

**ОЦІНКА ТЕРМІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ У СКЛАДІ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ
ПРИ РОБОТІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ТЕПЛООБМІНУ**

Електромеханічні комплекси (ЕМК) рудникових електровозів потребують свого вдосконалення шляхом модернізації основних своїх елементів – електричних двигунів, серед яких одним з найперспективніших типів є синхронні двигуни з постійними магнітами (СДПМ). Термічний стан цілком закритих СДПМ в електромеханічних комплексах шахтних електровозів, де обмежений теплообмін ускладнює відведення тепла є особливо актуальною проблемою у зв'язку зі зростаючою необхідністю підвищення ефективності та надійності тягових приводів. Сучасні СДПМ демонструють високий ККД (~90 %) і зменшені габарити, проте навіть незначні втрати у їх обмотках і магнітах при відсутності достатнього охолодження можуть призводити до небезпечного перегріву. Зважаючи на особливості шахтних умов та вимоги до конструкцій двигунів із закритим корпусом, у яких тепловіддача природною конвекцією має малу ефективність, завдання контролю температури двигуна стає критично важливим. За даними спостережень, температура нагріву обмоток традиційних тягових двигунів у шахті може перевищувати допустимі межі, що призводить до зниження ресурсу і загрожує надійності роботи [1].

На практиці застосовуються різні комбінації методів для оцінки теплового режиму СДПМ: аналітичні розрахунки (в тому числі по спрощеним емпіричним формулам), еквівалентні теплові схеми (обмоток, статорного сердечника, магнітів і корпусу), чисельне моделювання методом скінчених елементів, а також лабораторні та стендові випробування з реальними двигунами. Експериментально тепловий стан визначають на стенді, де двигун випробовують при режимах, близьких до номінальних, і після стабілізації температури вимірюють температуру обмоток. Її порівнюють із допустимими значеннями в технічній документації, і встановлена температура не повинна перевищувати граничних меж. Типовими точками для вимірювання є: кінцеві частини обмоток статора (термопари або термопластини), корпус двигуна (поверхневі датчики) і корпус підшипників (іноді вбудовані контактні датчики). Для додаткової діагностики використовують тепловізори та ПЗ для обробки термограм, що дозволяє виявити локальні «гарячі точки» [2].

Головні джерела тепловиділення в СДПМ – це втрати в обмотках (омічні I^2R), втрати в замкненому роторі та сталевому сердечнику (гістерезисні та вихрові), а також втрати в постійних магнітах (вихрові втрати в корпусі магнітів та в магнітопроводі). Слабким місцем є роторні магніти з неодимовими сплавами: їх магнітний потік різко падає при перевищенні температурного класу (серія Н – ~120 °С, SH – ~150 °С). У закритому корпусі тепло передається лише через статорну стінку в навколишнє середовище, відтак ефективність охолодження суттєво зменшується. Додатково підвищують внутрішню температуру двигуна специфічні фактори такі як висока температура навколишнього середовища, забруднення каналів охолодження пилом, відсутність активного вентилявання та тісне розміщення в трансмісійному відсіку. Все це збільшує опір теплообміну і змушує ретельно контролювати тепловий стан двигуна [1,2].

Вирішення вищенаведених проблем полягає в впровадженні різноманітних систем безперервного моніторингу і захисту, зокрема шляхом встановлення датчиків температури обмоток і підшипників, за допомогою введення періодичних обстежень обладнання тепловізійною камерою, а також при встановленні додаткових активних засобів охолодження (вентиляторів чи радіаторів з рідинним контуром) з дотриманням номінальних режимів і забезпеченням чистоти відсіку охолодження та своєчасній заміні мастила підшипників.

Список літератури

1. Matyushenko A. V. Analysis of thermal state of traction brushless permanent magnet motor for mine electric locomotive. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2016. No. 6. P. 15–18. URL: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2016.6.03>.
2. Thermal Analysis of a Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicles / M. A. Fakhfakh et al. *Journal of Asian Electric Vehicles*. 2008. Vol. 6, no. 2. P. 1145–1151. URL: <https://doi.org/10.4130/jaev.6.1145>.