

УДК 622.3.002.5

В.Н. Ставицкий (канд. техн. наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк,
кафедра «Горная электротехника и автоматика им.Р.М.Лейбова»
E-mail: dis_stv@ukr.net

ДИНАМИКА НАГРУЗКИ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Представлены результаты анализа факторов, определяющих нагрузку регулируемого по скорости привода ленточного конвейера. Обоснованы соотношения, описывающие динамику процесса.

Ключевые слова: конвейер, нагрузка, транспортная задержка, математическая модель.

Проблема и ее связь с научными задачами

Основным средством доставки грузов на современных горнодобывающих предприятиях является конвейерный транспорт. Ленточные конвейеры (ЛК) эффективно заменяют локомотивную и канатную откатку, что обусловлено такими их преимуществами, как непрерывность, широкие возможности для автоматизации, возможность транспортирования грузов в наклонных выработках, простота наращивания и разветвления линии, относительная безопасность.

Стремление к удешевлению и повышению надежности ЛК обусловило широкое применение в них нерегулируемого привода на основе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД). Однако, как показывает анализ факторов, определяющих режим работы ЛК, нерегулируемый привод не обладает достаточной эффективностью. Причиной тому является, во-первых, переменная интенсивность грузопотока, поступающего на конвейер (участковые конвейеры), а во-вторых, высокая жесткость механической характеристики приводного АД. Колебания интенсивности поступления груза приводят к соответствующему изменению нагрузки на привод, которая может варьироваться в довольно широких пределах [1]. Это влечет за собой такие негативные явления:

- излишний износ ленты вследствие значительного холостого “пробега” при малой интенсивности поступления груза;
- чрезмерная деформация и износ конвейерной ленты вследствие завышения натяжного усилия, которое для исключения проскальзывания должно превышать максимальное тяговое усилие;
- недоиспользование АД по моменту, чрезмерное потреблению энергии и невозможность работы с максимальными значениями КПД и коэффициента мощности вследствие выбора двигателя из расчета на максимальный уровень нагрузки, с одной стороны, и широкого диапазона варьирования реальной нагрузки, с другой.

Указанное подтверждает актуальность исследований, направленных на внедрение регулируемого привода в составе ЛК, с целью обеспечения эффективной работы конвейерного транспорта.

Анализ исследований и публикаций

Вопросам повышения эффективности конвейеров за счет регулирования нагрузки на привод посвящены работы Л.Г.Шахмейстера [2], В.Т.Полунина [3], В.В.Дмитриевой [4], Н.В.Смирновой [5] и других исследователей. Основные задачи, решаемые в ходе проводимых исследований, могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) Применение средств регулирования грузопотока за счет использования накопительных систем (промежуточные бункеры, конвейеры), что обеспечивает адаптацию интенсивности поступления груза к условиям нерегулируемого привода конвейера.

2) Применение средств регулирования скорости в составе привода ЛК, обеспечивающих адаптацию конвейера под условия изменяющегося грузопотока (частотно-регулируемый электропривод, регулируемые муфты, каскадные схемы управления АД с фазным ротором).

3) Обоснование структуры и параметров систем автоматизированного управления конвейерным транспортом. При этом основной решаемой задачей является идентификация структуры и параметров конвейера как объекта регулирования с целью последующего обоснования характеристик регулирующих устройств.

Практика эксплуатации шахтного конвейерного транспорта свидетельствует об отсутствии видимых успехов в реализации полученных научных результатов, несмотря на значительный объем проводимых исследований. Исключение составляют бункерные накопительные системы магистральных конвейерных линий. Для участковых конвейеров использование подобных систем нецелесообразно ввиду значительности капитальных затрат на их реализацию, ограниченного срока эксплуатации, обусловленного сроком отработки лавы, и нестабильности положения из-за перемещения лавы. Регулируемый привод — практически единственная альтернатива в данных условиях — пока не находит широкого применения в связи с отсутствием надежных, недорогих средств частотного регулирования в рудничном исполнении, а также средств автоматизации, позволяющих интегрировать указанные элементы в единую систему.

