

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ В ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ ПРИ ПУСКЕ

Кремешная А.А., магистр; Грудачев А.Я., доц., канд. техн. наук
Донецкий национальный технический университет

Приведены результаты исследования пуска загруженного и незагруженного ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством и с жестким натяжным устройством по методике, учитывающей, и по методике, не учитывающей переходные процессы в электроприводе.

There are given results of researches of loaded and unloaded belt conveyors with the load tensioning unit and hard tensioning unit. The methods used in the researches both not and take account transition processes in drives.

Ленточные конвейеры как наиболее экономичный, производительный и надежный вид транспорта массовых грузов получили широкое распространение в нашей стране и за рубежом. С увеличением длины конвейеров и их производительности особое значение приобретают вопросы динамики пуска. Динамические процессы в ленточных конвейерах характеризуются появлением динамических натяжений, которые, алгебраически суммируясь со статическими, значительно увеличивают результирующие натяжения в конвейерной ленте и усилия в элементах конвейера. При пуске эти изменения могут привести к неустойчивой работе привода конвейера, связанной со срывом сцепления, частичной или полной пробуксовкой ленты по приводному барабану.

Возмущение какого-либо сечения ленты, лежащей на роlikоопорах, представляет волновой процесс и приводит к распространению этого возмущения вдоль ленты с определенной скоростью. Возмущением, как правило, является усилие привода.

Ленточный конвейер является системой с распределенными параметрами, и протекающие в нем нестационарные процессы описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Решение получается как суперпозиция падающих и отраженных волн.

Динамические натяжения в ленте при нестационарном движении равны [1]

$$S_{дин} = c_1 \rho v(t),$$

где $v(t)$ — скорость смещения сечения ленты (при пуске эта скорость совпадает по величине с текущей скоростью ленты); c_1 — скорость распространения упругой волны; ρ — суммарная плотность соответствующей длины ленты [1].

Был исследован пуск загруженного и незагруженного ленточного конвейера длиной 200м с производительностью 500т/ч с головным грузовым натяжным устройством и с жестким натяжным устройством по методике, предложенной в работе проф. Л.Г. Шахмейстера и проф. В.Г. Дмитриева [1]. Выбран двигатель 2ЭДКОF250LB4 мощностью 55кВт с синхронной скоростью 1500об/мин.

Поскольку основной интерес представляют динамические усилия на приводе в точках набегания и сбегания, при анализе рассмотрим именно эти сечения.

При пуске загруженного ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством время прихода отраженной от границы двух ветвей волны отрицательного знака 2,30 сек. Этому моменту времени соответствует максимальное динамическое усилие в ленте равное 37,35 кН. При этом потребное значение тягового фактора равно 11,85. Поскольку фактическое значение тягового фактора 4,34, то срыв сцепления происходит через 0,25сек. Поэтому для обеспечения отсутствия пробуксовки на сбегавшей ветви требуется натяжение равное 12,10кН, что в 2,23 раза больше требуемого натяжения при установившемся режиме.

При пуске незагруженного ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством максимальное динамическое усилие в ленте составляет 34,80кН, что соответствует времени двойного обхода волной контура конвейера равному 2,88сек. Требуемое значение тягового фактора при этом равно 8,93. Срыв сцепления происходит на 0,2сек. Для предотвращения пробуксовки на сбегавшей ветви необходимо натяжение равное 11,44кН. Таким образом, для пуска загруженного конвейера с головным грузовым натяжным устройством без пробуксовки требуется усилие на

сбегающей ветви на 5,8% больше, чем при пуске незагруженного конвейера.

При пуске незагруженного ленточного конвейера с жестким натяжным устройством максимальное динамическое усилие в 1,8 раз меньше максимального динамического усилия, возникающего при пуске незагруженного ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством, и составляет 19,39кН. Оно соответствует моменту достижения точки набегания волны сжатия, распространяющейся с нижней ветви, т.е. 2,20сек. При этом максимальное динамическое натяжение на сбегающей ветви равно 17,82кН. Срыв сцепления происходит на 0,05сек. Для обеспечения пуска без пробуксовки на сбегающей ветви необходимо обеспечить натяжение равное 25,25кН, что в 2,2 раза больше необходимого сбегающего усилия при пуске незагруженного ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством.

