

Канд. техн. наук Т.И. Жигула,
канд. техн. наук Л.П. Ладутина,
канд. техн. наук В.Ю. Максютенко
(ИГТМ НАН Украины)

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Розглянуті питання застосування частотно керованого асинхронного приводу для стрічкових конвейерів великої продуктивності. Розроблені рекомендації по регулюванню технологічної швидкості конвейера, що забезпечує постійне навантаження на стрічку.

TO QUESTION OF AUTOMATIC OPERATION BY TECHNOLOGICAL SPEED OF BELT CONVEYER

The questions of application of the frequency guided asynchronous drive for the belt conveyers of large productivity are considered. Recommendations on adjusting of technological speed of conveyer, providing the quiescent load on a belt, are developed.

Характерной тенденцией современного развития ленточных конвейеров является увеличение их производительности, длины и мощности привода, при этом вопросы автоматизации управления приводом приобретают особую актуальность.

Значительная часть находящихся в эксплуатации конвейеров большой производительности оборудована нерегулируемым электроприводом с двигателями переменного тока. Преимущественное распространение получили двух- и трехдвигательные системы привода с асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями переменного тока.

Эксплуатация мощных высокопроизводительных конвейеров большой длины предъявляет к электроприводу особые требования.

При выборе схемы привода следует отдавать предпочтение тем решениям, которые позволяют, применяя модели оптимального управления, осуществлять пуск, перераспределение нагрузки между барабанами, а также технологическое регулирование скорости двигателей. Если перераспределение нагрузок требует изменения скорости в пределах нескольких процентов, то пуск и технологическое регулирование скорости предполагает ее значительное изменение. В то же время запуск тяжелых конвейеров осуществляется сравнительно редко, а технологическое регулирование скорости должно производиться постоянно на протяжении всего времени работы конвейера, что обусловлено целесообразностью поддержания постоянной весовой нагрузки на 1 м ленты. При этом с уменьшением фактической производительности рабочая скорость снижается, снижается также оборачиваемость ленты, ее износ, износ механического оборудования, уменьшается расход электроэнергии.

Разработка основ оптимального автоматического управления технологической скоростью ленточных конвейеров является актуальной научно-практической задачей и входит составной частью в тематику по исследованию компьютерного управления режимами работы средств непрерывного транспорта, которая в

настоящее время выполняется отделом физико-механических основ горного транспорта ИГТМ НАНУ.

Задача регулирования скорости ленты с целью использования ее аккумулярующей способности за счет стабилизации погонной нагрузки на уровне номинального значения как одна из задач оптимального автоматического управления конвейером была сформулирована достаточно давно. В статье Л.Г. Шахмейстера и др. [1] изложен принцип построения системы регулирования скорости конвейера по грузопотоку, основанный на его случайном характере, получены статистические критерии оптимизации системы регулирования.

Этой задаче посвящены и современные исследования. В статье В.В. Дмитриевой [2] разработана цифровая модель динамических процессов в конвейерной ленте при разгоне и установившемся движении, в которой использована расчетная схема ленточного конвейера в виде четырехмассовой системы. В результате компьютерного моделирования определены скорости и натяжения в характерных точках ленты. Статья А.А. Реутова [3] посвящена моделированию стационарных режимов работы многоприводных ленточных конвейеров с асинхронными электродвигателями. Разработанная математическая модель учитывает электромеханические характеристики двигателей, тяговые возможности приводных барабанов, допустимое и реальное натяжения ленты на участках конвейера и дает возможность рассчитать распределение тяговых усилий между приводами и вычислить реальные мощности, реализуемые двигателями. Эти математические модели в дальнейшем могут быть использованы при исследовании процессов управления стационарными процессами ленточных конвейеров.

Таким образом, хотя задача оптимального регулирования скорости конвейера формулировалась и исследовалась на протяжении последних 30 лет, она все еще остается до конца не решенной. Рассмотрены не все возможные варианты оптимизации, не разработан четкий алгоритм оптимального автоматического управления, учитывающий конструктивные особенности конкретного конвейера и схемы его электропривода.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма оптимального автоматического управления технологической скоростью ленточного конвейера с частотно регулируемым асинхронным электроприводом, который наиболее отвечает условиям регулирования скорости при широком диапазоне изменения нагрузки. Питание асинхронных двигателей осуществляется при этом не от общей сети, а от преобразователя частоты, энергия к которому подводится от сети постоянной частоты f_{1c} и напряжения U_{1c} . На выходе преобразователя, как правило, меняется не только частота f_1 , но и напряжение U_1 .

Возможность изменения скорости ω_0 асинхронного двигателя при регулировании частоты f_1 следует непосредственно из выражения

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p},$$

где p – число пар полюсов двигателя, из которого видно, что синхронная скорость асинхронного двигателя прямо пропорциональна частоте напряжения статора.