Обоснование направления исследований

Экономичная и надежная работа конвейера, обусловлена стабильностью его статической нагрузки F . Последняя, в свою очередь, как следует из [1], может быть обеспечена за счет поддержания на заданном уровне соотношения между интенсивностью поступающего грузопотока Q и скоростью ленты v . При отсутствии бункерных накопителей, что характерно для участковых, а также неразветвленных участков магистральных конвейерных линий, грузопоток рассматривается как независимое возмущающее воздействие. Единственным фактором, посредством которого можно влиять на нагрузку привода (стабилизируемая выходная величина), остается скорость (управляющее воздействие). Стабилизация нагрузки достигается одним из следующих способов:

1) Если входной грузопоток может быть измерен (весы в начале конвейера, возле пункта погрузки), целесообразно использовать подход, основанный на управлении по возмущению (рис.1.а), заключающийся в компенсации влияния возмущающего фактора (входного грузопотока) адекватным и мгновенным изменением управляющего воздействия (скорости).

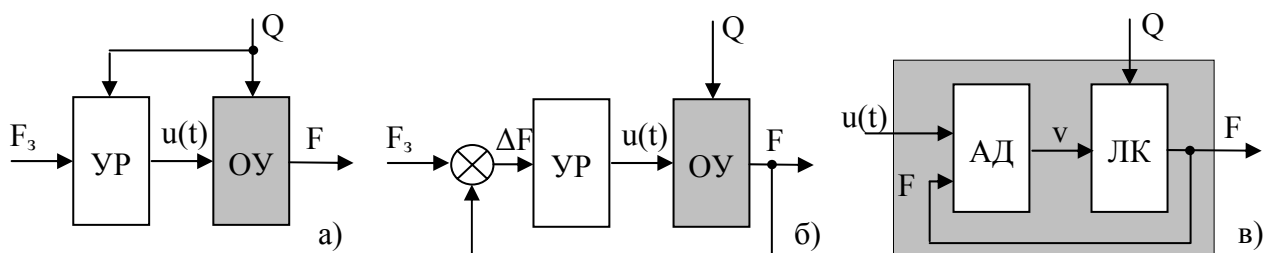


Рисунок 1 — Структурные схемы систем автоматической стабилизации нагрузки привода конвейера при регулировании по возмущению (а) и по отклонению (б), а также укрупненная структурная схема конвейера (УР — устройство регулирования; ОУ — объект управления; ЛК — ленточный конвейер; АД — асинхронный двигатель)

2) В случае, когда невозможно или затруднительно оценить грузопоток (конвейер характеризуется значительной длиной, и груз поступает на него в нескольких точках), контролируемой величиной может быть статическое усилие на валу двигателя (рис.1.б). Реализуемое в этом случае управление по отклонению предполагает устранение рассогласования между заданной и фактической нагрузкой за счет изменения управляющего воздействия (скорости).

Выбор регулирующего устройства, являющегося ключевым элементом любой из указанных схем автоматической стабилизации, основан на знании свойств объекта управления — системы, включающей в себя ленточный конвейер и асинхронный электропривод (рис.1.в). В данном случае наибольший интерес представляет зависимость между статической нагрузкой, входным грузопотоком и скоростью тягового органа. Известная модель, представляющая конвейер в виде динамического звена транспортной задержки [6], не отражает в полной мере всех особенностей ЛК при работе с переменной скоростью.

Цель исследований

Цель проводимых исследований — повышение эффективности ЛК путем стабилизации нагрузки за счет применения регулируемого по скорости привода. Задача, решаемая в данной работе, заключается в *разработке математической модели процесса формирования статической нагрузки электропривода ленточного конвейера в условиях переменной скорости движения тягового органа.*

Методы и результаты исследований

Известно [1], что статическое тяговое усилие, которое необходимо преодолеть приводному электродвигателю, определяется следующим соотношением:

$$F = a \cdot (m + b); \quad (1)$$

где m — суммарная масса груза, находящегося на ленте;

a, b — коэффициенты, учитывающие удельную массу ленты, роликов, сцепление между лентой и барабаном, сопротивление движению ленты, а также углы обхвата лентой приводного и натяжного барабанов.

Таким образом, масса перевозимого груза напрямую определяет величину статической нагрузки привода ЛК. При переменном характере поступающего грузопотока $Q(t)$ и скорости движения ленты $v(t)$ (входные величины) накопленная масса груза $m(t)$ (выходная величина) является также переменной величиной.

