

УДК 622.647.1-52

СКРЕБКОВЫЙ КОНВЕЙЕР КАК МЕХАТРОННЫЙ МОДУЛЬ

Стадник Н.И., докт. техн. наук, ГП «Донгипроуглемаш»,
Семенченко А.К. докт. техн. наук, проф., ДонНТУ,
Мезников А.В., инженер, ГП «Донгипроуглемаш»

В статье рассмотрено использование принципов мехатроники в горном машиностроении на примере забойных скребковых конвейеров. Предложена структура скребкового конвейера как мехатронного модуля.

The article considers the use of mechatronics principles in the mining machinery industry on the example of face flight conveyors. Flight conveyor structure is proposed as a of mechatronic module.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В связи с резким сокращением количества очистных забоев (на 30% за последние 5 лет) и численности персонала, непосредственно занятого добычей угля, при сохранении объемов добываемого угля на прежнем уровне, в угольной промышленности Украины взято направление на использование более производительной техники, интенсификации производственных процессов, достигающихся за счет применения высоконадежного горно-шахтного оборудования, а также увеличения его энерговооруженности.

В настоящее время для решения поставленной задачи ведется работа по созданию высокопроизводительной очистной, проходческой техники, конвейерного транспорта и другого горно-шахтного оборудования [1]. Разрабатываются очистные комбайны нового поколения с суточной производительностью до 10000 т/сутки, механизированные крепи, ряд проходческих комбайнов и буропогрузочных машин, высокопроизводительные насосные станции [2]. Одним из основных механизмов очистного комплекса является скребковый конвейер, повышение производительности, надежности и ресурса которого является одной из наиболее актуальных задач в части повышения суточной нагрузки на очистной забой.

Анализ исследований и публикаций. В работе [3] произведен обзор парка скребковых конвейеров, находящихся в эксплуатации на шахтах Украины, увеличение энерговооруженности которых, при традиционном решении пуска, приведет к использованию редукторов с повышенным запасом прочности, цепи более высокого калибра, не-

обоснованному увеличению металлоемкости узлов конвейера и т.д. В части динамики механизма это приведет к значительному увеличению перегрузок в трансмиссии конвейера, его става и рабочего органа, что в конечном итоге скажется на снижении его надежности, повышении аварийности и сокращении срока эксплуатации. До недавнего времени в данных конвейерах применялся электромеханический привод, состоящий из механической части – редуктора, гидравлической – гидромуфты и электродвигателя. Задача системы управления состояла только в подаче команды пуска конвейера и контроля защитных функций, т.е. автоматизация по четко определенной последовательности действий (алгоритму управления) объекта управления.

Появление в мировой практике скребковых конвейеров, привод которых построен на базе двухскоростных асинхронных электродвигателей, снимает значительную часть проблем, возникающих при пуске конвейера, за счет поэтапного запуска конвейера – первоначально на низкой скорости («срывание» конвейера высоким моментом за счет уменьшения потерь в питающей сети, вызванных пусковыми токами меньшей мощности обмотки двигателя низкой скорости) с последующим переходом на высокую (рабочую) скорость. При этом значительная часть функций в части адаптации конвейера и его механизмов под конкретные условия эксплуатации ложится на электронную систему управления, одной из основных задач которой является оптимальный пуск конвейера, контроль основных параметров и глубокая диагностика режимов его работы.

Постановка задачи. В данной работе рассматривается взаимодействие узлов и механизмов скребкового конвейера как мехатронного модуля в части анализа влияния системы управления как одной из компонент, с целью уменьшения перегрузок, возникающих в механизмах конвейера при его пуске с использованием двухскоростных асинхронных электродвигателей.

