

Синчук О.Н., Синчук И.О.

Украина

Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского  
Гузов Э.С.

Украина

Криворожский технический университет

Пасько О.В., Доценко Ю.А.

Украина

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СЛАГАЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДВУХОСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКЛЕКТРОВОЗОВ

**Введение.** В шахтах и рудниках Украины эксплуатируется более трех тысяч различных промышленных электровозов. Ежегодно этими видами транспорта потребляется до 18 % от общепотребляемых объемов электрической энергии подземными потребителями.

Тяговые электротехнические комплексы (ТЭТК): асинхронный двигатель – импульсные преобразователи напряжения по сравнению с существующими – постоянного тока известны [1,2]. Однако за последние 15-20 лет создан и прошел предварительные испытания лишь экспериментальный образец ТЭТК с современной микропроцессорной системой управления [2].

Основной из главных причин задержки в разработке технической документации и освоения серийного выпуска ожидаемых горной промышленностью образцов является отсутствие обоснования параметров, как слагаемых, так и всего тягового комплекса нового промышленного двухосного электровоза для шахтных условий эксплуатации [2].

**Цель исследований:** обоснование и разработка параметров тягового электротехнического комплекса двухосных промышленных электровозов с асинхронным электроприводом для шахтных условий эксплуатации.

**Постановка задач исследования.** Априорная оценка качественных показателей асинхронных ТЭТК по сравнению с существующими видами на основе тяговых электрических двигателей (ТЭД) постоянного тока показывает следующие возможности:

- повышение в 4-5 раз надежности тяговых асинхронных двигателей (ТАД) и безопасности их эксплуатации в условиях повышенной опасности, каковыми являются шахты и рудники;
- возможность ожидаемого снижения габаритов тяговых двигателей и увеличения их мощности на 20 % в рамках существующих массогабаритных показателей;
- снижение стоимости ТАД по сравнению с ТЭД постоянного тока при тех же мощностях;
- исключение частот вращения тяговых двигателей превышающих допустимые (разносные);
- получение более высокого к.п.д. всей тяговой системы – на 2 – 4 %;
- значительное снижение (в 2 – 3 раза) затрат на обслуживание и ремонт ТАД;
- плавное бесступенчатое регулирование тягового и тормозного усилия электровоза.

**Материалы исследования.** Совершенствование тяговых электротехнических комплексов целесообразно рассматривать в увязке с совершенствованием характеристик электровозов и добавлением новых тяговых возможностей, т.е. решать комплексную задачу.

В железорудных шахтах в настоящее время применяют тяжелые 2-хосные электровозы типа К14. Масса этих электровозов во многих случаях недостаточна по технологии доставки подземных ископаемых, поэтому на ряде шахт используют по 2 электровоза в составе – так называемые «спаренные» электровозы. При этом размер состава увеличивается вдвое, что уже излишне, так как создаются сложности в организации движения, снижается скорость движения.

В данной статье предлагается для новых электровозов, при сохранении тех же параметров привода, увеличить массу электровозосостава приблизительно на 20 %. Обозначим этот тип электровоза К16А – контактный, массой 16 тонн, с асинхронным приводом.

Как известно [1], скорость движения электровозов в шахтах находится в пределах 2-20 км/час, при этом значительный (до 25%) объем всех транспортных операций составляют маневры при погрузочно-разгрузочных работах, движение по закруглениям и стрелкам, местам с плохим состоянием путей, где скорости движения составляют всего 2-5 км/час.

Существующие электровозы К14 имеют завышенные скоростные характеристики, которые не могут быть использованы, поэтому для новых электровозов номинальную часовую скорость целесообразно несколько снизить. Приведем некоторые соображения в этом вопросе.

Мощность, реализуемая электровозом:

$$P = F \cdot V, \text{ кВт} \quad (1)$$

где: F – сила тяги, кН,

V – скорость, м/с.

При той же мощности привода ( $2 \cdot 45 = 90$  кВт) предлагается увеличить силу тяги F и уменьшить скорость V.

Паспортные характеристики часового режима электровоза К16А при этом будут следующие:

сила тяги – 24,5 кН,  
скорость – 3,56 м/с (12,8 км/час),  
мощность – 87 кВт.