При пуске загруженного ленточного конвейера с жестким натяжным устройством наиболее опасно время, когда преломленная на границе двух ветвей волна растяжения верхней ветви достигает точки сбегающей - 3,74сек. Динамическое набегающее усилие, соответствующее этому моменту времени, составляет 21,73кН. Максимальное динамическое сбегающее усилие равно 19,76кН. Срыв сцепления происходит на 0,07сек. Необходимое для пуска без пробуксовки натяжение на сбегающей ветви составляет 28,96кН, т.е. на 15% больше, чем при пуске незагруженного конвейера с жестким натяжным устройством и в 5,3 раза больше необходимого натяжения на сбегающей ветви при установившемся режиме работы загруженного конвейера.

Однако методика расчета, предложенная в [1], не учитывает влияния на пуск ленточного конвейера переходных процессов в приводе.

Дифференциальное уравнение движения привода для конвейера с грузовым натяжным устройством в правой части содержит усредненное значение пускового усилия F_0 и динамическую составляющую $\beta_d v$, где β_d - коэффициент, характеризующий наклон характеристики двигателя - величина постоянная, поскольку механическая характеристика двигателя аппроксимирована линейно, что приводит к погрешности при исследовании динамических процессов при пуске ленточного конвейера.

Выполним замену

$$F_0 + \beta_{\partial} v = F_{\partial \partial},$$

где $F_{\partial \partial}$ - усилие, развиваемое приводом.

$$F_{\partial \partial} = M \cdot i_p / R_b,$$

где i_p — передаточное число редуктора; R_b — диаметр приводного барабана; M - электромагнитный момент, развиваемый двигателем.

В качестве математической модели двигателя используем нелинейную систему уравнений, которая учитывает электромагнитный и механический переходные процессы, а также нелинейную связь уравнений напряжений с уравнением движения при периодическом изменении момента сопротивления.

Тогда динамическое натяжение на набегающей ветви для конвейера с грузовым натяжным устройством приобретает вид

$$S_{\text{дин.нб}}(t) = c_z \rho_z v(t) = -(F_{\partial \partial} - W_0) \left(e^{\frac{-c_z \rho_z t}{m_{np}}} - 1 \right)$$

на сбегающей ветви в соответствии с граничными условиями $S_{\text{сб}} = \text{const}$, $S_{\text{дин.сб}} = 0$.

Аналогично динамические усилия для конвейера с жестким натяжным устройством

$$S_{\text{дин.нб}}(t) = c_z \rho_z v(t) = \frac{(F_{\partial \partial} - W_0) c_z \rho_z}{-c_z \rho_z - c_n \rho_n} \left(e^{\frac{-c_z \rho_z - c_n \rho_n t}{m_{np}}} - 1 \right);$$

$$S_{\text{дин.сб}}(t) = -c_n \rho_n v(t) = \frac{(F_{\partial \partial} - W_0) c_n \rho_n}{c_z \rho_z + c_n \rho_n} \left(e^{\frac{-c_z \rho_z - c_n \rho_n t}{m_{np}}} - 1 \right).$$

Расчет параметров пуска ленточного конвейера с учетом переходных процессов в двигателе показывает, что при пуске незагруженного конвейера с головным грузовым натяжным устройством максимальное динамическое набегающее усилие

составляет 34,91кН и приходится на 0,91сек. При нарастании динамического усилия первые 0,5сек наблюдается колебательный процесс. Требуемое при этом значение тягового фактора для пуска без пробуксовки составляет 11,74. Поскольку фактическое значение тягового фактора равно 4,34, то на 0,32сек происходит срыв сцепления. Таким образом для избежания пробуксовки при пуске натяжение на сбегающей ветви должно составлять 11,98кН. Разгон двигателя при этом занимает 1,3сек. Максимальный электромагнитный момент двигателя равен 1820 Нм. В течение 0,65сек наблюдаются колебания угловой скорости, механической мощности, токов. Максимальное значение токов составляет 580А. При 0,8 - 1,0сек происходит резкое снижение значения токов до уровня номинальных.

