

*А.Я. Рыбалко, В.И. Панченко, И.Б. Кольцов*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ТЯГОВОГО ПРИВОДА РУДНИЧНЫХ  
БЕСКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

Семинар № 18

Эффективность применения шахтного подземного транспорта в значительной мере обуславливается надежной работой тягового привода электровозов. Электромеханические характеристики двигателей являются исходными при расчете технологических режимов движения и области использования электровозов. К основным внешним факторам, влияющим на надежность работы тягового привода электровоза, относят [2, 3]: стабильность получения электрической энергии в энергоприемник из тяговой сети, время движения в цикле (рейсе), диапазон регулирования машинистом скорости движения, сцепной вес состава и др. В процессе эксплуатации указанные факторы изменяются в широком диапазоне и для предупреждения выхода из строя тяговых двигателей необходимо через косвенные оценки периодически контролировать их взаимосвязь с характеристиками двигателей. На этой основе проанализированы пути повышения эффективности работы тягового привода бесконтактного электровоза.

Пригодность для эксплуатации тяговых двигателей электровоза обуславливается их механической прочностью, коммутационной стойкостью и степенью нагрева. Первый фактор связан, в основном, с конструктивными особенностями двигателя, а последние два фактора зависят от конкретных условий и особенностей работы тягового привода электровоза.

Эксплуатационная пригодность двигателя электровоза в конкретных условиях проверяется *по нагреву*. Тяговый двигатель электровоза допускает значительные перегрузки. Размер перегрузок связан с их длительностью и его ограничивают по этому показателю. Наиболее точны методы проверки тяговых двигателей по нагреву с использованием графических построений зависимостей изменения во времени

температуры двигателя в условиях его фактической работы (или по косвенной оценке изменения потребляемого тока в функции времени). Эти методы сложны в применении и их используют, главным образом, в случаях приближения к условиям работы магистрального железнодорожного (когда электровоз непрерывно находится в движении с предельным по весовым нормам составом и когда время стоянок на конечных и промежуточных пунктах, по сравнению со временем движения, имеет сравнительно малое значение).

В подземных горных выработках время движения электровоза с составом соизмеримо со временем простоев на погрузке и разгрузке.

В этом случае наиболее удобным для использования является менее сложный метод - проверка нагрева двигателей по эффективному току (менее точный). Тяговый двигатель считается соответствующим для работы в данных условиях, если соблюдается соотношение

$$I_{\text{дл}} \geq \frac{I_{\text{эф}} k_3}{k_6},$$

где  $I_{\text{дл}}$  - ток, соответствующий длительному режиму работы двигателя;  $I_{\text{эф}}$  - эффективный ток двигателя в рассматриваемом цикле работы;  $k_3$  - коэффициент запаса, который для тяговых двигателей не менее 1,15;  $k_6$  - коэффициент, учитывающий потери энергии в электрическом контуре электровоза В14.

Были проведены исследования условий работы тягового привода бесконтактного электровоза В14 при различных технологических режимах движения в реальных условиях шахты [1]. Эффективный ток определялся за время одного технологического цикла (рейс):

$$I_{эф} = \sqrt{\frac{I_i^2 \cdot \Delta t_j + I_{i+1}^2 \cdot \Delta t_{j+1} + I_{i+n}^2 \cdot \Delta t_{j+n}}{T_u}}$$

где  $I_i$  – средний ток на  $i$ -ом выделенном участке движения;  $\Delta t_j$  – отрезок времени движения по  $i$ -му участку;  $T_u = \Delta t_{ep} + \Delta t_n + \Delta t_m + \Delta t_{ocm}$  – длительность одного технологического цикла;  $\Delta t_{ep}$  – время движения с груженым составом;  $\Delta t_n$  – время движения с порожним составом;  $\Delta t_m$  – время на маневровые работы;  $\Delta t_{ocm}$  – время останова.

Оценка результатов исследования по методу эффективного тока представлена на рисунке.

Она показывает, что двигатели работают в приемлемом режиме. Но на практике тяговые двигатели шахтных электровозов часто выходят из строя. В основном, наиболее вероятные причины - повреждения коллектора и обмотки якоря. Объясняется это недостаточным быстродействием и надежностью защиты. Для эффективной защиты тяговых двигателей от такого рода повреждений необходимо дополнительно к токовой максимальной защите, осуществлять контроль температуры якоря двигателя, предусмотреть сигнализацию о перегреве и, возможно, блокировку включения питания.

Выполнить непосредственно измерение температуры обмотки якоря тяговых двигателей в эксплуатационных условиях сложно: размещены в малодоступном месте под кузовом электровоза; обмотка якоря вращается, а установка дополнительных токосъемных устройств исключена.