Расчетные характеристики часового режима электровоза К16А:

сила тяги – 27,4 кН,  
скорость – 3,56 м/с (12,8 км/час),  
мощность – 87 кВт.

В обоих случаях часовая мощность, реализуемая электровозом, составит 87 кВт, а часовая мощность тяговых двигателей, с учетом потерь в редукторах, - 90 кВт (2 x 45 кВт).

Расчетная частота вращения асинхронного тягового двигателя в часовом режиме составляет 1180 об/мин, с учетом скольжения вращение идеального холостого хода (синхронная скорость) равна 1200 об/мин.

Частота вращения идеального холостого хода определяется:

$$n_0 = \frac{f \cdot 60}{p}, \text{ об/мин,} \quad (2)$$

где:  $f$  – частота на выходе инвертора, Гц,  $p$  – число пар полюсов двигателя.

Для получения частоты вращения  $n_0 = 1200$  об/мин могут быть использованы два варианта асинхронных двигателей: с 2 или 3 парами полюсов. При этом номинальные частоты инвертора равны:

- для двигателей с 2 парами полюсов – 40 Гц;
- для двигателей с 3 парами полюсов – 60 Гц.

Вопрос выбора варианта является противоречивым: с увеличением числа пар полюсов затраты на двигатель возрастают, но с увеличением частоты они уменьшаются. Для определения какой из этих факторов более существенен – требуются специальные исследования. При выборе варианта следует учитывать также изменение потерь в инверторе и изменение параметров входного фильтра.

Учитывая, что при более высокой частоте снижаются требования к параметрам входного фильтра, авторами принят вариант с номинальной частотой инвертора 60 Гц и асинхронным двигателем с 3 парами полюсов.

Основные номинальные параметры часового режима трехфазного асинхронного короткозамкнутого тягового двигателя для данного случая будут:

- мощность – 45 кВт;
- напряжение – 173 В (фазное 100 В);
- ток – 185 А;
- частота тока – 60 Гц (диапазон регулирования 1 – 100 Гц);
- частота вращения – 1180 об/мин (синхронная частота 1200 об/мин).

При выборе параметров ТАД необходимо конечно учитывать тот факт, что естественные механические характеристики асинхронных двигателей очень жесткие и непригодны для условий электрической тяги. Но современные способы и средства регулирования позволяют получить более совершенные тяговые характеристики.

Академиком М.П. Костенко установлен закон оптимального регулирования, в соответствии с которым получают наилучшие к.п.д. и коэффициент мощности [2]. Согласно этому закону соотношение между вращающим моментом, частотой и напряжением на двигателе:

$$\frac{u_H}{u} = \frac{f_H}{f} \sqrt{\frac{M}{M_H}}, \quad (3)$$

где  $u$  и  $u_H$  - действительное и номинальное значение напряжения, В;

$f$  и  $f_H$  - действительное и номинальное значение частоты, Гц;

$M$  и  $M_H$  - действительное и номинальное значение вращающего момента, Н·м.

Преобразуя уравнение (3) путем подстановки вместо моментов силу тяги, получим:

$$\frac{u_H}{u} = \frac{f_H}{f} \sqrt{\frac{F}{F_H}}, \quad (4)$$

или в относительных единицах

$$u_* = f_* \sqrt{F_*}. \quad (5)$$

Если в процессе регулирования задавать напряжение  $u$ , а тяговое усилие  $F$  будет определяться условиями движения, то частота  $f$  должна быть:

$$f_* = \frac{u_*}{\sqrt{F_*}}, \quad (6)$$

или в абсолютных величинах:

$$f = f_H \frac{u}{u_H} \sqrt{\frac{F_H}{F}}, \text{ Гц.} \quad (7)$$

В соответствии рассмотренным законам оптимального регулирования построены тяговые характеристики электровоза К16А (сплошная линия) при двух значениях напряжения питания (рис. 1). Как видно, получены мягкие характеристики, напоминающие характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения (пунктирные линии).

