

УДК 658.28.2: 621.867

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕПНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Голубева С.М., Морнева М.О.

ANALYSIS OF INDICATORS FOR EVALUATION OF THE CONTROL SYSTEM FOR THE ACTUATORS OF INDUSTRIAL CHAIN CONVEYERS

Golubieva S.M., Morneva M.O.

Приведены показатели и аналитические соотношения, характеризующие систему управления приводов при пуске промышленных цепных конвейеров, на основании которых предложен принцип построения станции управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором главного привода промышленного цепного конвейера.

Ключевые слова: конвейерная система, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, цепной конвейер, регулирование скорости, пуск конвейера.

Введение. Подвесные грузонесущие конвейеры широко применяются в различных отраслях промышленности для механизации и автоматизации грузопотоков с применением автоматизированных погрузочно-разгрузочных устройств.

Основным требованием, определяющим выбор электрического привода конвейерных установок, является обеспечение приемлемых условий пуска и разгона тягового органа конвейера. Если пусковое усилие, приложенное к цепи цепного конвейера, нарастает очень быстро, то это вызовет рывок начального отрезка цепи, что будет сопровождаться значительными динамическими перегрузками в звеньях цепи. Перегрузки приведут к повышенному износу цепи или даже к ее обрыву [1]. Поэтому конструкция пускового устройства промышленного цепного конвейера (ЦПК) должна обеспечивать оптимальный плавный пуск.

Постановка проблемы. К настоящему времени рассмотрены показатели для оценки пусковых свойств приводов ленточных конвейеров [1,2,3]. Однако показатели промышленных цепных конвейеров систематизированы в недостаточной степени.

Применительно к ленточному конвейеру оптимальным считают пуск минимальной длительности при ограниченных коэффициентах динамического усилия ленты и трансмиссии, или наоборот, пуск с минимальными коэффициентами

динамичности при ограниченной длительности пуска [2], что остается актуальным и для ЦПК.

Для разработки показателей, характеризующих пусковые свойства систем управления приводов ЦПК, необходимо с учетом технологии решить следующие задачи:

1. Обеспечение заданного диапазона регулирования скорости $D \geq 5$ и изменения параметров технологического процесса.
2. Плавное трогание электропривода конвейера с ограничением ускорения.
3. Выбор кинематического зазора на низкой скорости $\omega_n = 0,2\omega_n$ [4].
4. Снижение динамического усилия на валу двигателя и приводной звездочке.
5. Повышение точности стабилизации скорости конвейеров в линии.

Цель статьи. В настоящей работе поставлена цель формирования системы показателей, характеризующих систему управления приводов при пуске промышленных цепных конвейеров.

Результаты исследований.

1. Определяющим показателем с учетом технологии является диаграмма пуска конвейера и функция регулирования скорости.

Диаграмма пуска конвейера состоит из четырех периодов:

– $t_0 \div t_1$ – время работы предварительной сигнализации. Выполнение данной функции необходимо обеспечить согласно требованиям техники безопасности;

– $t_1 \div t_2$ – плавное трогание двигателя и звездочки с места. При пуске цепных конвейеров средней и большой протяженности следует учитывать скорость распространения упругих колебаний вдоль тягового элемента [5]. Поэтому для того, чтобы ослабить упругий удар и ограничить начальное ускорение, в таких конвейерах целесообразно использовать плавное трогание на

пониженной скорости. Учитывая скорость распространения упругих колебаний, выбор $t_1 \div t_2$ в пределах 0,5-2с позволяет существенным образом ослабить упругий удар;

– $t_2 \div t_3$ – вытяжка конвейера на низкой ползучей скорости. Этот период обусловлен необходимостью выбора слабины органа и люфтов (зазоров) в редукторе и кинематической цепи с целью уменьшения динамических ударов в механической части конвейера. Длительность работы на низкой ползучей скорости зависит от длины конвейера и величин провисаний, её следует выбрать в пределах 4с;

– $t_3 \div t_4$ – разгон конвейера до номинальной скорости. С целью уменьшения износа механической части конвейера в этот период необходимо ограничить момент на валу двигателя, а следовательно, и величину ускорения.

Зная приведенный к валу двигателя момент инерции системы, можно определить время трогания и разгона привода конвейера, используя уравнения движения привода [3]

Следует подчеркнуть, что величина ползучей скорости и её продолжительность, а также величина ускорения в период разгона, существенным образом определяют срок службы конвейера: с уменьшением величины ползучей скорости и ускорения срок службы увеличивается за счет уменьшения перегрузок в механической части конвейера, но при этом снижается производительность и ухудшается тепловой режим двигателя. Поэтому при выборе конкретных значений необходимо принимать компромиссное решение, учитывающее режим работы двигателя. Величину ползучей скорости следует брать в пределах 15-25% от номинальной, а общее время пуска конвейера – в пределах 4–20с [4].