Изложение материала и результаты. С 1998 года институт «Донгипроуглемаш» ведет работу по созданию двухскоростных скребковых конвейеров, привод которых выполнен на базе асинхронных электродвигателей [4]. Основными отличительными особенностями привода данных конвейеров является:

- малогабаритность приводных блоков;
- применение двухскоростных асинхронных электродвигателей мощностью 55/160, 65/200, 85/250, 115/550 кВт;

- обеспечение управления конвейером, контроль состояния механизмов, защит и блокировок посредством специализированных комплектных устройств управления.

Первый опыт эксплуатации созданных конвейеров подтвердил их высокую эффективность однако выявил и проблему, в части оптимизации пуска, в значительной степени определяющую ресурс механизмов конвейера.

До появления отечественных двухскоростных конвейеров на шахтах эксплуатировались аналоги импортного производства фирм "Глиник" (Польша) и СЗК (Чехия), управление которыми осуществлялось посредством взрывобезопасных контакторных пускателей типа OW-1484WR фирмы Apator (Польша) [5] и пускателей типа SN2 (Чехия) [6]. Данные устройства обеспечивали выполнение электрических защит электроприводов, контроль их состояния, блокировку при возникновении аварийных режимов, однако в части оптимизации пуска и работы двухскоростных скребковых конвейеров, данные устройства имели ряд существенных недостатков:

- критерием перехода с низкой скорости на высокую является только временной фактор, не учитывается текущая загрузка конвейера, что приводит к несвоевременному переходу на высокую скорость, вызывающему возникновение перегрузок в трансмиссиях конвейера и электроприводах, вплоть до «опрокидывания» электродвигателей;

- защита электродвигателей от перегрузки по току выполняется только по предельному максимальному уровню, что ведет к снижению надежности электрооборудования;

- отсутствуют ряд существенных и необходимых защит по контролю параметров приводных редукторов и электродвигателей;

- низкая информативность устройств.

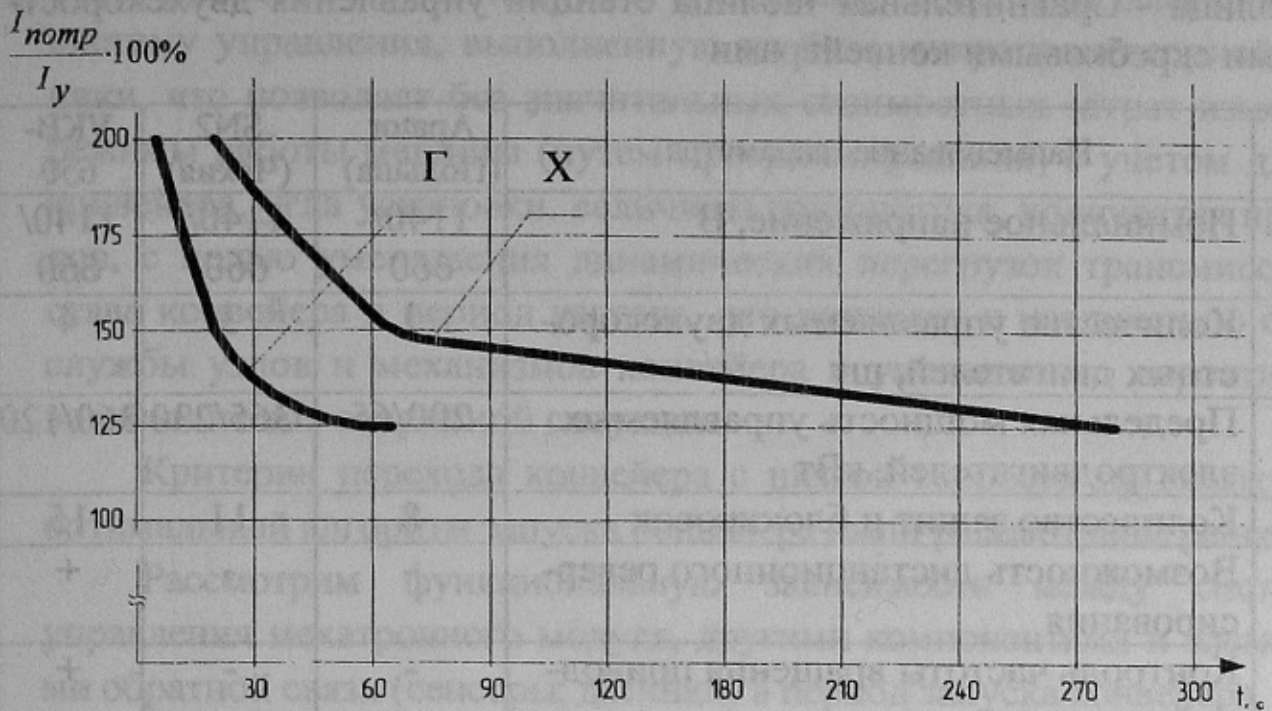
Вышеизложенное не дало возможности использовать данные устройства в качестве управляющих для создаваемых конвейеров типа КСД 26, КСД 27, КСД 210 и др., в связи с чем были созданы комплектные устройства КСД 27.50 (устройство управления двухприводным скребковым конвейером) и УКВ-650 (устройство управления, построенное по модульному принципу, способное управлять двухскоростным скребковым конвейером с количеством приводов от одного до четырех), основными функциями которых, помимо обеспечения необходимых защит и блокировок электроприводов конвейера, являлось обеспечение наиболее рационального (оптимального) пуска конвейера с применением специального алгоритма переключения