При составлении модели тяговый орган конвейера рассматривается как идеально жесткий элемент. Скорость движения фрагментов ленты, а соответственно, и груза, находящегося на ней, одинакова по всей длине.

Груз, находящийся на конвейере, распределяется по всей его длине и характеризуется плотностью q — количеством материала на единицу длины ленты. Плотность, в свою очередь, определяется соотношением между интенсивностью поступающего на конвейер грузопотока Q и скоростью движения ленты v . Для конвейера длиной L в момент времени t на начальном участке материал образует слой плотностью $q^+(t)$:

$$q^+(t) = \frac{Q(t)}{v(t)}. \quad (2)$$

В этот же момент времени в концевой части с конвейера сыпается материал, плотность которого составляет $q^-(t)$. Величина плотности груза на данном участке определяется интенсивностью грузопотока и скоростью движения ленты в момент времени $(t-T)$, соответствующий поступлению материала на конвейер. Транспортная задержка T , представляющая собой интервал времени, необходимый для перемещения фрагмента груза от начала до конца конвейера, является величиной переменной и зависит от характера изменения скорости ленты на протяжении пути L . Таким образом, плотность сыпавшегося материала составляет:

$$q^-(t) = \frac{Q[t-T(t)]}{v[t-T(t)]}. \quad (3)$$

Динамика накопления груза на ленте определяется, с одной стороны, количеством поступающего на нее материала (его плотность в момент времени t составляет $q^+(t)$), а с другой стороны, одновременным сходом с ленты некоторой порции материала плотностью $q^-(t)$.

Двигаясь со скоростью $v(t)$ в течении малого интервала времени dt , лента проходит путь dx . При этом на конвейер поступит порция материала массой dm^+ (рис.2):

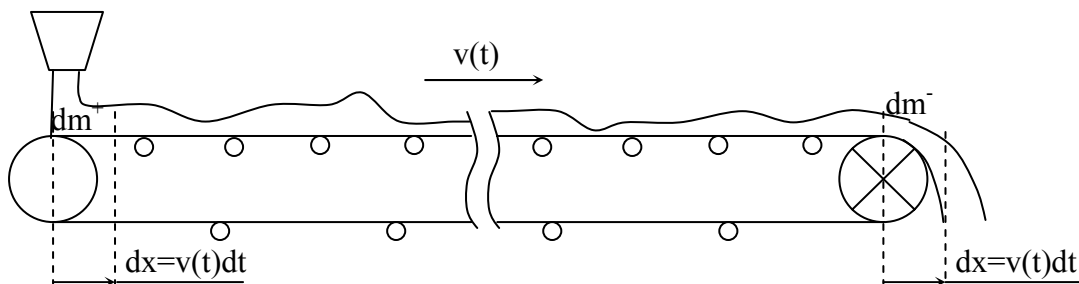


Рисунок 2 — К выводу уравнения динамики изменения массы груза, перемещаемого ленточным конвейером

$$dm^+ = q^+(t) \cdot dx = \frac{Q(t)}{v(t)} \cdot v(t) \cdot dt = Q(t) \cdot dt. \quad (4)$$

Одновременно с конвейера сойдет порция материала массой dm^- (рис.2):

$$dm^- = q^-(t) \cdot dx = \frac{Q[t - T(t)]}{v[t - T(t)]} \cdot v(t) \cdot dt. \quad (5)$$

Общее изменение массы груза dm на протяжении интервала dt составит:

$$dm = dm^+ - dm^- = \left(Q(t) - Q[t - T(t)] \cdot \frac{v(t)}{v[t - T(t)]} \right) \cdot dt. \quad (6)$$

Чтобы определить суммарную массу груза на ленте, необходимо проинтегрировать соотношение (6) в течение заданного интервала времени от t_n до t_k с учетом начальных условий $m(0)$:

$$m = m(0) + \int_{t_n}^{t_k} \left(Q(t) - Q[t - T(t)] \cdot \frac{v(t)}{v[t - T(t)]} \right) \cdot dt, \quad (7)$$

или

$$\frac{dm}{dt} = Q(t) - Q[t - T(t)] \cdot \frac{v(t)}{v[t - T(t)]}. \quad (8)$$

При переменной скорости конвейера величина транспортной задержки может быть определена численным методом. Вариант решения данной задачи представлен в работе [7].

