
К ВЫБОРУ ТИПА ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЭСКАЛАТОРА МЕТРОПОЛИТЕНА

Одной из наиболее острых проблем больших городов в Украине является транспортная. Бурное расширение парка автомобилей при существующих транспортных магистралях приводит к многочисленным «пробкам», перерасходу топлива, загазованности воздуха и потере времени. Это свидетельствует о том, что роль метрополитена в решении транспортной проблемы будет все более возрастать, его сеть расширяться и поэтому весьма важно рассмотреть все аспекты совершенствования его работы.

Одним из важнейших звеньев технологической цепи метрополитена является эскалатор, который вместе с метropоездом составляет единую систему перемещения пассажиров под землей. Электропривод (ЭП) эскалаторов метрополитена потребляет примерно половину присоединенной мощности к шинам напряжения 380 В, поэтому энергоресурсосберегающий аспект его работы имеет важное значение. При этом помимо прямой экономии электроэнергии следует иметь в виду и ту экономию, которая за счет совершенствования управления может обеспечить снижение износа механического и электрического оборудования, а, следовательно, и тех энергетических и материальных ресурсов которые потребовались бы на его замену при производстве ремонтных работ.

Целью настоящей работы является определение совокупности факторов, которые влияют на выбор наиболее рационального типа электропривода эскалатора метрополитена с учетом специфики его работы и оценка некоторых из них.

Характерной особенностью ЭП эскалаторов является существенно переменный характер нагрузки. Снижение нагрузки днем и особенно поздно вечером доходит до $15 \div 20$ % от номинальной. При этом мощность двигателя выбирается по наиболее тяжелому режиму. Вследствие этого в течение большей части времени электродвигатель работает с низким КПД.

Для находящегося в массовой эксплуатации ЭП эскалаторов характерен ряд признаков [1]. Наибольшее распространение получили асинхронные двигатели (АД) с фазным ротором и несколькими ступенями активных сопротивлений, обеспечивающих заданную величину ускорения. На станциях мелкого заложения, там где длина полотна эскалатора невелика применяются асинхронные короткозамкнутые двигатели. Для ограничения бросков тока в сети, а также некоторого снижения пускового момента и ускорения при пуске в цепь статора вводится дополнительное сопротивление. Мощность двигателя в зависимости от протяженности эскалатора находится в диапазоне $10 \div 200$ кВт. При малой нагрузке электродвигателя его коэффициент мощности значительно уменьшается, среднее значение его колеблется в пределах $0,25 \div 0,5$, снижаясь особенно сильно в генераторном режиме при спуске пассажиров. Возможны режимы потребления из сети чисто реактивной мощности, когда момент трения в механизмах и потери в электроприводе будут уравниваться активным моментом, создающимся за счет веса спускающихся пассажиров. Повышение коэффициента мощности достигается путем переключения с помощью релейно-контакторной аппаратуры обмоток статора с треугольника на звезду. Для поддержания высокого коэффициента используется узел автоматического переключения обмоток с треугольника на звезду и обратно по сигналу токовых реле при соответствующих изменениях нагрузки на уровне около $0,5 P_n$.

Кроме главного приводного двигателя на эскалаторе устанавливается вспомогательный двигатель небольшой мощности. Этот двигатель предназначен для медленного движения оборудования в ненагруженном состоянии в период ремонтных работ, чистки и смазывания деталей.

При пуске эскалатора ЭП должен обеспечить при полной нагрузке его разгон до выбранной скорости движения лестничного полотна $0,45 \div 1$ м/с, не превысив ускорения $0,6 \div 0,7$ м/с² из условия ограничения износа механического оборудования.

Анализ вышеприведенных данных позволяет сделать следующие выводы:

- существующий электропривод эскалаторов метрополитена из-за сниженной в течение большей части времени нагрузки приводных двигателей, наличия добавочных сопротивлений в силовых цепях работает с низкими значениями КПД и коэффициента мощности и имеет существенные резервы прямой экономии электрической энергии.

- частые переключения релейно-контакторной аппаратуры вызывают электрические и механические ударные нагрузки, ускоряя износ оборудования. Их устранение может стать дополнительным фактором существенного энергоресурсосбережения за счет экономии энергетической составляющей при добыче сырья, производстве материалов, запасного оборудования для ремонтных работ и во время их проведения.

Устранение ударных нагрузок обеспечивается исполнением электропривода регулируемым с питанием асинхронного приводного электродвигателя от полупроводникового преобразователя с соответствующими законами управления. В качестве полупроводниковых преобразователей могут быть выбраны тиристорный преобразователь напряжения (ТПН) либо преобразователи частоты (ПЧ). Их применение позволяет реализовать прямую экономию электроэнергии за счет сокращения потерь в АД при сниженной нагрузке.