К косвенной оценке относится определение температуры обмотки якоря по температуре обмотки дополнительных полюсов [4, 5]. Используя предварительно снятую зависимость превышения температуры обмотки якоря от превышения температуры обмотки дополнительных полюсов, можно непрерывно контролировать нагрев обмотки якоря во время работы тягового привода. Это приемлемо, так как по обмоткам якоря и дополнительных полюсов протекает тот же по значению ток, охлаждаются обе обмотки одним потоком воздуха.

Для измерения среднего превышения температуры обмотки в качестве датчика температуры используется сама обмотка дополнительных полюсов. Электрическое сопротивление обмотки изменяется с температурой, и

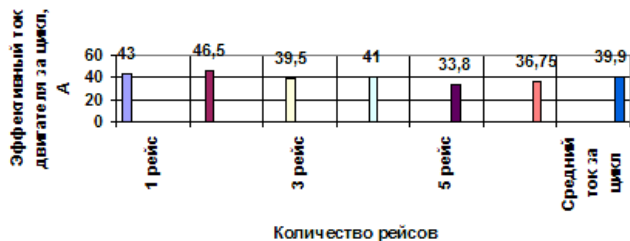
это изменение фиксируется с помощью логометрических схем измерения. Однако повышенная аварийность тяговых двигателей в значительной степени обусловлена наличием мест повышенного нагрева отдельных частей обмотки при средней температуре, не превышающей нормы. Поэтому необходимо контролировать не только среднее превышение температуры обмотки, но и наибольшее. По экспериментальным данным отношение наибольших превышений температуры обмотки якоря и дополнительных полюсов в различных режимах для тяговых двигателей близко к единице.

Тяговые двигатели относятся к числу наиболее напряженных по коммутации машин постоянного тока. Известно, что интенсивность износа коллекторов тяговых двигателей возрастает в той же степени, в какой ухудшается коммутация. С целью уменьшения износа коллекторов и недопущения кругового огня необходимо периодически контролировать уровень искрения между коллектором и щетками и соответственно настраивать коммутацию. Для контроля процесса коммутации могут быть использованы экспериментально полученные в [6] электрические характеристики, сопровождающие коммутацию в тяговых электродвигателях: высокочастотное переменное напряжение, измеряемое на щетках противоположной полярности, которое появляется от высокочастотных изменений магнитного потока по оси главных полюсов вызванного нарушением коммутации; имеется пропорциональность между уровнем искрения щеток и амплитудами высокочастотного напряжения; наибольшие амплитуды высокочастотного напряжения имеют частоты 0,8-8 кГц.

Ограничения по условиям коммутации и механической прочности коллектора могут быть сняты при выполнении тягового двигателя электровоза асинхронным. Показано в работе [6], что это позволяет в тех же габаритах увеличить расчетный вращающий момент на 34 % по сравнению с двигателем постоянного тока и вентильным.

При питании асинхронного двигателя от тиристорного преобразователя частоты асинхронный тяговый двигатель имеет следующие преимущества [7]:

- вследствие большой жесткости механической характеристики практически на пределе сцепления может быть реализовано развиваемое двигателем тяговое усилие;



- номинальная мощность двигателя может быть использована во всем диапазоне скоростей;

- при одинаковой мощности и других равных параметрах асинхронный тяговый двигатель имеет меньшую массу, чем коллекторный на 10-15 %;

- уменьшается общий расход меди на двигатель в 2-2,5 раза;

- снижается трудоемкость изготовления тяговых двигателей примерно на 20% и обслуживание их в эксплуатации из-за отсутствия коллектора и щеточного узла - на 10-15 %.

Применение асинхронных двигателей позволяет в наибольшей степени реализовать их преимущества при использовании двигателей дисковой конструкции [8]. Значительный интерес для электрических машин дисковой конструкции представляет сосредоточенная обмотка. Такая обмотка, предложенная в [9], несмотря на то, что она состоит из отдельных сосредоточенных катушек, обеспечивает вполне удовлетворительный гармонический состав ее м.д.с. Обмоточный коэффициент для основной гармоники м.д.с. составил 0,902. В отличие от распределенной обмотки, сосредоточенная проще в изготовлении, практически не имеет лобовых частей, обеспечивает повышенную живучесть тягового двигателя. При пробое корпусной или межвитковой изоляции потребуется замена одной катушки статора при весьма простом демонтаже разъемного корпуса. У асинхронного двигателя обычной конструкции пробой изоляции обмотки статора требует капитального ремонта, стоимость которого близка к стоимости нового статора.

При дисковой конструкции ротора легко обеспечить интенсивный теплоотвод, продувая воздух через промежутки между обмотками.