Полученное дифференциальное уравнение (8) совместно с уравнением связи (1) представляют собой математическую модель ЛК как элемента системы автоматического регулирования статической нагрузки привода (рис.1.в).

На рис.3 представлены результаты моделирования работы ЛК длиной 200м, оснащенного регулируемым электроприводом. Изменения возмущающего воздействия — грузопотока — компенсируются эквивалентным изменением скорости, реализуя режим управления по возмущению. Модель выполнена с использованием программы MathCAD.

Выводы и направления дальнейших исследований

1) На основе анализа факторов, определяющих массу груза, находящегося на ленте, разработана математическая модель динамики изменения статической нагрузки при переменном характере поступающего грузопотока и скорости движения конвейера.

2) Разработанная модель может быть использована при оценке динамических свойств ЛК с целью обоснования параметров и структуры устройства регулирования, обеспечивающего автоматическую стабилизацию нагрузки привода.

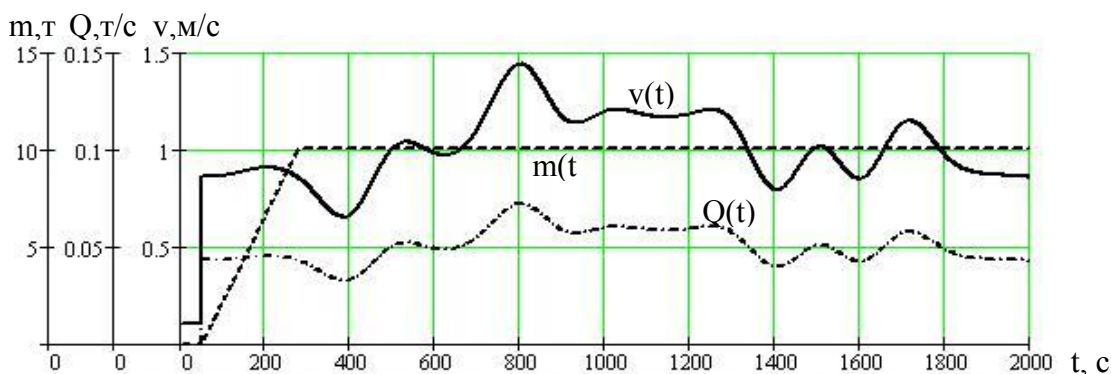


Рисунок 3 — Результаты моделирования статической нагрузки конвейера с регулируемым приводом

Список использованной литературы

1. Малиновский А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: учебник для вузов / А.К. Малиновский. — М.: Недра, 1987. — 277 с.
2. Шахмейстер Л.Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев, А.К. Лобочева. — М.: Машиностроение, 1972. — 160 с.
3. Полунин В.Т. Эффективность регулирования скорости шахтных конвейеров / В.Т.Полунин // Научные труды МГИ. — 1968. — № 53. — С. 87 – 95.
4. Дмитриева В.В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Валерия Валерьевна Дмитриева. — М., 2005. — 162 с.
5. Смирнова Н.В. Динамічні характеристики стрічкового конвеєра та методи їх оцінки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.06 / Н.В.Смирнова. — Дніпропетровськ, 2000. — 17 с.
6. Лукас В.А. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.А. Лукас. — М.: Недра, 1990. — 416 с.
7. Ставицкий В.Н. Алгоритм идентификации транспортной задержки конвейера / В.Н. Ставицкий // Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. — Донецк: ДонНТУ. — 2011. — Вып. 37. — С. 59–66.

Надійшла до редакції
16.01.2012р.

Рецензент:
канд.техн.наук, доц. Маренич К.Н.

V.N. Stavitskiy. The Dynamics of Belt Conveyor Variable Drive Load. Results of the analysis of factors determining load of belt conveyor variable speed drive are presented. Equations describing dynamics of the process are proved.

Keywords: conveyor, load, transport delay, mathematical model.

В.М. Ставицкий. Динаміка навантаження регульованого привода стрічкового конвеєра. Представлені результати аналізу факторів, які визначають навантаження регульованого за швидкістю привода стрічкового конвеєра. Обґрунтовані співвідношення, які описують динаміку процесу. Ключові слова: конвеєр, навантаження, транспортна затримка, математична модель.

© Ставицкий В.Н., 2012