

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

*Ставицкий В.Н., доц., к.т.н., Дубинин С.В., доц., к.т.н.  
Донецкий национальный технический университет*

*It's proved the improvement's criteria for a tape conveyor's induction electric drive to increase its efficiency, reliability and profitability.*

Электропривод (ЭП) ленточного конвейера, определяющий эксплуатационные показатели последнего, как правило, является нерегулируемым. В качестве приводных в большинстве случаев используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АД). Режим их работы характеризуется значительной продолжительностью и широким диапазоном варьирования нагрузки (рис.1), определяемой массой груза  $Q$ , перемещаемого конвейером в единицу времени [1]:

$$F = L \cdot w \cdot g \cdot \left( \frac{Q}{v} + q_l \cdot (k+1) + k \cdot q_p'' + q_p' \right) \cdot \frac{e^{\mu\beta} - 1}{e^{\mu\beta} - k}; \quad (1)$$

где  $F$  – тяговое усилие конвейера;

$L$  – длина конвейера;

$v$  – скорость ленты;

$w$  – коэффициент сопротивления движению;

$\mu$  – коэффициент сцепления между лентой и барабаном;

$\beta$  – угол обхвата барабана лентой;

$k$  – коэффициент, определяемый углом обхвата лентой натяжного барабана;

$q_l, q_p', q_p''$  – удельная масса ленты и роликов на грузовой и порожней ветвях ленты.

Максимальное допустимое значение тягового усилия определяется силой  $F_n$ , создаваемой натяжным устройством конвейера, а также углом обхвата приводного барабана лентой:

$$F_{\max} = (F_n + L \cdot w \cdot g \cdot (q_l + q_p'')) \cdot (e^{\mu\beta} - 1); \quad (2)$$

Минимальная нагрузка на привод соответствует работе конвейера при отсутствии груза на ленте:

$$F_{\min} = L \cdot w \cdot g \cdot (q_l \cdot (k+1) + k \cdot q_p'' + q_p') \cdot \frac{e^{\mu\beta} - 1}{e^{\mu\beta} - k}; \quad (3)$$

С целью исключения проскальзывания ленты на приводном барабане номинальное усилие  $F_n$  не должно превышать максимально допустимого значения  $F_{\max}$  (рис.1). Учитывая возможность варьирования веса перемещаемого груза при изменении грузопотока, номинальная нагрузка ЭП конвейера должна удовлетворять соотношению (4):

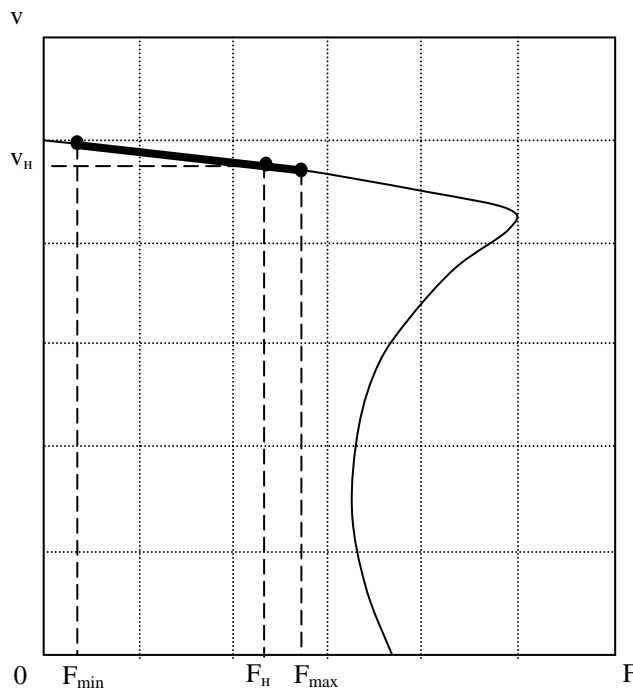


Рисунок 1 – Механическая характеристика нерегулируемого электропривода ленточного конвейера

