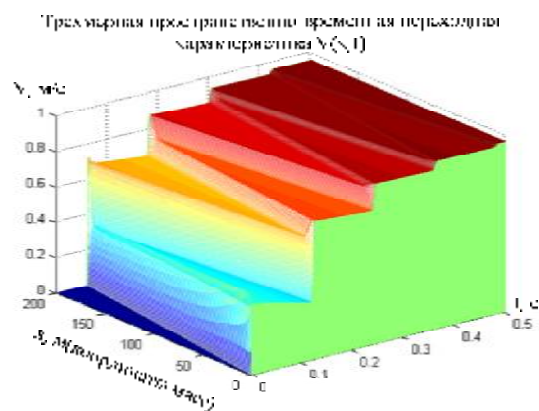


Рисунок 2 – Скорости движения элементов цепи конвейера в модели с провисом цепи

Волна деформаций распространяется от места приложения усилия со скоростью $v \approx 3700$ м/с и отражается от свободного конца конвейера. Наличие демпфирования в “приводе” обеспечивает затухание колебаний за 4-5 проходов волны вдоль конвейера. Частота этих колебаний равна 8-9 Гц.

Следует заметить, что скорость прохождения волны ниже, чем скорость волны в стали (5000 м/с), поскольку в погонную массу цепи входит масса скребков и поперечных участков звеньев цепи. Это увеличивает эквивалентную погонную массу и снижает скорость волны в соответствии с теоретическими представлениями.

Рассчитанный авторами график динамического

процесса прохождения волны при отсутствии провиса цепи и предварительном натяжении рабочего органа конвейера (как это принято в [11]) показан на рис. 3.

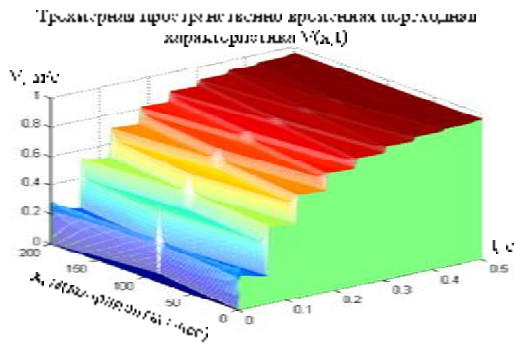


Рисунок 3 – Скорости движения элементов цепи конвейера в модели без провиса цепи

Волна деформаций распространяется по рабочей и холостой ветви одновременно навстречу друг другу, что приводит к увеличению наблюдаемой частоты “колебаний” в два раза.

Модели скребкового конвейера разработаны как с одним, так и с двумя приводными асинхронными двигателями, расположенными в голове и хвосте конвейера. Они позволяют моделировать наиболее тяжелый режим: прямой пуск конвейера с нагрузкой и без нее, а также “загрузить” конвейер после пуска. При этом в модель введено предварительное натяжение цепи.

На рис. 4-6 представлены результаты моделирования пуска одно- и двухконцевого конвейеров с асинхронным приводом без гидромукфты, незагруженных и при полной нагрузке.