приводов в функции тока и времени с целью уменьшения динамических нагрузок в элементах конвейера при его запуске.

Рассмотрением и анализом взаимодействия механизмов механики, электротехники и электронных систем управления занимается новая область науки – мехатроника, получившая широкое развитие в последние годы.

Мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении механизмов механики с электронными и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями [7].

Одной из составных частей мехатроники является информационность и, как следствие, диагностические свойства механической составляющей объекта управления. При создании устройства управления УКВ-650 и аппаратуры управления АУДК этому было уделено значительное внимание – был введен контроль параметров и защит не только требуемых «Правилами безопасности в угольных шахтах» и «Нормативами по безопасности забойных машин, комплексов и агрегатов», но и других параметров, необходимых для нормального функционирования объекта управления, предотвращения возникновения аварийных ситуаций. Так, при разработке двухскоростного электродвигателя в качестве контроля его температурного режима были введены тепловые датчики позисторного типа двух уровней: 165 и 145 °С, первый из которых является аварийным и блокирующим, второй – предупредительным, корректирующим защитную токовую характеристику двигателя, представленную на рис. 1 (сокращает выдержку времени на отключение двигателя при превышении допустимых значений потребляемого тока) и предотвращающим пуск двигателя в нагретом состоянии, что может привести к выходу его из строя. К данному классу контролируемых параметров можно отнести и отклонение скорости приводной звездочки от номинального значения и величину тока, потребляемого приводными двигателями. По индицируемым параметрам данных величин можно судить о состоянии привода конвейера, его става и рабочего органа. Общее количество представляемых информационных сигналов (кодов аварий) комплектного устройства составляет 32 шт.



Г – характеристика «горячего» двигателя на высокой и низкой скоростях (при сработавшей температурной защите предупредительного уровня);

Х - характеристика «холодного» двигателя на высокой и низкой скоростях

Рисунок 1 – Амперсекундная характеристика защиты двигателей конвейера

В таблице представлена сравнительная характеристика зарубежных устройств аналогичного назначения с разработанным, анализ которых показывает значительное увеличение доли (весомости) комплектного устройства УКВ-650 не только как системы управления, но и как неотъемлемой части объекта управления, непосредственно участвующей в решении основной задачи конвейера - транспортировании горной массы и его адаптации под конкретные, изменяющиеся условия внешней среды, значительного расширения информационно-диагностических свойств.

