

Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – №4. – С. 10–19. DOI: 10.35776/VST.2025.04.02.

5. Пропольский, Д. Э. Полифункциональный модифицированный уголь для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2020. – №. 4. – С. 103-111.

УДК

Н.А. Степанова, О.И. Киселева, М.А. Боеv
ГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОМПАУНДОВ

Аннотация. Предложено усовершенствование конструкции пазовой изоляции посредством внедрения композиционного материала «Термомат», пропитаного электроизоляционным компаундом. Проведены сравнительные испытания четырех типов компаундов: КП-303Н, Элласт-155 ИД, Элласт-180 ИД и ПК-11. Оценивались термостойкость, вязкость, скорость отверждения, электрические изоляционные свойства и цементирующая способность. Оптимальным признан компаунд КП-303Н благодаря превосходящей термоустойчивости, стабильности механических свойств при высоких температурах, отличным электроизоляционным характеристикам и приемлемым временем отверждения.

N.A. Stepanova, O.I. Kiseleva, M.A. Boev
National Research University «MPEI»
Moscow, Russia

PRODUCTION TECHNOLOGY AND INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATION COMPOUNDS

Abstract. It is proposed to improve the design of the grooved insulation by introducing a composite material "Thermomat" impregnated with an insulating compound. Comparative tests of four types of compounds were carried out: KP-303N, Elplast-155 ID, Elplast-180 ID and PK-11. Heat resistance, viscosity, curing rate, electrical insulation properties, and cementing ability were evaluated. KP-303N compound is considered optimal due to its superior thermal stability, stability of mechanical properties at high temperatures, excellent electrical insulation characteristics and acceptable curing time.

В настоящее время в мире все больший интерес привлекают высокоскоростные электрические машины, что связано с их меньшими массогабаритными параметрами относительно типичных электрических машин (со скоростью вращения до 1500 об/мин) той же мощности. Так же такие машины могут применяться в системах газовых микротурбогенераторов вместо системы «турбина-редуктор-генератор», что увеличит надежность системы, снизит затраты на техническое обслуживание и сократит время регламентных работ, а также отсутствие редуктора с масляной смазкой снизит пожароопасность системы.

Высокоскоростные машины используются в теплоэлектростанциях, электрическом транспорте, авиации, станкостроении, подъемных и крановых системах. Они повышают надежность, но в системах с турбинами редукторы увеличивают скорость вращения, что снижает надежность и вызывает шум. Наличие масла также уменьшает надежность, а обслуживание редуктора требуется дважды в год, увеличивая время простоя. Все эти проблемы может частично решить замена системы «турбина-редуктор-генератор» на систему «турбина-высокоскоростная машина», но при этом значительным недостатком высокоскоростных машин являются высокие магнитные, механические и электрические потери, которые выделяются в виде тепла и требуют оптимальной системы охлаждения для номинальной работы машины.

Перегрев материалов электрической машины может негативно сказаться на механических или магнитных свойствах машины. При перегреве изоляции ухудшаются ее механические свойства, может произойти частичная потеря диэлектрических свойств, а также нагрев может привести к преждевременному износу и старению электрической изоляции, что в последствии может привести к аварии, при этом высокие температуры могут привести к размагничиванию постоянных магнитов в синхронных машинах с возбуждением от постоянных магнитов.

Решением проблем связанных с охлаждением могут быть: увеличение габаритных параметров электрической машины, что значительно скажется на себестоимости машины; улучшение системы охлаждения за счет применения новых материалов для более эффективного уплотнения пазовой изоляции и т.д..

На сегодняшний день выделяются два главных направления в технологии производства изоляции. Первая технология включает в себя использование пропитанных лент, которые затем подвергаются прессовке и термообработке в пресс-форме или гидростатической

прессовке с применением битума в котле. Вторая технология основывается на применении сухих слюдосодержащих лент, что также играет важную роль в создании изоляционных материалов.

Микалентная компаундированная изоляция имеет малую механическую прочность, особенно при рабочих температурах. Битумное связующее, применяемое в МКИ, является термопластичным веществом и размягчается при нагревании, изоляция всдухает, и в ней образуются газовые включения. Поэтому при разработке новой изоляции термопластичный битум был заменен термореактивными полиэфирными и эпоксидными составами. В настоящее время все крупные зарубежные фирмы изготавливают генераторы с изоляцией на термореактивных связующих.

