

УДК 621.313

**РАБОТА НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВОПРОСОВ  
СТАРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

*Прус В.В., к.т.н., доц.*

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского  
39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20*

*E-mail: [prus@polytech.poltava.ua](mailto:prus@polytech.poltava.ua)*

У статті охарактеризовано роботу наукового напрямку з дослідження питань старіння електричних машин у період 1998-2008 р.р., наведені отримані за цей період часу наукові результати, відбито напрямки робіт окремих дослідників, а також задачі та шляхи подальшого розвитку

**Ключові слова:** електрична машина, старіння, надійність, перепроектування.

In article work of a scientific direction on research of questions of ageing of electric machines in 1998-2008 of is characterised, scientific results are shown received for this period of time, directions of works of separate researchers, also problems and ways of the further development are reflected.

**Key words:** electric machines, ageing, reliability, redesign.

Научное направление существует с 1998 г., с момента получения первых результатов исследований сердечников статоров асинхронных двигателей (АД), подтвердивших неравномерность изменения свойств их стали, возникающую в процессе ремонта.

После этого, при значительной помощи и поддержке проф. Д.И. Родькина было сформулировано первое направление исследований: «Диагностика электротехнической стали статоров и паспортизация асинхронных двигателей в процессе ремонта». Цель работы заключалась в разработке принципов построения систем диагностики свойств электротехнической стали (ЭТС) пакетов статоров, в научном обосновании мероприятий по повышению надежности отремонтированных АД, а также синтезе методик и технических средств для определения реальных паспортных данных, рабочих характеристик и допустимых эксплуатационных параметров АД на их основе. Работа была окончена в 2003 г. За это время были получены следующие научные результаты:

– впервые доказано, что в ходе ремонта происходит принудительное старение сердечников электрических машин;

– выяснена закономерности и уточнен механизм старения ЭТС сердечников статоров АД во время капитального ремонта, который заключается в снижении в ней индукции насыщения и в росте потерь в стали вследствие усиления влияния вихревых токов через общее нарушение межлистовой изоляции пакетов в процессе отжига, а также по причине дополнительного возникновения значительного количества закороченных участков ЭТС в верхней части зубцов сердечника в результате его механических повреждений в ходе ремонта;

– обосновано применение, с целью определения реального состояния пакетов стали статоров АД, в местах наиболее поврежденной во время ремонта верхней части зубцовой зоны, нового способа ло-

кального тестирования, который позволяет исследовать ЭТС с учетом возможного ее насыщения в режимах, соответствующих рабочим режимам АД по интенсивности и направленности магнитного потока в зубцах статора, а также разработаны критерии диагностики, существенно повышающие достоверность указанного способа;

– обоснован характер изменения рабочих характеристик и эксплуатационных параметров отремонтированных двигателей, обусловленный изменением свойств электротехнической стали сердечников статоров;

– обоснована технология повышения надежности АД, прошедших стадию ремонта, которая заключается в перепроектировании обмоточных данных статоров с целью снижения в них общего уровня греющих потерь, и доказана эффективность этого мероприятия при допустимом количестве отжигів сердечника статора.

В практическом аспекте были разработаны новые устройства тестирования ЭТС пакетов статоров АД и развиты методики определения паспортных данных и допустимых эксплуатационных параметров АД, максимального превышения температуры обмотки и перепроектирования обмоточных данных в ходе ремонта. Разработан новый способ определения и аналитического выражения потерь в стали статора отремонтированных АД с учетом ее насыщения по результатам опыта холостого хода.

Использование полученных в работе результатов позволило разработать и внедрить на испытательном участке электрических машин цеха №5 предприятия АОЗТ «Электромашпромсервис» (г. Кривой Рог, 2002 г.) систему автоматизированного локального тестирования ЭТС пакетов статоров асинхронных двигателей. Результаты работы были также внедрены в учебный процесс в лаборатории систем автоматики Кременчугского государственного политехнического университета при подготовке инже-

нерных кадров по специальности 7.091401 «Системы управления и автоматики» в виде компьютеризованного лабораторного стенда по исследованию свойств стали сердечников статоров АД.

За 1998-2003 г.г. было опубликовано 26 научных статей в периодических изданиях, входящих в перечень ВАК Украины, получен 1 патент на изобретение. Результаты исследований были апробированы на 9 научных конференциях и в виде отдельных вопросов обсуждались на научно-технических семинарах кафедры систем автоматического управления и электропривода Кременчугского государственного политехнического университета, с 2002 г. имеющего официальный статус семинара НАН Украины при Институте электродинамики НАН Украины.