В связи с этим появляются новые технические свойства, являющиеся результатом синергетического объединения составных частей (компонент) конвейера, работающие на общий результат, в частности, снижение перегрузок в транспортном тяговом органе и приводах конвейера, повышение надежности эксплуатации конвейера, увеличение его срока службы, сокращение затрат на проведение ремонтно-профилактических работ.

Таблица - Сравнительная таблица станций управления двухскоростными скребковыми конвейерами

№ п/п	Наименование параметра	Aparator (Польша)	SN2 (Чехия)	УКВ-650
1	Номинальное напряжение, В	1140/ 660	1140/ 660	1140/ 660
2	Количество управляемых двухскоростных двигателей, шт	1	3	4
3	Предельная мощность управляемых электродвигателей, кВт	200/65	365/230	360/120
4	Количество защит и блокировок	8	11	15
5	Возможность дистанционного реверсирования	-	-	+
6	Контроль частоты вращения приводной звездочки	-	-	+
7	Контроль предупредительного уровня нагрева электродвигателей	-	-	+
8	Контроль аварийного уровня нагрева электродвигателей	+	+	+
9	Контроль температуры масла в картере редуктора	-	-	+
10	Алгоритм перехода на высокую скорость, адаптирующийся по состоянию конвейера	-	-	+
11	Обеспечение двух времязависимых характеристик токовой защиты от перегрузки	-	-	+
12	Защиту от токов короткого замыкания силовых цепей	+	+	+
13	Объем представляемой информации (сообщения о неисправностях)	12	19	32
14	Текстовое представление информации о произошедших авариях, режимах работы	-	-	+
15	Сохранение информации об аварийных отключениях (при отключении питания)	-	-	+

Построение конвейера как мехатронного модуля состоит в переносе функциональной нагрузки в большей степени на электронную систему управления, выполненную на базе микропроцессорной техники, что позволяет без значительных стоимостных затрат изменять режимы работы машины (путем программирования) с учетом длины конвейера, угла установки, величины грузопотока, количества приводов, с целью уменьшения динамических перегрузок трансмиссии и става конвейера в период разгона, что приведет к увеличению срока службы узлов и механизмов конвейера и уменьшению вероятности возникновения аварийной ситуации.

Критерии перехода конвейера с низкой скорости на высокую и оптимальный алгоритм запуска конвейера были рассмотрены ранее [8].

Рассмотрим функциональную зависимость между системой управления мехатронного модуля, другими компонентами и элементами обратной связи (сенсоры, датчики) в период запуска конвейера.

В качестве информационных сигналов выступают:

- температурные датчики предельного уровня ($t_{1Г}$) и хвостового ($t_{1Х}$) электроприводов;
- температурные датчики предупредительного значения головного ($t_{2Г}$) и хвостового ($t_{2Х}$) электроприводов;
- температурные датчики предельного значения приводных редукторов головного ($t_{рГ}$) и хвостового ($t_{рХ}$) приводов;
- расход охлаждающей жидкости головного ($P_{Г}$) и хвостового ($P_{Х}$) приводов конвейера;
- потребляемый ток головного ($I_{Г}$) и хвостового ($I_{Х}$) приводов;
- угловая скорость вращения привода ($\omega_{Г}$).

Если условно принять, что

$V_{ГН}$ - включение головного привода на низкую скорость,

$V_{ГВ}$ - включение головного привода на высокую скорость,

$V_{ХН}$ - включение хвостового привода на низкую скорость,

$V_{ХВ}$ - включение хвостового привода на высокую скорость,

то функциональная зависимость включения конвейера на низкую скорость будет иметь вид:

$$\left(\begin{array}{l} S_3 = 1 \\ t_{1\Gamma}, t_{1X} = 0 \\ t_{2\Gamma}, t_{2X} = 0 \\ t_{P\Gamma}, t_{PX} = 0 \\ P_{\Gamma}, P_X = 1 \\ T_1 = 0 \end{array} \right) \Rightarrow V_{XH} = 1 \Rightarrow \left(\begin{array}{l} V_{XH} = 1 \\ t_{1\Gamma}, t_{1X} = 0 \\ t_{2\Gamma}, t_{2X} = 0 \\ P_{\Gamma}, P_X = 1 \\ 0 < T_{X-\Gamma} \leq 3 \end{array} \right) \Rightarrow V_{\Gamma-H} = 1$$