К проверке тягового двигателя на нагрев по методу эффективного тока (допустимый ток двигателя типа ДРТ-23,5  $I_{\text{дл}} = 60 \text{ A}$ )

Корпусная изоляция может быть наложена на зубцы с сохранением на сторонах катушек, обращенных внутрь пазов, только витковой изоляции, что улучшит теплоотвод от обмотки и снизит стоимость двигателя.

При применении дискового двигателя как тягового в электровозе для обеспечения необходимого значения клиренса его следует располагать горизонтально над осью колесной пары. Связь с колесом осуществлять с помощью одноступенчатого конического редуктора. При таком расположении дисковых двигателей будет наблюдаться гироскопический эффект, повышающий боковую устойчивость электровоза.

При питании тяговой сети напряжением повышенной частоты (5 кГц) и асинхронном тяговом двигателе дисковой конструкции можно исключить одно звено преобразования энергии (из переменного в постоянный ток) и использовать непосредственный преобразователь частоты. Как известно, в непосредственном преобразователе частоты частота регулируется только вниз от номинальной, что подходит к существующим условиям системы электропитания бесконтактных электровозов.

Учитывая перечисленные особенности и достоинства асинхронного дискового электродвигателя и результаты обзора опубликованных экспериментальных данных, его применение в качестве тягового для рудничных электровозов весьма перспективно.

Таким образом, наиболее ответственным и уязвимым звеном рудничных электровозов являются тяговые двигатели. Предложено выполнять мероприятия, повышающие эффективность и надежность работы двигателей, а именно: контроль средней и максимальной температуры нагрева обмотки якоря; контроль коммутации. Показано, что перспективным для разработки является асинхронный двигатель с дисковым ротором и сосредоточенной обмоткой статора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбалко А.Я., Кольцов И.Б. Исследование условий эксплуатации тяговых двигателей бесконтактных электро-

возов на шахте «Лутугинская» в ГХК «Луганскуголь» // Горн. Электромеханика и автоматика: Межвед. Науч.-техн.

Сб. – 1998, вып.1(60). – С. 68 – 71.

2. Бунько В.А., Волотковский С.А., Пивняк Г.Г. Повышение безопасности рудничной электровозной откатки. – М.: Недра, 1978. - 200 с.

3. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, И.П. Ремизов, С.А. Саратикянц и др. Под ред. Г.Г. Пивняка. - М.: Недра, 1990. - 245 с.

4. Богаенко И.Н. Контроль температуры электрических машин, – К.: "Техника", 1975. 176 с.

5. Температурная защита асинхронных электродвигателей / И.Н. Богаенко, Ю.В.Сердюк, М.А.Шатунов.- К.: Техника, 1987. -94 с.

6. Курбасов А.С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей. – М.: Транспорт, 1977. 253 с.

7. Проблемы создания электровозов с асинхронными тяговыми двигателями. Жулев О.Н., Иванченко Н.К., Курочка А.Н. и др. Изв.вузов, Электромеханика, № 11, 1983, с. 19-29.

8. Игнатов В.А., Вильданов К.Я. Торцевые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления.- М.: Энергоатомиздат, 1988.

9. Патент Украины № 4695 от 15.09.94 г.

### **Коротко об авторах**

*Рыбалко А.Я., Панченко В.И., Кольцов И.Б.* – Национальный горный университет, Украина.



© Ю.Т. Разумный, А.В. Рухлов,

2004

УДК 622.272:621.311

*Ю.Т. Разумный, А.В. Рухлов*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВАРИЙНОЙ БРОНИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Семинар № 18

**В**заимоотношения между энергоснабжающей организацией и потребителем электрической энергии определяются "Правилами пользования электрической энергией" [1], в которых оговариваются права и ответственность сторон, условия прекращения электроснабжения, излагается механизм расчетов за потребленную энергию и порядок составления "Договора про поставку электрической энергии". Угольная шахта выступает как весьма энергоемкий потребитель (максимальная получасовая нагрузка достигает 15 МВт и выше) с наличием электроприемников I категории по надежности электроснабжения и обязательным покрытием нагрузок ее аварийной (АБ) и технологической (ТБ) брони электроснабжения. Последнее обстоятельство обу-

словлено спецификой угольного предприятия, которая определяется условиями подземной добычи полезного ископаемого и горно-геологическими особенностями. При этом условия подземной добычи определяют то, что рабочие в течение всей смены находятся под землей (глубина шахт достигает 1000 м), в обводненной и загазированной метаном среде и, как правило, оказываются в замкнутом пространстве, лишаясь возможности выхода на поверхность при отключении электроэнергии. При длительном же перерыве в электроснабжении и отрицательных температурах появляется непосредственная угроза для жизни людей, т.к. происходит обмерзание воздухоподводящего ствола. Горно-геологические особенности определяют тот факт, что отключения