При пуске загруженного ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством максимум динамического усилия приходится на 0,54сек и составляет 37,75кН. В течение 0,4сек наблюдается колебательный процесс, при этом первые 0,05сек мгновенные значения динамического набегающего усилия отрицательны. Требуемый тяговый фактор, соответствующий максимальному динамическому усилию, равен 11,96. Срыв сцепления происходит на 0,2сек. Необходимое натяжение на сбегающей ветви для избежания пробуксовки должно составлять 12,21кН. Максимальный электромагнитный момент составляет 1520 Нм и приходится на 0,02сек. До 0,15сек наблюдается снижение электромагнитного момента, а затем до 0,48сек увеличение. С 0,48 до 0,58сек происходит резкий спад электромагнитного момента до -10Нм, а затем рост до номинального значения. Значения угловой скорости первые 0,05сек отрицательны. Скорость выходит на номинальное значение за 1сек. Максимум значений токов статора и ротора достигает 700А и приходится на 0,2сек. С 0,48 до 0,58сек токи резко падают до номинального значения.

Аналогичная ситуация изменения параметров двигателя наблюдается и при пуске незагруженного ленточного конвейера с жестким натяжным устройством. При этом максимальное динамическое набегающее усилие равно 18,12кН. Срыв сцепления происходит на 0,14сек. При равенстве динамического и статического сбегающего усилия на 0,32сек требующееся значение тягового фактора равно бесконечности. Для пуска без пробуксовки сбегающее усилие должно быть равно 25,48 кН.

При пуске загруженного ленточного конвейера с жестким натяжным устройством максимум электромагнитного момента двигателя приходится на 0,02 сек и составляет 1400Нм. С этого же времени начинается затухание колебаний. Двигатель выходит на установившийся режим за 1сек. Максимальное значение токов при пуске достигает 680А на 0,25сек. На 0,7сек наблюдается пик динамического набегающего (21,22кН) и динамического сбегающего (13,10кН) усилий. Затем происходит небольшой спад значений динамических усилий, а с 0,75сек медленное нарастание по характеристике, соответствующей расчету параметров пуска ленточного конвейера без учета переходных процессов в двигателе, поскольку затухание электромагнитного динамического процесса в двигателе происходит за 1,0 - 1,3сек.

Из изложенного выше видно, что при пуске загруженного конвейера, как с головным грузовым натяжным устройством, так и с жестким натяжным устройством возникающие натяжения в ленте больше, чем при пуске незагруженного конвейера. При пуске ленточного конвейера с жестким натяжным устройством набегающие усилия в ленте меньше, чем при пуске ленточного конвейера с головным грузовым устройством. Однако из-за возникающего динамического сбегающего усилия необходимое предварительное статическое натяжение на сбегающей ветви для избежания пробуксовки должно быть более чем в 2 раза больше по сравнению с пуском ленточного конвейера с головным грузовым натяжным устройством.

При расчете параметров пуска ленточного конвейера с учетом переходных процессов в электроприводе значения натяжений ленты превышают значения, полученные при расчете без учета переходных процессов в электроприводе, не более чем на 4,7%. Однако данный расчет показывает, что время достижения максимальных натяжений значительно отличается от времени, рассчитанного по методике, не учитывающей переходные процессы в приводе.

Список источников

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. – 2-е издание, переработано и дополнено – М.: Машиностроение, 1987, - 336с.
2. Артемюк Б.Т. Асинхронные двигатели при периодической нагрузке. Киев: "Техніка", 1972, - 200с.