Функциональная зависимость перехода конвейера на высокую скорость имеет вид:

$$\left(\begin{array}{l} V_{XH} = 1 \\ V_{\Gamma H} = 1 \\ t_{1\Gamma}, t_{1X} = 0 \\ t_{2\Gamma}, t_{2X} = 0 \\ P_{\Gamma}, P_X = 1 \\ I_{\Gamma}, I_X \leq 1,1 I_{\text{ном}} \\ \omega_{\Gamma} \geq 0,85 \omega_{\text{ном}} \\ T_2 \geq 7c \end{array} \right) \Rightarrow \begin{array}{l} V_{XH} = 0 \\ V_{XB} = 1 \end{array} \Rightarrow \left(\begin{array}{l} V_{\Gamma H} = 1 \\ V_{XB} = 1 \\ t_{1\Gamma}, t_{1X} = 0 \\ t_{2\Gamma}, t_{2X} = 0 \\ t_{P\Gamma}, t_{PX} = 0 \\ P_{\Gamma}, P_X = 1 \\ T_3 \approx 0,1c \end{array} \right) \Rightarrow \begin{array}{l} V_{\Gamma H} = 0 \\ V_{\Gamma B} = 1 \end{array}$$

Структурная схема скребкового конвейера в качестве мехатронного модуля может быть представлена в следующем виде (рис. 2).

Устройство управления УУ, контролируя информационные потоки S1 и S2, поступающие от блоков контроля БК2 головного привода и БК1 хвостового привода, а также команды пуска S3, формирует управляющее напряжение U поступающее на электродвигатели хвостового ЭП_х и головного ЭП_г приводов, которые посредством редукторов Р_х и Р_г создают крутящий момент на приводных звёздах конвейера. На конвейер также оказывает внешнее возмущающее воздействие очистной комбайн посредством изменения объемов V добываемой горной массы, которая контролируется устройством управления через различные датчики изменения режимов работы конвейера.