Изменение частоты источника питания позволяет регулировать скорость асинхронного двигателя как выше, так и ниже основной. Обычно при регулировании выше основной скорости частота источника питания превышает номинальную не более, чем в 1,5-2 раза. Указанное ограничение обусловлено увеличением потерь с ростом частоты. Регулирование скорости вниз от основной осуществляется в диапазоне 10-15 [4].

Уравнение динамики привода конвейера имеет вид

$$J\dot{\omega}(t) = M(t) - RW_0(t), \quad (1)$$

где J – суммарный момент инерции привода; $\omega(t)$ – угловая скорость барабана; $M(t)$ – вращающий момент; R – радиус барабана; $W_0(t)$ – общее тяговое усилие.

Передаваемая на механическое звено мощность

$$P = M\omega. \quad (2)$$

В нашей статье [5] рассматривалась задача оптимального управления скоростью конвейера, обеспечивающего минимальный расход электроэнергии, при этом с изменением нагрузки на ленту изменялись скорость и момент, создаваемый двигателем.

Изменим постановку задачи.

При установившемся движении конвейера ($\dot{\omega}(t) = 0$) скорость будем регулировать так, чтобы погонная нагрузка на ленту оставалась постоянной

$$q = \text{const},$$

тогда общее тяговое усилие и статический момент постоянны:

$$W_0 = \text{const}; \quad M_c = \text{const}.$$

В соответствии с формулой (2) при постоянном моменте с уменьшением скорости потребляемая мощность также уменьшается.

Регулирование целесообразно осуществлять вниз от максимальной скорости ω_{\max} , тогда максимальной будет мощность двигателя, соответствующая этой скорости

$$P_{\max} = M_c\omega_{\max}.$$

Основной закон изменения напряжения при частотном регулировании и постоянном моменте [4]

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const}, \quad (3)$$

т.е. при постоянстве момента статической нагрузки напряжение источника питания должно изменяться пропорционально его частоте.

Регулирование скорости асинхронных двигателей путем изменения напряжения и частоты на его зажимах является наиболее перспективным способом регулирования этого двигателя. Этот способ позволяет получить жесткие механические характеристики. Потери мощности при частотном управлении невелики. Это следует из выражения

$$\Delta P_s = M\omega_0 s,$$

с учетом того, что двигатель при изменении частоты работает на линейных участках механических характеристик, т.е. при малых скольжениях s . При наличии соответствующего преобразователя частоты можно получить любую плавность регулирования. Все указанные свойства можно реализовать с асинхронным короткозамкнутым двигателем, который является наиболее простым, надежным и дешевым. Такой электропривод уже давно рекомендовали для конвейеров всех типов [6], но его применение сдерживало отсутствие серийно выпускаемых преобразователей частоты и их дороговизна. В настоящее время эти проблемы вполне разрешимы.

Автоматическое регулирование скорости конвейеров может быть осуществлено по принципу обычных систем стабилизации, предназначенных для поддержания на заданном уровне регулируемого параметра, либо по принципу следящих систем.

Рассмотрим работу систем автоматического управления скоростью конвейеров, построенных на этих принципах.

Главная задача регулирования скорости состоит в поддержании фактической погонной нагрузки конвейера на уровне, близком к расчетному. Регулируемым параметром является фактическая погонная нагрузка q_ϕ .

Фактическая погонная нагрузка q_ϕ , грузопоток u и скорость конвейера V связаны соотношением

$$V = \varepsilon \frac{u}{q_\phi},$$

где ε – масштабный коэффициент.

Пусть в некоторый момент времени погонная нагрузка на конвейере соответствовала расчетной q_p , при этом возмущающее воздействие было равно u , а скорость конвейера – V . В момент времени t_1 произошло увеличение грузопотока на величину Δu .

Новое возмущающее воздействие

$$u_1 = u + \Delta u.$$

Измерение возмущающего воздействия производится на регулируемом конвейере, например, путем взвешивания груза, находящегося на полотне конвейера. Сигнал с датчика веса поступает в блок сравнения, где происходит его сравнение с заданным сигналом, соответствующим расчетной погонной нагрузке. Ошибка (рассогласование сигналов) поступает на регулирующий орган – преобразователь частоты, соответственно изменяя частоту и напряжение источника питания по закону (3) до тех пор, пока скорость не увеличится до величины

$$V_1 = \varepsilon \frac{u_1}{q_p}.$$

Увеличение скорости приведет к уменьшению погонной нагрузки до величины q_p .

Рассмотренная схема регулирования скорости работает по принципу систем стабилизации. Роль обратной связи в ней выполняет конвейер. Реакция конвейера на изменение возмущающего воздействия происходит не мгновенно, а с некоторым запаздыванием, что обусловлено инертностью как самого конвейера, так и элементов схемы автоматического управления. Это является существенным недостатком данной схемы.