Длительность процесса трогания, вытяжки и разгона конвейера задаются программным устройством системы управления. Данное устройство изменяет задающее напряжение в соответствии с функцией, которую можно описать методом переключающих функций [4]:

$$f(\omega) = \frac{\omega_1}{t_2 - t_1} T_1^* + \omega_1 T_2^* + \frac{\omega_n - \omega_1}{t_4 - t_3} T_3^* + \omega_n T_4^*, \quad (1)$$

где T_i^* – переключающая функция, $T_i^* = 1, i = 1 - 4$.

2. Коэффициент динамического усилия κ_D .

Величина коэффициента динамического усилия определяет плавность трогания конвейера, срок службы цепи, шпонок, пальцев, особенно при пульсирующем режиме работы конвейера. Разработка нормативов по его выбору требует отдельных глубоких исследований. Однако ввиду того, что система будет настроена на оптимальный переходной процесс, то величину κ_D следует брать 1,2-1,4 [6]:

$$\kappa_D = \frac{F_{\max}}{F_c}, \quad (2)$$

где F_{\max} – максимальное усилие на звездочке; F_c – статическое усилие на звездочке.

3. Диапазон регулирования скорости D двигателя.

Характеризует пределы изменения средних значений переменной скорости (либо её значений, соответствующих конкретному уровню возмущающих воздействий), возможные при данном способе регулирования. Пределы регулирования переменной ограничиваются сверху максимально допустимыми или максимально реализуемыми значениями переменной, а снизу требуемой точностью или минимально реализуемыми значениями переменной при данном способе регулирования. Диапазон регулирования скорости определяется требованиями технологического процесса, условиями нагрева двигателя при минимальной скорости [7]:

$$D \geq \frac{\Delta\omega\beta\omega_n}{M_n\omega_{\min}}, \quad (3)$$

где β – жесткость механической характеристики, $\Delta\omega = (\omega_{\max} - \omega_{\min})/2$ – абсолютная ошибка регулирования.

4. Время пуска конвейера.

Определяется наличием резонансных колебаний на повышенной частоте. Если период низкочастотных колебаний $T_2 = \frac{1}{2\pi\Omega_{p2}}$

превосходит время разгона привода до рабочей скорости, то на процессе пуска будут сказываться в основном только высокочастотные колебания [8]:

$$\Omega_{p1} \approx \sqrt{\frac{2\Omega_n^2 + \Omega_p^2 + \Omega_o^2}{2}}, \quad (4)$$

где $\Omega_n, \Omega_p, \Omega_o$ – собственные частоты свободных колебаний элементов системы

5. Жесткость механической характеристики привода конвейера β .

Цепным грузонесущим конвейерам часто требуется стабилизировать производительность, поэтому при разработке системы управления должны быть предусмотрены меры по увеличению жесткости механических характеристик. Жесткость механической характеристики определяет статизм двигателя в системе, погрешность скоростей в линии [6]:

$$\beta \geq \frac{2M_\kappa}{\omega_0 S_\kappa}, \quad (5)$$

где M_k и S_k - соответственно критический момент и скольжение.

6. Коэффициент несимметрии фазных напряжений.

Несимметрия фазных напряжений приводит к уменьшению полезной мощности двигателя и снижению момента двигателя. Преобразователь частоты имеет на выходе несимметрию напряжения, которая не должна превышать значения 2%.

7. Температура перегрева статора двигателя при минимальной скорости.

Расчет нагрева обмоток двигателя должен производиться с учетом того, что при изменении частоты вращения двигателя непрерывно изменяется теплоотдача A и, следовательно, постоянная времени нагрева T . Диапазон регулирования скорости определяет его температурный режим при минимальной скорости. Поэтому диапазон регулирования ограничивается нагревом [9]:

$$t_n = t_{доп} - t_{о.с.}, \quad (6)$$

где $t_{доп}$ - допустимая температура нагрева (в зависимости от класса изоляции), $t_{о.с.}$ - температура окружающей среды.

8. Точность регулирования скорости.

Определяется возможными отклонениями её от заданного значения под действием возмущающих факторов [6], например, изменения нагрузки при регулировании скорости, изменений скорости при регулировании момента двигателя, колебаний напряжения сети и т.п. Самая низкая точность регулирования будет при минимальной частоте. При установке тахогенератора точность возрастает.

9. Плавность регулирования.

Характеризует число дискретных значений регулируемого параметра, реализуемых при данном способе в диапазоне регулирования. Для повышения плавности регулирования целесообразно применить цифровое задающее устройство с 12-тиразрядной системой счисления. Тогда можно будет получить $2^{12} = 4096$ значений скорости.

Показатели для оценки системы управления ЦПК сведены в табл. 1.

Выводы. Наиболее важными показателями с точки зрения электромеханических процессов в приводе при пуске и регулировании скорости промышленных цепных конвейеров являются: диапазон регулирования скорости, функция регулирования скорости, величина коэффициента динамического усилия привода при пуске.

На определение диапазона регулирования скорости решающее влияние оказывают потери в двигателе при минимальной скорости в условиях пониженной теплоотдачи двигателя. Анализ теплового режима двигателя и является предметом дальнейших исследований.