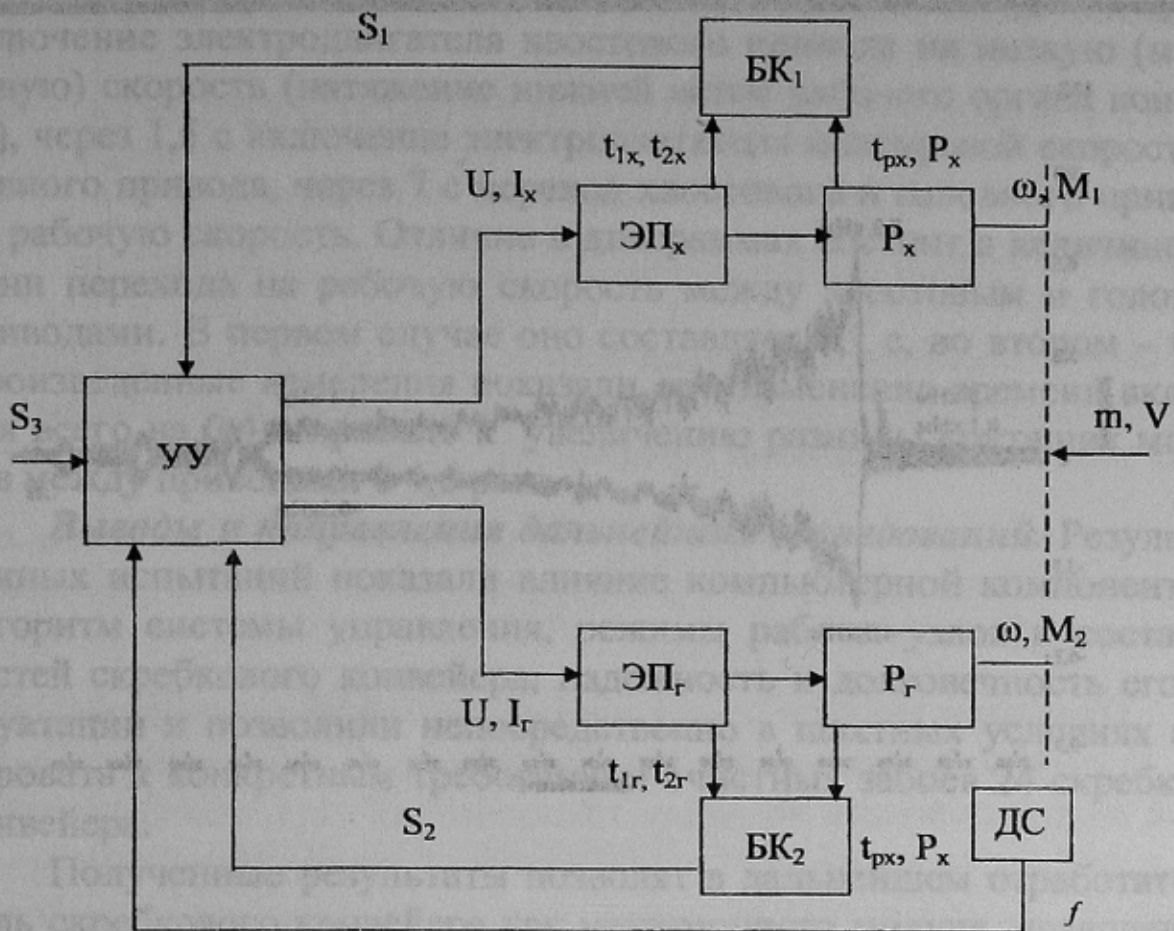


Рисунок 2 - Структурная схема скребкового конвейера в виде мехатронного модуля

С целью определения зависимости режимов работы трансмиссии конвейера от временных критериев алгоритма управления в период пуска в 2005 году институтом «Донгипроуглемаш» были проведены испытания по определению пусковых режимов приводов на базе скребкового конвейера КСД27, выпускаемого ОАО «Донецкгор-маш». Для чего в комбинированные редукторы конвейера были установлены валы с тензодатчиками (тензорезисторами), позволяющими фиксировать величину крутящего момента, возникающего при работе конвейера. Помимо этого, контролировались целый ряд других параметров: потребляемые мощности, токи, скорость вращения и др. На конвейере были установлены двухскоростные асинхронные электродвигатели типа ЭКВФТ 315 L12/4 мощностью 65/200 кВт, управление конвейером осуществлялось комплектным устройством УКВ-650, посредством которого и производилось изменение алгоритма запуска конвейера в части варьирования времени последовательности запуска приводов. На рис. 3 приведены диаграммы крутящих моментов