Действительно, суммарные потери в АД равны [2]:

$$\Delta P = \Delta P_{1M} + \Delta P_{2M} + \Delta P_{1c} + \Delta P_{2c} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{доп}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{1M}, \Delta P_{2M}$ – потери в меди статора и ротора;
 $\Delta P_{1c}, \Delta P_{2c}$ – потери в стали статора и ротора;
 $\Delta P_{мех}$ – механические потери АД;
 $\Delta P_{доп}$ – дополнительные потери.

Исключение из силовых цепей добавочных пусковых сопротивлений снизит $\Delta P_{доп}$. В потерях ΔP_{1M} значительная составляющая обусловлена намагничивающим током, доля которого при номинальном напряжении равна 25 ÷ 50 % от номинального [2]. Уменьшение намагничивающего тока достигается снижением приложенного к статору АД напряжения, что приводит и к снижению потерь в стали ΔP_{1c} . Как ТПН, так и ПЧ обеспечивают возможность снижения напряжения на двигателе при снижении нагрузки, соответственно, путем увеличения угла регулирования и широтно-импульсной модуляции. В [4,5] показано, что для ЭП по системе ТПН-АД существует оптимальное скольжение $s_{опт}$ при котором потери в АД минимальны и приведены соотношения для их расчета. Значение $s_{опт}$ отличается от номинального скольжения s_n не более, чем на 5÷7 %, что укладывается в допустимые правилами эксплуатации эскалаторов отклонения скорости [3].

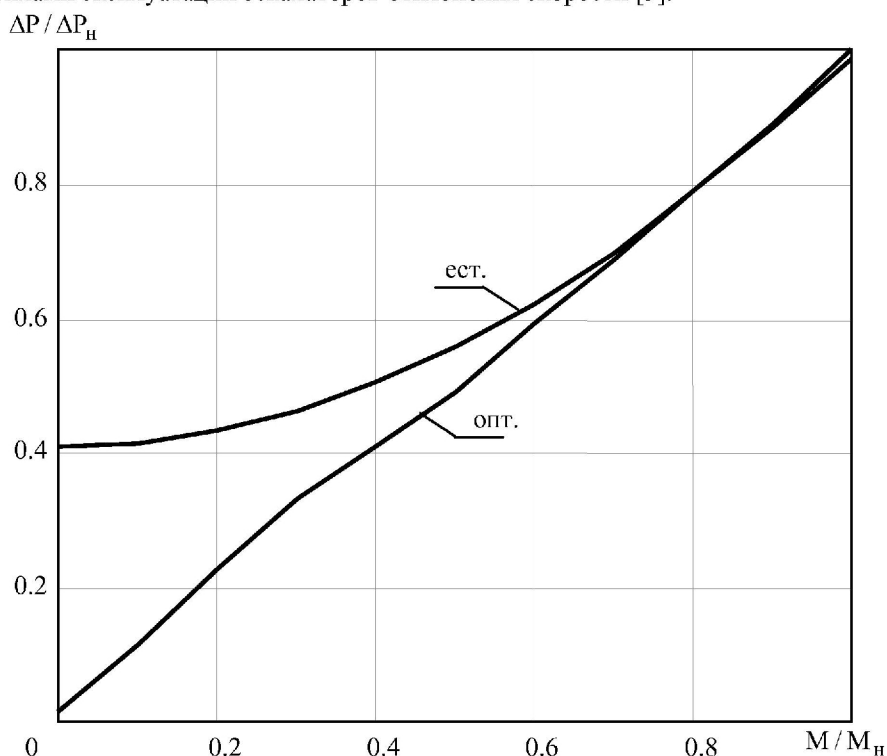


Рис. 1. Потери в двигателе 4АНК-315-М8

Оценим возможную величину экономии электроэнергии за счет подобного регулирования на примере эскалатора станции «Пушкинская» харьковского метрополитена с электродвигателем 4АНК-315-М8 номинальной мощностью 105 кВт. Приведенные на рис.1 графические зависимости отображают потери в АД при работе на естественной и регулировочной при $s_{опт}$ характеристиках.

Интервал движения в часы «пик» составляет 3 ÷ 3,5 минуты. Время подъема пассажиров на эскалаторе, к примеру, для станции метро «Пушкинская» харьковского метрополитена не превышает 2 минут. Если сопоставить интервал движения и время подъема пассажиров, то видно, что даже в часы «пик» 30 ÷ 35 % времени эскалатор работает незагруженным, а при увеличении интервала движения время работы в недогруженном режиме еще возрастает. Причем продолжительность часов «пик» не превышает 2-3 часов в день, что составляет 15-20 % всего времени работы эскалатора.