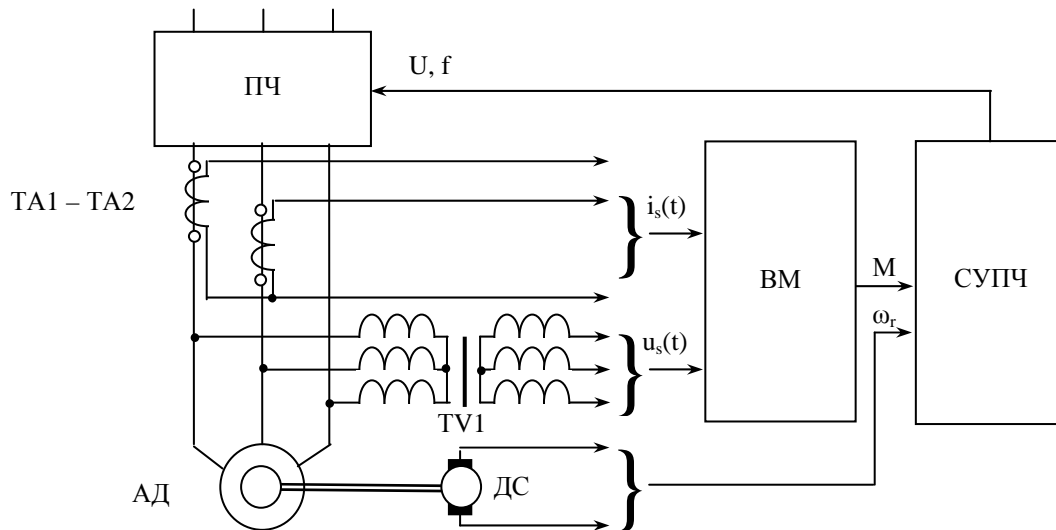


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированного частотно-управляемого электропривода конвейера

$$F_n = (0,8...0,9)F_{max} ; \quad (4)$$

Скорость грузонесущего органа при варьировании нагрузки в диапазоне от  $F_{min}$  до  $F_{max}$  изменяется не более чем на 1...2% (рис.1).

Проведенный выше анализ режима работы ЭП конвейера позволяет выделить ряд недостатков подобной системы привода:

1. Постоянство скорости ленты даже при работе конвейера вхолостую не способствует снижению интенсивности ее износа при минимуме выполняемой полезной работы [1].
2. Работа приводного АД в области малых нагрузок ведет к недоиспользованию двигателя по мощности и по моменту.
3. Возможность колебаний нагрузки на привод по сравнению с номинальным значением требует превышения усилия, создаваемого натяжным устройством конвейера, на 10...20%, что способствует повышению статических деформирующих нагрузок в грузонесущем органе и, как следствие, ускоренному его износу.
4. Наивысшие значения КПД и коэффициента мощности соответствуют нагрузке АД  $(0,7...0,9)P_{ном}$  [2]. Эксплуатация АД в составе ЭП конвейера при изменяющемся грузопотоке сопряжена с нерациональным энергопотреблением при работе в области малых нагрузок.

Устранение последнего из указанных недостатков возможно при регулировании величины напряжения на статоре приводного АД в функции нагрузки. Тем самым меняется перегрузочная способность двигателя и, как следствие, его скольжение. Поскольку оптимальное скольжение (соответствующее максимуму коэффициента мощности и КПД) зависит только от параметров схемы замещения АД, то указанный способ обеспечивает возможность работы привода с максимальными значениями энергетических показателей при любой нагрузке. Однако подобным образом нельзя решить вопрос снижения износа конвейерной ленты, поскольку нет возможности регулирования скорости и, как следствие, нагрузки на нее.

Для увеличения срока службы грузонесущего органа, стоимость которого включает в себе от 40 до 75% стоимости всего конвейера, целесообразно при снижении грузопотока  $Q$ , уменьшать частоту вращения приводного АД [1]. За счет этого обеспечивается постоянство удельной массы перемещаемого груза, а, следовательно, и момента на валу двигателя. Помимо улучшения условий эксплуатации конвейерной ленты могут быть обеспечены оптимальные значения энергетических показателей ЭП.