Таблица 1. Сравнительные характеристики электровозов К14 и К16А

Параметры	К14	К16А
Масса, т	14	16
<u>Параметры часового режима:</u>		
Сила тяги, кН	24,5	27,4
Скорость электровоза, м/с (км/час)	3,56 (12,8)	3,18 (11,46)
Мощность двигателей, кВт	2x45 пост. Тока	2x45 перем. Тока
Частота вращения, об/мин	1320	1180 (60 Гц)
Напряжение двигателей, В	250 (пост)	173 (переем) (100 В фазное)
Ток двигателя, А	204 (пост)	185 (переем)
Ток сети, А	204x2	210x2
Максимальная сила тяги, кН ( $\psi = 0,25$ )	35	40
Максимальная скорость, м/с (км/час)	Не ограничена	5,3 (19,2) (100 Гц)

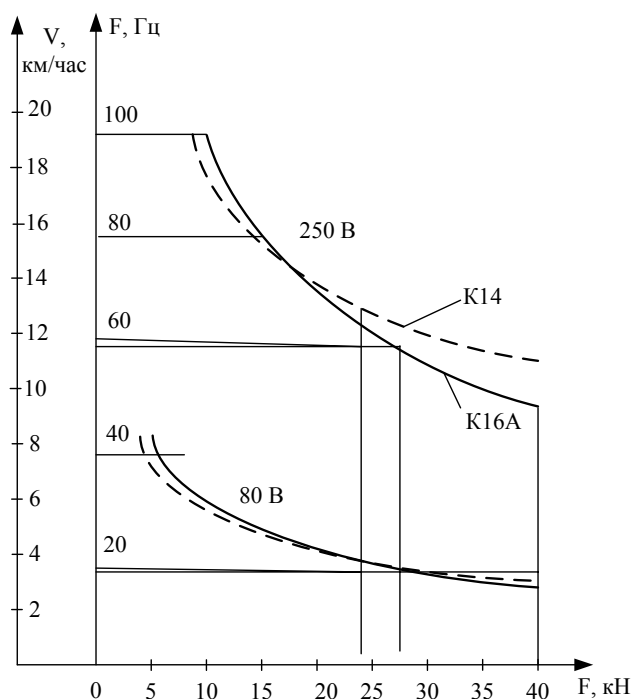


Рисунок 1 – Тяговые характеристики электровозов К14 и К16А при напряжениях питания 250 и 80 В ( $\Psi=0,25$ )

Как видим, формы тяговых характеристик обоих электровозов (предлагаемого К16А и существующего К14) с различными типами двигателей оказались очень близки.

В предлагаемом варианте ТАД достигаются требуемые «мягкие» виды тяговых характеристик. Последние, как известно, в условиях электрической тяги по сравнению с жесткими характеристиками имеют ряд преимуществ: более равномерное распределение нагрузок между тяговыми двигателями, меньше влияние изменений условий движения и изменений напряжения в контактной сети, а также меньше мощность, потребляемая из сети [2].

Одним из достоинств асинхронного электропривода является ограничение скорости, превращающих допустимые в «разносные», что характерно для двигателей постоянного тока последовательного возбуждения при малых нагрузках или срезании шпонки в передаче [3]. При необходимости в данном виде ТЭТК может быть предусмотрено также ограничение скорости по условию допустимого тормозного пути.

При построении системы автоматического управления предусматривается также ограничение максимальных токов и моментов, что значительно повышает надежность электрических и механических систем электровоза.

**Выводы.** 1. Применение тяговых электротехнических комплексов на базе асинхронных двигателей позволяют в 4-5 раз повысить надежность всего комплекса баз увеличения дополнительных на это затрат;

2. Тяговое усилие 2-хосного электровоза при применении ТЭТК на базе асинхронных тяговых двигателей при сохранении их мощности увеличится на 20% за счет увеличения массы и понижения скорости движения электросостава;

3. Применение закона оптимального регулирования электротехническим комплексом на базе ТАД позволит получить мягкие тяговые характеристики электровоза ожидаемого вида;

4. За счет увеличения массы электровоза и планового бесступенчатого регулирования частоты вращения ТАД производительность электровоза увеличится на 20 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы управления шахтным электровозным транспортом /О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, Н.И. Шулин, П.К. Саворский / - К.: Техніка, 1985, - 198 с.
2. Осипов С.И. Основы электрической и тепловой тяги. – М.: Транспорт, 1985, - 408 с.
3. Ющенко А.И., Гудалов В.П. Справочник машиниста рудничного локомотива. М.: Недра, 1981, -200 с.