Основной проблемой пазовой части обмоток является ее подверженность разрушению под воздействием различных факторов, таких как повышенная влажность, высокие температуры, вибрации, электрические разряды, которые могут привести к аварийной ситуации, например, короткому замыканию.

Одним из решений снижения влияния высоких температур может быть улучшение системы охлаждения, например, замена принудительного воздушного охлаждения на жидкостное, но при этом потребуется дополнительное оборудование.

Еще одним альтернативным вариантом эффективного охлаждения обмоток является уплотнение обмотки в пазу и улучшение теплопередачи за счет большей площади контакта проводника и охлаждаемой поверхности, что также является актуальным и для жидкостного охлаждения.

Как показано на рисунке 1, термомат укладывается в паз не только вдоль стенок паза, но еще и между слоями обмотки и под пазовый клин, что обеспечивает еще более эффективное теплоотведение.

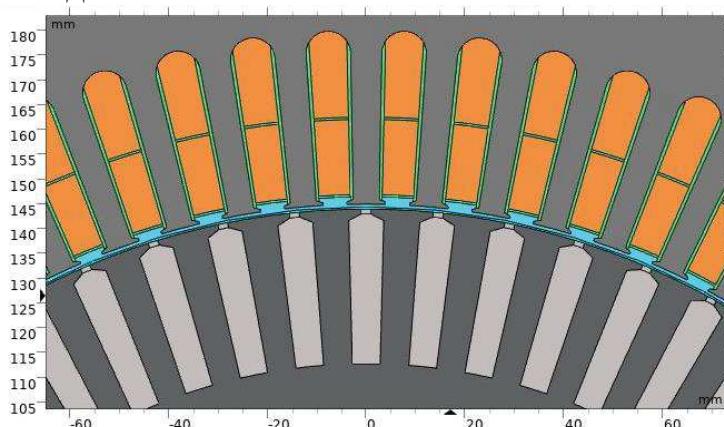


Рис. 1 – Конструкция АД с короткозамкнутым ротором со встроенным в пазы термоматом

На рисунке 2 представлено распределение температуры в магнитной системе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с расположенным в пазах термоматом.

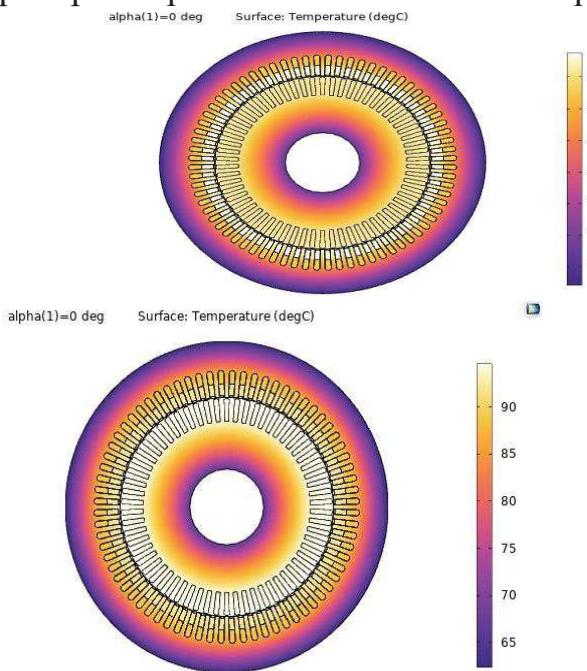


Рис. 2 – Распределение температуры в магнитной системе АД

По результату расчета удалось снизить температуру обмотки статора АД на 7°C, а обмотки статора синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов – на 5 °C, что является удовлетворительным.

Исследование показало, что применение термомата эффективно снижает максимальную рабочую температуру обмотки статора, несмотря на ограниченность величины такого снижения. Полученные результаты свидетельствуют о перспективах улучшения электрических машин за счёт повышения плотности тока в обмотке без изменений геометрических размеров, что повысит выходную механическую мощность на валу ротора. Альтернативным решением представляется уменьшение габаритов самого электромеханического агрегата путём сокращения длины вдоль оси вращения или уменьшения внешнего диаметра статорной части. Дополнительным преимуществом термомата является наличие отличных диэлектрических качеств, способствующих улучшению общих технических характеристик электрооборудования.