

УДК: 629.113.066

**ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАРЬЕРНОГО  
САМОСВАЛА БЕЛАЗ**

**DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION  
OF THE ELECTRIC TRACTION DRIVE OF THE MINING  
DUMP TRUCK**

**Гульков Г. И.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., **Микулёнок А. М.**<sup>2</sup>, магистр,

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>ОАО «БЕЛАЗ» – УК холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»

G. Gulkov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

A. Mikulionok, Master's Degree,

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,

<sup>2</sup>OJSC «BELAZ» – MC «BELAZ-HOLDING»

*Разработана математическая модель изменения температуры подшипника тягового генератора для анализа текущего состояния.*

*A mathematical model of the temperature change of the traction generator bearing has been developed to analyze the current state.*

*Ключевые слова: диагностика, контроль состояния, прогнозирование работоспособности машин.*

*Keywords: diagnostics, condition monitoring, prediction of machine operability.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основным видом технологического транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом являются карьерные самосвалы. На них перевозится около 80 % добываемой горной массы.

Для увеличения производительности происходит постоянное увеличение мощности и грузоподъемности карьерного автотранспорта. На самосвалах грузоподъемностью 90 тонн и выше экономически выгодно устанавливать электромеханическую трансмиссию. В настоящее время применяются электромеханические трансмиссии переменного постоянного и переменного переменного тока, обладающие высоким ресурсом, небольшими расходами на обслуживание,

высоким КПД, гибкостью в управлении и диагностике, бесступенчатой механической характеристикой, в режиме торможения отсутствует необходимость в утилизации энергии через трение, возможность рекуперации тормозной энергии.

## ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Применение литий-ионных батарей в качестве накопителей энергии позволяет разрабатывать новые виды карьерной техники.

1. Самосвал с гибридной электромеханической трансмиссией с дизельным двигателем уменьшенной мощности (до 50 %) и блоком аккумуляторных батарей. В тяговом режиме самосвал получает энергию от ДВС и батарей, в режиме торможения (спуск в карьер) производится заряд батарей за счёт рекуперации тормозной энергии. Во время ожидания погрузки, при самой погрузке и выгрузке добываемой горной массы происходит заряд батареи от свободной мощности ДВС.

2. Самосвал дизель-троллейвоз. Маневрирование на отвале, в зоне погрузки и при спуске осуществляется при питании трансмиссии от мощности, генерируемой ДВС. При подъёме гружёный самосвал получает энергию от контактной сети.

3. Самосвал электровоз или электросамосвал, получает энергию от аккумуляторных батарей. В режиме торможения рекуперировывает энергию. Заряд батарей осуществляется быстрой зарядкой на высокой мощности для уменьшения времени заряда.

4. Самосвал электро-троллейвоз. Маневрирование на отвале и в зоне погрузки осуществляется при питании трансмиссии от аккумуляторных батарей, при спуске самосвала в режиме торможения производится рекуперация энергии в аккумуляторные батареи, подъём самосвала с грузом осуществляется за счёт электропитания от троллейной линии. При необходимости заряд аккумуляторной батареи может производиться от троллейной линии во время подъёма, без снижения скорости самосвала.

Современной тенденцией по увеличению эффективности автомобильной техники является переход от планового обслуживания к обслуживанию по состоянию. Решение данной проблемы связано с необходимостью создания и внедрения на автономном электромобиле системы диагностики, позволяющей оценить текущее состоя-

ние тягового электропривода, его остаточный ресурс и тем самым обеспечить техническое обслуживание и замену неисправных узлов, соответствующее фактическому состоянию оборудования, а также осуществить прогноз будущего состояния тягового электропривода и связанных с ним механизмов.

В настоящее время для диагностики технического состояния электромеханического оборудования используются следующие основные методы анализа: вибрационный, акустических колебаний, магнитного поля в зазоре электрических машин, температуры, состояния изоляции, электрических переменных электрической машины. Применение первых трёх требует непосредственного встраивания инструментов диагностики в электрооборудование и обеспечения их функционирования в тяжёлых условиях эксплуатации движущегося транспортного средства, что экономически не эффективно и технически сложно. Температурные методы эффективны для диагностики состояния подшипниковых узлов электрических машин и механизмов.