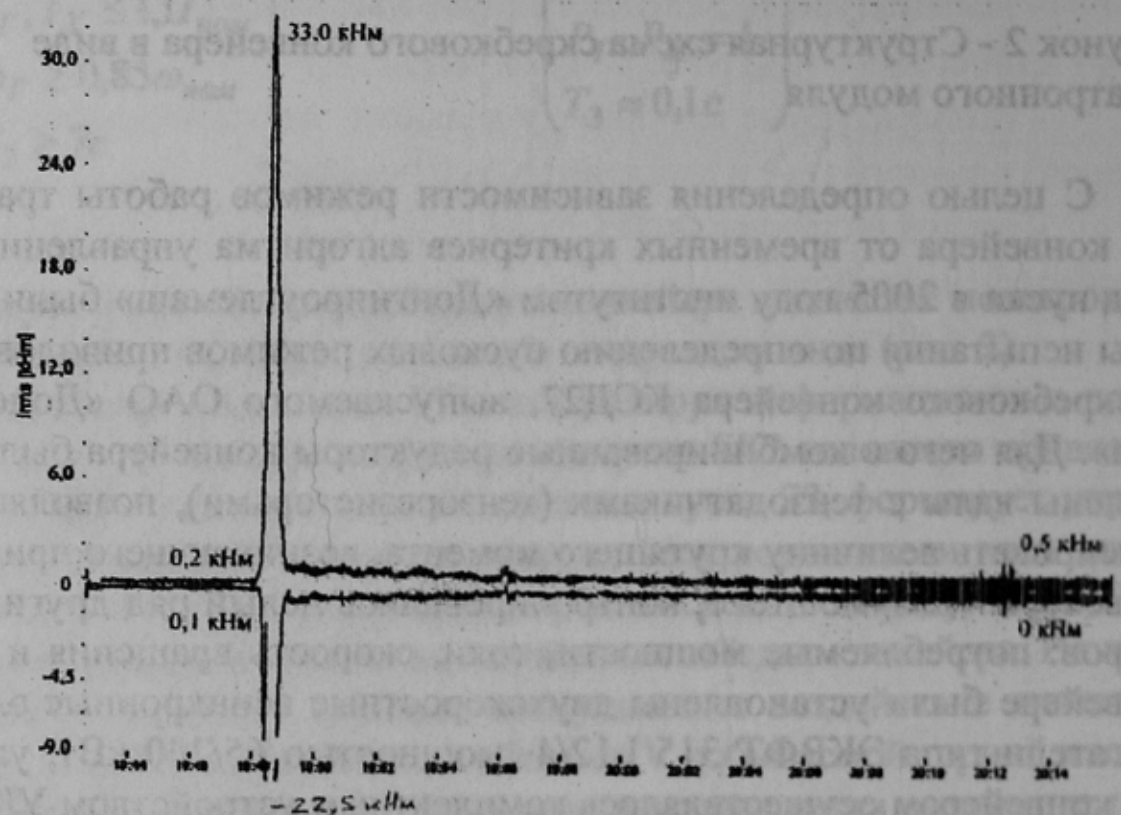
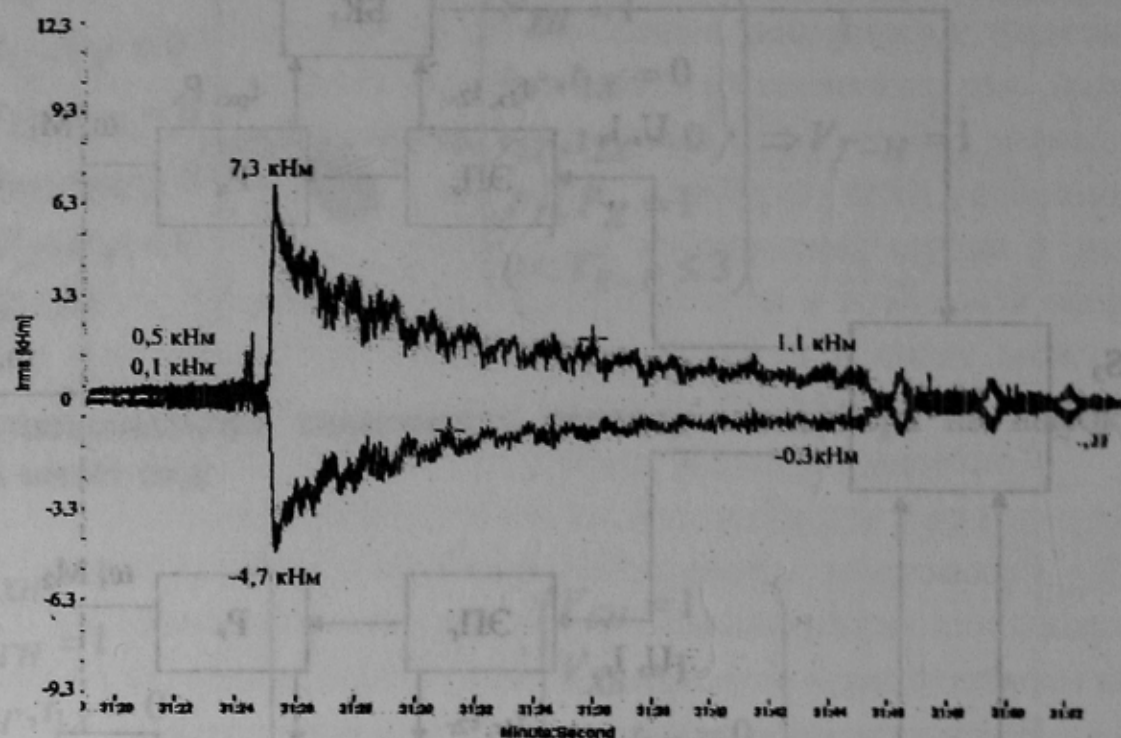