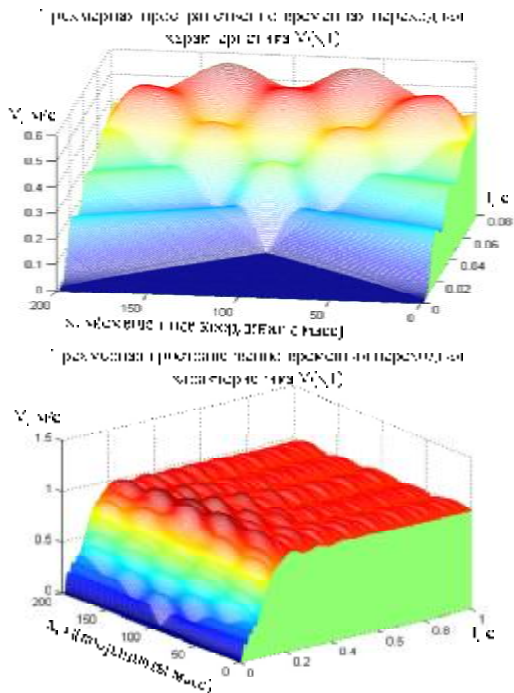


Рисунок 4 – Прямой пуск незагруженного конвейера с одним асинхронным двигателем

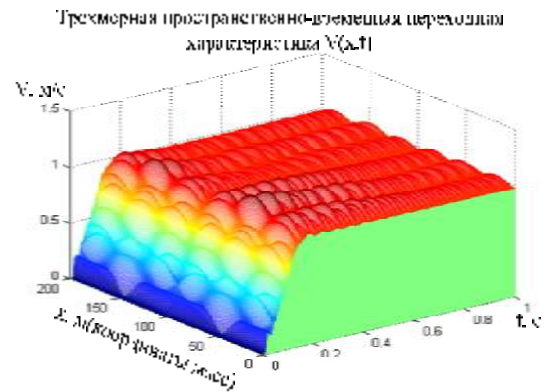
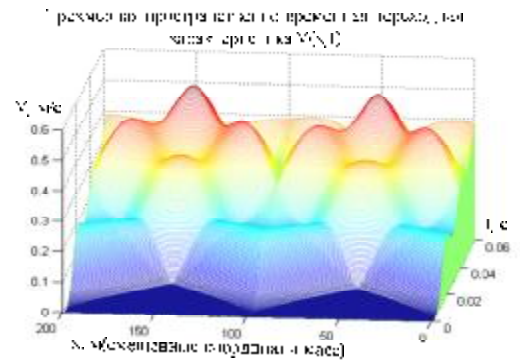


Рисунок 5 – Прямой пуск незагруженного конвейера с двумя асинхронными двигателями, расположенными в голове и хвосте конвейера

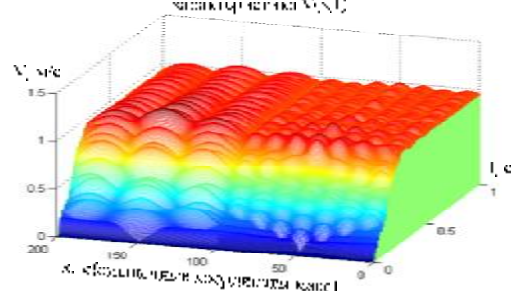
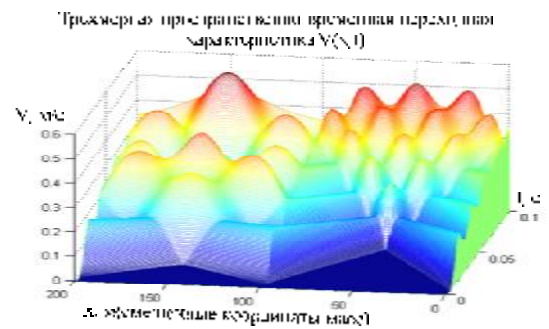


Рисунок 6 – Прямой пуск загруженного конвейера с двумя асинхронными двигателями, расположенными в голове и хвосте конвейера

Они являются, по сути, трехмерным представлением пространственно-временных переходных характеристик электромеханической системы по скоростям V всех двухсот моделируемых масс.

По оси t отложено время. По оси x отложены

значения координат движущихся масс, причем из текущего значения координаты каждой массы по длине движущегося конвейера вычитается в ходе расчета координата нулевой массы. Поскольку удлинение цепи в динамике невелико, а расстояние между массами принято равным 1м, выводимые на ось значения координаты x каждой массы совпадают с ее порядковым номером.

Из рис. 4 видно, как распространяются навстречу друг другу две волны скоростей, встречаются, накладываются и начинают образовывать интерференционную поверхность $V(x,t)$. Когда пуск двигателя завершен, в этой картине четко выделяются пять максимумов в значениях скоростей масс – стоячая волна. Ее существование обусловлено тем, что механическая часть рассматриваемого конвейера имеет третий резонанс на частоте 50 Гц, и, как известно, именно эта частота генерируется в движущем моменте асинхронного привода при пуске. Колебания, возбуждившие механическую часть, относительно медленно затухают, так как двигатель практически не оказывает демпфирующего воздействия (частота 50 Гц лежит за пределами его полосы пропускания).