В последнее время для диагностики электромеханического оборудования получают применение методы, основанные на анализе спектра электрических переменных машины [1]. Несомненным достоинством данных методов является возможность использования датчиков тока, напряжения, мощности, установленных в шкафу электрооборудования самосвала и используемых в настоящее время для контроля и сигнализации о наступлении аварийного режима и в необходимых ситуациях для отключения электрооборудования. Помимо этого, для управления тяговым электроприводом используется современная микропроцессорная система, что позволяет без особых затруднений осуществить расширение микропроцессорных средств и использовать их для сбора, хранения и обработки оперативных данных о техническом состоянии элементов тягового электропривода.

В процессе диагностики необходимо установить исправное и неисправное состояние элементов ТЭП. В следствие этого, одной из важнейших задач создания системы диагностики ТЭП является разработка математических моделей эталонного и отличного от него состояния элементов ТЭП. Основой для формирования эталонных математических моделей являются характеристики элементов ТЭП, полученные в ходе приёмочных испытаний

на предприятии-изготовителе, а также характеристики элементов ТЭП, полученные при пусконаладочных испытаниях самосвала БЕЛАЗ в ходе обкатки.

Используя указанные характеристики и известные математические соотношения для каждого из элементов ТЭП карьерного самосвала получены эталонные математические модели. Переход элементов ТЭП в отличное от эталонного новое состояние происходит в результате возникающих в них дефектов. Для создания математических моделей, учитывающих возникающие дефекты, требуется сбор и анализ эксплуатационных данных.

Тяговый электропривод карьерного самосвала БЕЛАЗ-75137 имеет систему измерения и контроля температуры обмоток и подшипников тяговых машин. Система управления получает данные о токах, напряжениях, частотах вращения генератора и тяговых двигателей. Эти данные использовались для построения тепловой математической подшипника тягового генератора.

Для создания модели были взяты данные эксплуатации карьерного самосвала БЕЛАЗ-75137 в Республике Индия, город Гевра. Запись данных проводилась три температуры окружающего воздуха + 36 °С, разогрев генератора производился методом нагружения на тормозные резисторы, скорость движения самосвала 0 км/ч, Подводимая мощность к генератору производилась ступенчато от 0 до 1080 кВт, Первые 15 минут эксперимента на генератор не подавалась нагрузка, подшипник генератора разогревался за счёт механических потерь. Измерение температур и других параметров производилась датчиками, встроенными в тяговый электропривод и записывались на ноутбук, подключенный в CAN линию тягового электропривода. Записанные данные были экспортированы в файл с расширением mat для обработки в программе Matlab Simulink.

В модели для расчёта температуры подшипника используются мощность электрических потерь в генераторе рассчитанная из мгновенной мощности и КПД генератора, частота вращения ротора генератора и температура охлаждающего воздуха. В модели учитывается передача тепла от статора к подшипнику по подшипниковому щиту, разогрев подшипника за счёт механических потерь в самом подшипнике, охлаждение подшипника вентилятором и влияние температуры окружающей среды.

На рисунке 1 приведён график измеренной температуры подшипника (чёрный) и график температур, полученной из математической модели. Отличие данных полученных из математической модели от экспериментальных не превышает 5 %.

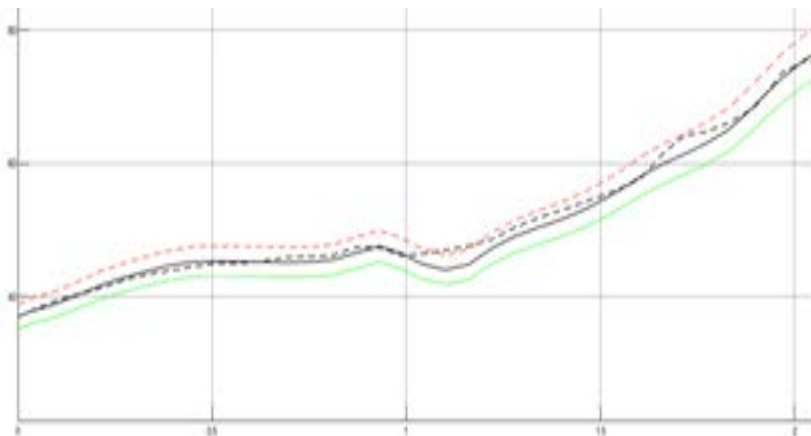


Рисунок 1 – Графики изменения температуры подшипника тягового генератора

На графике черным цветом сплошной линией изображена экспериментальная кривая, пунктирной – полученная в результате моделирования. Верхний пунктирный график +5 % от измеренной температуры, нижний серый –5 % от измеренной температуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трёхфазного асинхронного двигателя: ГОСТ ISO 20958-2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 22 с.

Представлено 14.04.2022