Данная идея может быть реализована за счет использования каскадных схем регулирования скорости АД с фазным ротором, либо за счет применения частотного принципа управления скоростью короткозамкнутого АД (рис.2). Первый способ нашел применение для управления магистральными конвейерами. В ЭП ленточных конвейеров малой и средней мощности, составляющих подавляющее большинство, двигатели с фазным ротором не применяются, в связи с чем единственно возможным вариантом создания регулируемого по скорости привода остается система “преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором” (ПЧ – АД).

Реализация частотно-управляемого привода конвейера в условиях шахты связана с необходимостью решения следующего комплекса задач:

- обоснование схемы ЭП, удовлетворяющей требованиям к качеству и диапазону регулирования выходного напряжения, малым габаритам, высокой надежности и сравнительно невысокой стоимости;
- обоснование закона управления ПЧ, обеспечивающего формирование желаемой механической характеристики (МХ) привода, – функциональной зависимости параметров питающего напряжения от ве-

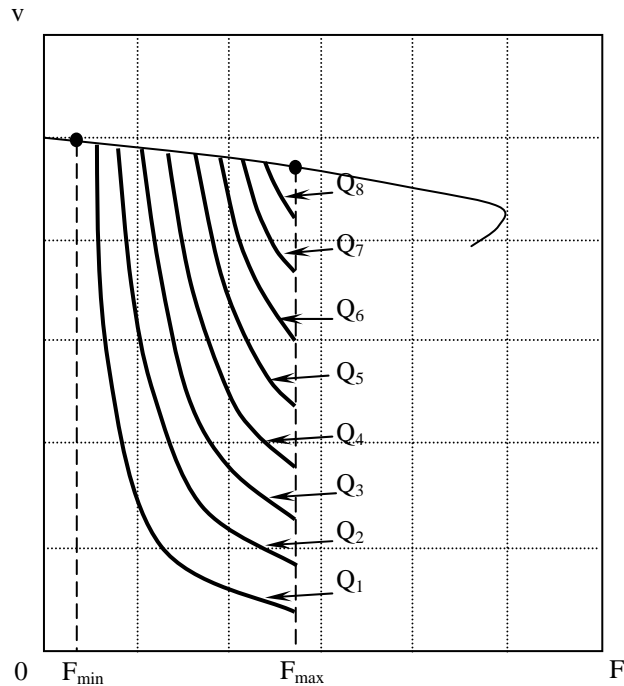


Рисунок 3 – Влияние скорости движения ленты и объема грузопотока на величину тягового усилия конвейера

личины грузопотока.

Успешное и эффективное решение указанных вопросов возможно лишь при условии корректной постановки общей задачи оптимизации, что обуславливает необходимость формулировки целевой функции и системы ограничений. Таким образом, целью исследований является обоснование критериев оптимального функционирования шахтного ленточного конвейера и его основных элементов: электропривода и грузонесущего органа.

Специфика функционирования ЭП конвейера заключается в наличии взаимосвязи тягового усилия и скорости перемещения груза (рис.3). Соотношение между ними определяется величиной грузопотока и описывается зависимостью (1). Результаты анализа данного выражения свидетельствуют о принципиальной возможности обеспечения любой величины нагрузки в диапазоне от  $F_{min}$ , обусловленной силами сопротивления движению порожней ленты, до  $F_{max}$ , обусловленной натяжением ленты, за счет изменения скорости грузонесущего органа (рис.3). Производительность конвейера при этом не изменится – за единицу времени происходит перемещение одного и того же количества груза независимо от скорости. Данная отличительная особенность режима работы конвейера предоставляет ряд возможностей для совершенствования его привода.