Из рис. 5 виден характер зависимости $V(x,t)$ при двухприводной кинематической схеме конвейера. Волны распространяются навстречу друг другу по вдвое более короткому отрезку конвейера, поэтому частоты удваиваются, интерференционная картина изменяется и после выхода на номинальную скорость формируется не 5, а 6 максимумов (пучностей) стоячих волн скоростей по длине всего конвейера.

Из рис. 6 видно, что пуск полностью загруженного конвейера сопровождается более медленным прохождением волны скоростей по рабочей ветви. Соответственно, устанавливается интерференционная картина с тремя пучностями на холостой ветви конвейера и семью – на рабочей загруженной. Это соотношение равно квадратному корню из отношения масс холостой и загруженной ветвей, что соответствует известной формуле для расчета скорости волны.

Выводы. В статье описана проблематика модернизации электроприводов скребковых конвейеров. Разработаны компьютерные модели скребковых конвейеров с различными кинематическими схемами.

Использовано трехмерное представление динамических процессов, емко и наглядно отображающее их характер как во времени, так и по длине конвейера.

Скорости распространения волны и частоты колебаний в модели соответствуют теоретически рассчитанным, поэтому модели конвейеров могут использоваться для дальнейшего проведения компьютерного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. *Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов.* – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. Иванченко Ф.К., Бондарев В.С., Колесник Н.П., Барабанов В.Я. *Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин.* Киев, издательское объединение “Вища школа”, Головное изд-во, 1978. – 576 с.
3. Геродес Г.А., Жук Н.Е., Оби Френк, Осичев А.В. К выбору оптимальной конструкции конвейерной подъемной установки // Тезисы семинара по проблемам оптимизации в машиностроении. – Харьков: Харьковский политехнический институт им. В.И. Ленина. – 3-5 октября 1982. – С. 269.
4. Геродес Г.А., Осичев А.В., Оби Френк. Исследование режимов работы конвейерной подъемной установки на цифровой ЭВМ // Вестник Харьковского политехнического института. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – №214. *Электромашиностроение и автоматизация пром. предприятий.* Вып. 9. – С. 73–75.
5. Шевчук В.В., Осичев А.В. О работоспособности двухленточных конвейеров с крутонаклонной трассой // Горный журнал. – 1989. – Вып. 12. – С. 60–64.
6. Бандурин А.Н. Моделирование динамики рабочего органа скребкового конвейера // Вестн. КузГТУ. – 1999, № 2. – С. 46 - 49.
7. Каширских Г.В., Переверзев С.С. Управление пуском одноприводного скребкового конвейера // Вестн. КузГТУ. – 2005, № 5. – С. 79 - 82.
8. Lloyd A. Morley, Jeffrey L. Kohler, Harold M. Smolnikal. A Model for Predicting Motor Load for an Armored Face-Conveyor Drive // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. Juli/August, 1988. – S. 649-659.
9. Alan R. Broadfoot and Robert E. Betz. Control Problems in Armored Face Conveyors for Longwall Mines // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. March/April, 1998. – S. 381-386.
10. Alan R. Broadfoot and Robert E. Betz. New Control Strategies for Longwall Armored Face Conveyors // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. March/April 1998. – S. 387-394.
11. Alan R. Broadfoot and Robert E. Betz. Prediction of Power Requirements for a Longwall Armored Face Conveyor // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. January/February, 1997. – S. 80 – 89.
12. David H. Wauge. Modelling of an Armored Face Conveyor. Department of Mechanical Engineering The University of Queensland. Masters of Engineering Science Thesis August 19, 2002.
13. Сайт ОАО “ХМЗ” Свет шахтера”: <http://www.shaht.kharkov.ua>.

Статья надійшла 7.04.2008 р.
Рекомендована до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.