Более совершенными являются схемы, в которых измерение возмущающего воздействия производится вне регулируемого конвейера.

Измерение грузопотока (взвешивание) можно производить на предыдущем конвейере в том случае, если имеется транспортная линия, состоящая из нескольких последовательно установленных конвейеров, либо для этой цели могут быть использованы короткие перегружатели и питатели, установленные в местах погрузки материалов на магистральном конвейере.

Таким образом, можно создать следящую систему, которая следит за изменением погонной нагрузки на взвешивающем конвейере и, в соответствии с этим, производит регулирование скорости магистрального конвейера.

Все вышеизложенное относится к управлению скоростью одного конвейера с загрузкой в одном пункте. На практике чаще приходится иметь дело с конвейерными линиями, загрузка которых производится в 2-4 пунктах, при этом пункты погрузки рассредоточены вдоль конвейерных линий. Загрузка производится либо из бункеров, снабженных питателями, либо непосредственно с участков ленточных конвейеров. Управление конвейерами в линии принципиально ничем не отличается от управления отдельными конвейерами, т.е. схемы автоматического управления могут быть выполнены и по принципу стабилизирующих, и по принципу следящих систем. В каждом конкретном случае выбор принципа автоматического управления необходимо производить с учетом ха-

рактера изменения грузопотоков и схемы доставки грузов. Для разветвленных конвейерных линий с незначительным коэффициентом резерва по погонной нагрузке наиболее приемлем принцип следящих систем. В случае, когда конвейерная линия неразветвленная, имеет достаточный коэффициент резерва по погонной нагрузке и грузопоток изменяется плавно, более эффективной может оказаться система стабилизации.

Все вышеизложенное относится к одноприводным конвейерам. Высокопроизводительные конвейеры имеют по два и более приводных барабана. В связи с этим возникает задача рационального распределения суммарного тягового усилия и общей мощности на приводных барабанах, взаимодействующих через ленту. В монографии [7] приведены методики расчета основных параметров приводов многоприводных конвейеров. Отмечается, что в процессе работы нерегулируемых приводов нагрузка на конвейер может колебаться в широком диапазоне, что ведет к необходимости изменения соотношений между тяговыми усилиями и мощностями двигателей, а это возможно только при регулируемом электроприводе. Если многоприводной конвейер оборудован регулирующими электроприводами, то синхронное изменение скорости всех приводов позволит поддерживать постоянной нагрузку на конвейере и сохранить постоянными первоначально выбранные соотношения между тяговыми способностями приводов.

На основании вышеизложенного для мощных ленточных конвейеров большой производительности предложено:

1) использовать асинхронные короткозамкнутые двигатели с преобразователями частоты;

2) максимальную суммарную мощность двигателей рассчитывать по статическому моменту и скорости, соответствующих максимальной расчетной производительности конвейера

$$P_{\max} = M_c \omega_{\max};$$

3) в процессе работы конвейера с помощью устройства автоматического управления поддерживать постоянной погонную нагрузку на ленту, регулируя скорость вниз от максимальной, сохраняя при этом постоянными статический момент

$$M_c = \text{const}$$

и соотношение между напряжением и частотой источника питания

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const};$$

4) если конвейер многоприводной, то устройство автоматического управления должно обеспечивать синхронизацию изменения скорости всех двигателей;

5) системы автоматического управления скоростью шахтных магистральных конвейеров (линий) могут быть выполнены по принципу следящих систем либо систем стабилизации в зависимости от схем доставки груза и характера изменения грузопотоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Лобачева А.К. Исследование способов регулирования скорости ленточных конвейеров по грузопотоку // Изв. вузов. Горный журнал. - 1971. - №2. - С. 113-119.
2. Дмитриева В.В. Математическая модель магистрального конвейера как объекта управления и автоматизации // Горные машины и автоматика. - М.: Новые технологии. - 2001. - №7. - С. 37-40.
3. Реутов А.А. Моделирование стационарных режимов работы унифицированных приводов ленточных конвейеров // Горные машины и автоматика. - М.: Новые технологии. - 2004. - №9. - С. 40-42.
4. Чиликин М.Г. и др. Основы автоматизированного электропривода. - М.: Энергия, 1974. - 588 с.
5. Жигула Т.И., Ладутина Л.П., Максютенко В.Ю. Математические модели оптимального управления приводом ленточного конвейера Сб. науч. тр. "Геотехническая механика". - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. - 2004. - №44. - С. 91-97.
6. Богопольский Б.Х. Автоматическое управление конвейерным транспортом // Сб. "Управление карьерным транспортом с использованием ЭЦВМ". - Свердловск: ИГД. - 1972. - Вып. 35. - С. 69-92.
7. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. - М.: Машиностроение, 1987. - 336 с.