Таблица 1
Показатели оценки системы управления
приводом ЦПК

	Показатель	№ расчетной формулы	Значение
1	Коэффициент динамического усилия на приводной звездочке	1	1,2-1,4
2	Диапазон регулирования скорости	2	≥ 5
3	Функция регулирования скорости	3	
4	Время пуска электропривода	4	4÷20
5	Жесткость механической характеристики двигателя	5	$\rightarrow \infty$
6	Коэффициент несимметрии фазных напряжений преобразователя		0,02
7	Температура перегрева статора двигателя при минимальной скорости	6	90°C
8	Точность регулирования скорости при минимальном значении		0,2
9	Плавность регулирования при цифровом задающем устройстве		0,037

Л и т е р а т у р а

1. Соловьев А.С., Соловьев В.С. Автоматизированный электропривод конвейеров / А.С. Соловьев, В.С. Соловьев. - Л: Изд. ЛГИ, 1977. - 65с.
2. Пуха А.И., Лысенко Н.И., Тесля А.И., Дубовик Н.В. Показатели для оценки пусковых свойств приводов ленточных конвейеров / А.И. Пуха, Н.И. Лысенко, А.И. Тесля, Н.В. Дубовик // Конструирование и производство транспортных машин, Харьков. - 1984. - №16. - с. 74-78.
3. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. - М.: Энергия, 1980. - 360с.
4. Бенхаддади Мохаммед. Разработка и исследование тиристорной станции управления цепным грузонесущим конвейером: Дис... канд. техн. наук: 05.09.03. - В., 1985. - 162с.
5. Спиваковский А.О., Дмитриева В.Г. Теория ленточных конвейеров / А.О. Спиваковский, В.Г. Дмитриева. - М.: Наука, 1982. - 192с.
6. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. - М.: Энергия, 1979. - 616с.
7. Ключев В.И. Теория электропривода / В.И. Ключев. - М.: Энергоатомиздат, 1985 - 560с.
8. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. - М.: Энергия, 1980. - 360с.
9. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник//А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М.: Энергоиздат, 1982. - 504с.

References

1. Solov'ev AS, Solov'ev VS Automated electric drive of conveyors / AS Soloviev, VS Soloviev - L: Izd. LGI, 1977. – 65p.
2. Pukha AI, Lysenko N.I., Teslya A.I., Dubovik N.V. Indicators for estimating the starting properties of belt conveyor drives / A.I. Pooh, NI Lysenko, AI Tesla N.V. Dubovik // Construction and production of transport vehicles, Kharkiv. - 1984 - №16. - pp. 74-78.
3. Klyuchev VI, Terekhov VM Electric drive and automation of general industrial mechanisms / VI Klyuchev, VM Terekhov - Moscow: Energy, 1980. – 360p.
4. Benhaddadi Mohammed. Development and research of a thyristor control station with a chain loader-conveyor: Dis ... Candidate. tech Sciences: 05.09.03. - V., 1985. – 162p.
5. Spivakovskiy AO, Dmitrieva VG Theory of tape conveyors / A.O. Spivakovskiy, VG Dmitrieva - Moscow: Nauka, 1982. – 192p.
6. Chilikin MG, Klyuchev VI, Sandler AS Theory of the automated electric drive / M.G. Chilikin, VI Klyuchev, AS Sandler - Moscow: Energy, 1979. – 616p.
7. Klyuchev VI The theory of electric drive / VI Key - Moscow: Energoatomizdat, 1985 – 560p.
8. Klyuchev VI, Terekhov VM Electric drive and automation of general industrial mechanisms / VI Klyuchev, VM Terekhov - Moscow: Energy, 1980. – 360p.
9. Asynchronous motors of series 4A: Directory / / A.E. Kravchik, MM Shlaf, VI Afonin, E.A. Sobolenskaya - Moscow: Energoizdat, 1982. – 504p.

Голубєва С.М., Морнева М.О. Аналіз показників для оцінки системи управління приводів промислових ланцюгових конвеєрів.

Приведено показники і аналітичні співвідношення, що характеризують систему управління приводів при пуску промислових ланцюгових конвеєрів, на підставі яких запропонований принцип побудови станції управління пуском асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором головного приводу промислового ланцюгового конвеєра.

Ключові слова: конвеєрна система, асинхронний двигун із короткозамкненим ротором, ланцюговий конвеєр, регулювання швидкості, пуск конвеєра.

Golubieva S.M, Morneva M.O. Analysis of indicators for the evaluation of the system of controlling the drives of industrial chain conveyers.

The indexes and analytical relations characterizing the drive control system for the production of industrial chain conveyers are presented, on the basis of which the principle of construction of the control station of the pulse of the asynchronous motor with a short-circuited rotor of the main drive of the industrial chain conveyer is proposed.

Keywords: conveyer system, asynchronous motor with short-circuited rotor, chain conveyer, speed control, conveyer start.

Голубєва С.М. - старший викладач кафедри електричної інженерії ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: glbvnu@gmail.com

Морнева М.О. - доцент кафедри електричної інженерії ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: morneva@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 17.05.2018