Рисунок 3 – Диаграммы крутящих моментов головного и хвостового приводов конвейера при различных алгоритмах пуска

головного и хвостового приводов при стандартном алгоритме пуска – включение электродвигателя хвостового привода на низкую (маневровую) скорость (натяжение нижней ветви рабочего органа конвейера), через 1,5 с включение электродвигателя маневровой скорости головного привода, через 7 с переход хвостового и головного приводов на рабочую скорость. Отличие в диаграммах состоит в величине времени перехода на рабочую скорость между хвостовым и головным приводами. В первом случае оно составляет 0,1 с, во втором – 0,5 с. Произведенные измерения показали, что изменение времени включения всего на 0,4 с привело к увеличению разницы крутящих моментов между приводами в 4,6 раза.

Выводы и направления дальнейших исследований. Результаты данных испытаний показали влияние компьютерной компоненты на алгоритм системы управления, режимы работы узлов и составных частей скребкового конвейера, надежность и долговечность его эксплуатации и позволили непосредственно в шахтных условиях адаптировать к конкретным требованиям очистных забоев 24 скребковых конвейера.

Полученные результаты позволят в дальнейшем отработать модель скребкового конвейера как мехатронного модуля, позволяющей на стадии проектирования задавать необходимые алгоритмы функционирования с учетом реальных условий эксплуатации – в части длины конвейера, угла наклона, установленной мощности и количества электроприводов, планируемых грузопотоков и т.п.

Список источников.

1. Косарев В.В. Новая техника Донгипроуглемаша – основа интенсификации добычи угля. // Уголь Украины. - 2003. - № 9.
2. Горбатов П.А., Петрушкин Г.В., Лысенко Н.М., Павленко С.В., Косарев В.В. Горные машины для подземной добычи угля. Учебник. – Донецк: Норд Компьютер, 2006.
3. Скребковые конвейеры. Справочник / Под редакцией А.В.Леусенко. - М.: Недра, 1992.
4. Скребковые конвейеры нового технического уровня. Андреев Г.В., Косарев И.В., Лелека И.Т., Довженко В.И. // Уголь Украины. – 2003. - № 9.
5. Аратог. Техническое описание. Взрывобезопасные контакторные пускатели типа OW-1484WR, Польша.
6. Пускатель электромагнитный взрывобезопасный типа SN23-P4.1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
7. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей. Учебник. - М.: «СТАНКИН», 2005. – 368 с.
8. Стадник Н.И., Ткачев В.В., Мезников А.В. Управление двухскоростными скребковыми конвейерами. - Науково-технічний збірник “Гірнична електротехніка та автоматика”. – Випуск № 75. Днепропетровск, 2005.

Дата поступления статьи в редакцию: 27.10.06