При проектировании эскалаторов приводной двигатель выбирают исходя из теоретической производительности эскалаторной установки, которая в $1,6 \div 1,7$ раза больше фактической [3]. То есть, уже изначально закладывается работа с КПД, существенно ниже номинального. По статистическим данным харьковского метрополитена, при исследовании пассажиропотока станции метро «Пушкинская», фактический коэффициент загрузки эскалатора в часы «пик» составляет $k_f=0,228$. Как уже отмечалось выше, продолжительность часов пик не превышает 15-20% всего времени работы эскалатора, при таких условиях коэффициент нагрузки эскалатора не превышает 0,1. При таком режиме работы, когда момент сопротивления двигателя составляет всего 10% от номинального, КПД снижается на $30 \div 40 \%$ [2].

Из рис. 1 видно, что при моменте сопротивления $M_c^* = 0,1$ потери в АД можно снизить на 30%, что в абсолютных значениях для двигателя 4АНК-315-М8 составляет $\Delta P = 4,8$ кВт. Если исходить из того, что эскалатор работает по 18,5 часов в день то за смену можно сэкономить 89 кВт·ч электроэнергии, за год — 32,5 МВт·ч.

При существующем тарифе на электроэнергию и стоимости ТПН, только за счет прямой экономии электроэнергии в статических режимах установка данного типа преобразователя окупится не больше чем за год. Однако, если учесть эффект от устранения электрических и механических ударных нагрузок и, как следствие, снижение энергетических и материальных ресурсов, связанных с проведением ремонтов, повышение надежности работы, комфортности движения, исключение релейно-контакторной аппаратуры и др., использование ТПН в электроприводе эскалатора становится еще более привлекательным.

Следует отметить, что применение преобразователя частоты для питания приводного АД эскалатора метрополитена также обеспечит вышеуказанные достоинства. Выбор системы электропривода ТПН-АД или ПЧ-АД требует более подробного сопоставления. Отметим наиболее существенные отличительные характеристики каждой из систем. В условиях рассматриваемого применения важными достоинствами системы ТПН-АД является простота силовой схемы преобразователя ТПН, его в 3-4 раза меньшая стоимость, возможность реализации рекуперативного торможения при спуске пассажиров без усложнения схемы, меньшая мощность потерь в силовых полупроводниковых устройствах. К недостаткам данной системы относятся: уменьшение коэффициента мощности сети при снижении нагрузки, худший гармонический состав напряжения на выходе и, главное, меньшей пусковой момент. Последнее обстоятельство особенно важно при пусках эскалатора с полной нагрузкой, так как невозможность пуска либо чрезмерное его затягивание во времени недопустимы. В случае модернизации ЭП, в котором используется АД с фазным ротором увеличить пусковой момент до уровня $M_{кр}$, можно, сохранив ступени пусковых сопротивлений, что не приведет к заметному увеличению потерь в силу кратковременности режимов пуска при полной нагрузке.

Достоинства системы ПЧ-АД – большой пусковой момент близкий к критическому, коэффициент мощности около 1, качественный гармонический состав выходного напряжения, благодаря широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Следует отметить, что алгоритм ШИМ должен учитывать не только требования по гармоническому составу напряжения, но и по изменению его величины при изменении нагрузки. Кроме того, возможность регулирования скорости в широких пределах позволяет исключить вспомогательный электродвигатель для медленного движения при ремонтных и регламентных работах. Недостатки – необходимость усложнения схемы для реализации рекуперативных режимов при спусках, высокая стоимость удлиняют срок окупаемости.

Проведенный выше анализ позволяет говорить о том, что в условиях ограниченности средств использование системы ТПН-АД целесообразно использовать при модернизации электроприводов эскалаторов, имеющих в качестве приводного двигателя АД с фазным ротором. При создании новых эскалаторов следует также широко применять систему ПЧ-АД с короткозамкнутым двигателем.

Вышеуказанный вывод базируется на выполненном в настоящей работе анализе, в основном, качественного характера представляется целесообразной более глубокая проработка с количественной оценкой по каждому из указанных в ней аспектов энергоресурсосбережения.

Литература

1. Соколов М.М. Электрооборудование общепромышленных механизмов. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб и доп.. – М.: «Энергия», 1976 – 488 с., ил.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978 – 832 с., ил.
3. Правила устройства и безопасности эскалаторов ПБ 10-77-94.
4. Андрищенко А.О Требования к асинхронному электродвигателю и тиристорному преобразователю в электроприводе ТПН-АД.//Электромашинобудування та електрообладнання.Респ. міжвід. наук.-техн. зб. – 1998. Вип. 50. – с.4-6.
5. Энергосберегающий асинхронный электропривод. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/И.Я. Браславский, З.Ш.Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.