Основная возможность заключается в ограничении износа ленты за счет выполнения условия (5) – снижения ее скорости при уменьшении грузопотока (фактор А на рис.4):

$$v \rightarrow \min . \quad (5)$$

При постоянстве грузопотока снижение скорости приводит к повышению тягового усилия (рис.3), а вместе с ним и потребляемого тока. В связи с этим, нижний предел скорости при данном объеме грузопотока определяется рядом условий. Прежде всего, тяговое усилие не должно превышать максимально допустимого по условию сцепления ленты с приводным барабаном значения, которое, в свою очередь, обусловлено силой, создаваемой натяжным устройством. Но, как правило,  $F_{max}$  на 10...20% превышает номинальное значение, в связи с чем приводной АД будет работать с ощутимой перегрузкой, ограничивающей продолжительность его включенного состояния до 30...40 мин. Попытка же снизить потребляемый ток при неизменной нагрузке за счет увеличения перегрузочной способности АД путем его питания напряжением повышенной величины (на пониженных частотах) приведет к насыщению магнитной системы двигателя и значительному увеличению тока холостого хода, сводящему на нет усилия по снижению тока ротора. Таким образом, для обеспечения работы ЭП конвейера в режиме S1 целесообразно ограничить скорость грузонесущего органа на уровне, соответствующем усилию  $F_n$  при данном объеме грузопотока (фактор В на рис.4):

$$F \leq F_n . \quad (6)$$

Условиям (5), (6) соответствует МХ 2 на рис.4 вместо характеристики 1 базового, нерегулируемого, привода.

В нижней части диапазона регулирования скорости в качестве условия, ограничивающего величину тягового усилия, а соответственно, и скорость (особенно для двигателей с самовентиляцией, каковыми являются взрывозащищенные АД, применяемые в ЭП конвейера) выступает температура обмоток двигателя  $\Theta$ . Снижение

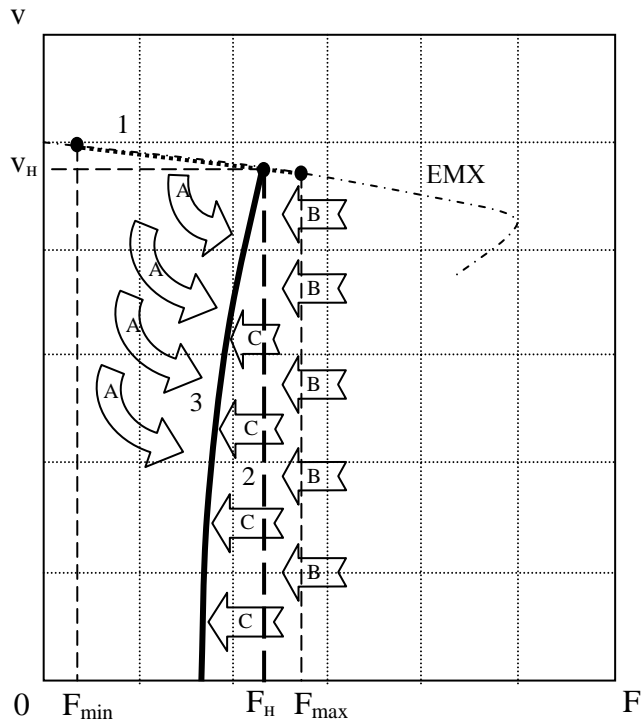


Рисунок 4 – Влияние различных факторов на формирование оптимальной механической характеристики асинхронного привода ленточного конвейера

частоты вращения ротора АД приводит к ухудшению теплообмена с окружающей средой и для обеспечения работы привода в длительном режиме требует ограничения скорости и тягового усилия (фактор С на рис.4):

$$\Theta \leq \Theta_{\text{доп}} \cdot \quad (7)$$

где  $\Theta_{\text{доп}}$  – максимально допустимое установившееся значение температуры обмоток АД, обусловленное классом применяемой изоляции.

Учет полученной целевой функций (5) и ограничений (6), (7) при дальнейшем решении задачи оптимизации позволит получить оптимальную МХ ЭП конвейера (линия 3 на рис.4) – функциональную зависимость тягового усилия и скорости ленты от объема грузопотока, что является предметом дальнейших исследований.

Каждая точка оптимальной МХ привода может иметь бесконечное количество реализаций, соответст-

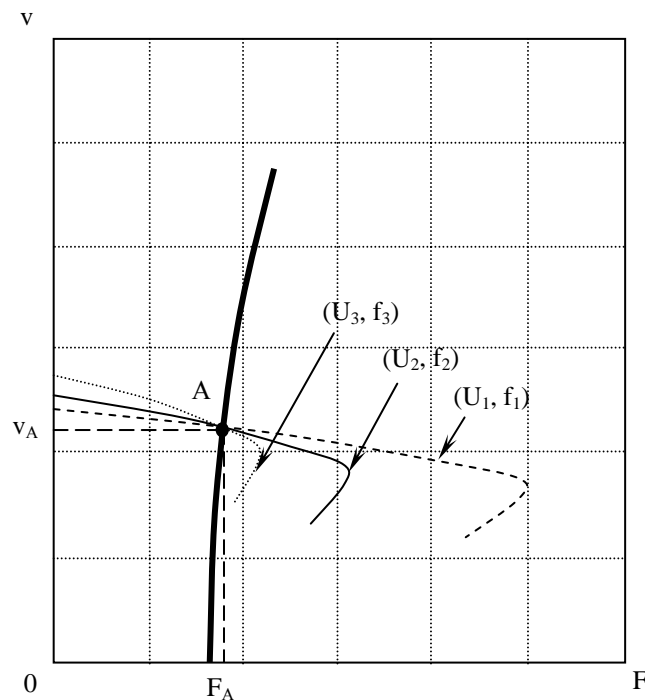


Рисунок 5 – К вопросу о реализации оптимальной МХ привода конвейера

вующих пересечению линии тягового усилия (при данной скорости) с характеристиками АД, обусловленными различными соотношениями параметров «частота - напряжение» (рис.5). Выбор подходящей характеристики является оптимизационной задачей, для решения которой, прежде всего, необходимо определиться с выбором соответствующего критерия. В качестве последнего целесообразно принять коэффициент мощности или КПД приводного АД. Оба выбранных показателя существенно зависят от скольжения двигателя, а, следовательно, и от параметров питающего напряжения: частоты и действующего значения [2]. Желательно, чтобы они оба были максимальны. Однако использование двух критериев оптимизации лишает поставленную задачу однозначного решения. Требуется выбрать только один, наиболее рациональный, показатель, который проявляет себя в соответствующем показателе, характеризующем привод в целом, и не имеет возможности компенсации посредством применения соответствующих технических решений. Коэффициент мощности не является в данном случае объективным энергетическим показателем, поскольку для привода в целом может быть обеспечено любое его значение, в том числе и равное 1, например, за счет применения в составе ПЧ активного выпрямителя [3]. Поэтому в качестве критерия выбора оптимального соотношения параметров напряжения, питающего двигатель, принимается КПД двигателя:

$$\eta_{\text{двиг.}} \rightarrow \max . \quad (8)$$

Критерий (8) позволяет выбрать из множества возможных комбинаций параметров  $U - f$  такую пару, которая соответствует наиболее высокому значению КПД двигателя при работе в заданной точке оптимальной механической характеристики.

Регулирование частоты вращения двигателя при изменении грузопотока позволяет продлить срок службы ленты не только за счет уменьшения количества обходов приводного барабана, но и за счет стабилизации тягового усилия привода. В этом случае пропадает необходимость в завышении усилия натяжения. Последнее может быть ограничено на уровне, соответствующем  $(1.02 \dots 1.03)F_n$ . Тем самым снижается деформация ленты, вызванная повышенным натяжением, и продлевается ее ресурс.

Таким образом, в результате анализа режима функционирования ЭП ленточного конвейера обоснованы целевая функция и система ограничивающих условий, помимо этого намечены основные пути решения сформулированной задачи оптимизации.

Полученные выше критерии позволяют обосновать оптимальную механическую характеристику привода ленточного конвейера и получить функциональную зависимость параметров питающего напряжения (частота, действующее значение) от объема грузопотока, что и является предметом дальнейших исследований, проводимых в этом направлении.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- 1.Малиновский. А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. – 277 с.
- 2.Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 607 с.
- 3.Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.