Анализ полученных результатов позволил сформировать новые направления исследований. В частности, незавершенными остались вопросы разработки автоматической системы локального тестирования, которая позволяла бы с заданной достоверностью определять состояние зубцовой зоны сердечников статоров.

В данном направлении с 2004 г. работает аспирантка кафедры систем автоматического управления и электропривода Сутормина А.А. Тема научной работы: «Быстродействующая система автоматической диагностики шихтованных сердечников сложной формы с улучшенными показателями достоверности». За время работы с ее участием опубликовано 8 научных статей в периодических изданиях, входящих в перечень ВАК Украины, оформлена 1 заявка на патент, на которую на данный момент получено положительное решение. Следует отметить, что 3 публикации, 1 из которых опубликована в зарубежном европейском издании, и заявка на патент подготовлены автором во время учебы на старших курсах университета. На сегодняшний день работу можно считать фактически завершенной. Заслуживают внимания следующие полученные научные результаты:

- теоретически обоснована и практически доказана эффективность использования при диагностике шихтованных пакетов локальным индукционным методом в качестве независимых диагностических параметров составляющих мгновенной мощности потерь в стали;

- обоснована возможность повышения чувствительности диагностических параметров при изменении напряжения и частоты питания индуктора системы локальной диагностики, на основе чего сформулирован функционал качества и разработана методика поиска максимального значения чувствительности;

- выявлена зависимость поведения диагностических параметров при изменении величины воздушного зазора между индуктором и исследуемой поверхностью шихтованного сердечника и подтверждено повышение чувствительности диагностических параметров и однозначности критериев диагностики при бесконтактном способе диагностики;

- разработаны математические модели измери-

тельных каналов, отражающие законы изменения погрешностей определения диагностических параметров, учитывающие их взаимовлияние и форму измеряемых сигналов, что дает возможность сформировать алгоритмы и разработать методику метрологической аттестации информационно-измерительной системы.

В практическом аспекте работы на сегодняшний день фактически завершено создание опытного образца автоматической системы локального тестирования.

С 2004г. в рамках направления выполняется научная работа по теме: «Послеремонтная паспортизация асинхронных двигателей с учетом состояния электротехнической стали». Работу выполняет ассистент кафедры систем автоматического управления и электропривода Колотило И.А. Исследования должны дать ответ на ряд важных незавершенных вопросов:

- влияние состояния стали сердечников статоров на вибрационные параметры и характеристики АД;

- учет свойств электротехнической стали пакетов статоров при расчетах электромагнитных параметров АД с помощью цепно-полевых методов;

- оценка влияния изменения степени насыщения электротехнической стали на составляющие мгновенной мощности;

- обоснование расчетных соотношений для выражения потерь в стали ремонтируемых АД;

- разработка и исследования моделей АД для расчета максимального превышения температуры обмотки статора с учетом неравномерности распределения свойств стали сердечника.

По результатам работы опубликовано 3 научных статьи, практически завершена физическая модель многофункциональной испытательной установки.

Тематика еще одной работы, выполняемой в рамках научного направления с 2004 г., связана с разработкой принципов учета и оценки энергопотребления и показателей качества электроэнергии с использованием составляющих мгновенной мощности, пригодных для определения энергопараметров и анализа энергопроцессов во внутренних сетях промышленных предприятий, а также в разработке и научном обосновании мероприятий по повышению качества электроэнергии путем компенсации влияния нелинейных потребителей с резкопеременным динамическим характером нагрузки, на основании чего могут быть получены методики и технические средства для учета, оценки и управления качеством электроэнергии с целью нормализации энергопотребления промышленных предприятий.

Над данной научной работой по теме: «Система учета и оценки показателей электроэнергии с использованием составляющих мгновенной мощности» работает ассистент кафедры систем автоматического управления и электропривода Никитина А.В. На данный момент по теме работы опубликовано 5 научных статей, из них 3 – в зарубежных изданиях, и получены следующие научные результаты:

– выяснены закономерности и уточнен механизм влияния на качество сетевого напряжения на стороне 0,4 кВ различных видов нелинейных потребителей, в том числе с резкопеременным динамическим характером нагрузки, в результате чего обоснована необходимость учета энергопотребления и показателей качества электроэнергии с использованием составляющих мгновенной мощности;

– в ходе научных исследований обоснован оптимальный по быстродействию, точности и информативности механизм расчета и представления мгновенной мощности в сети, позволяющий отдельно оценить вклад каждой из ее составляющих в процессе их формирования, что дает возможность получать и достоверно интерпретировать параметры энергопотребления при произвольном уровне гармоник в питающей сети.

Для завершения данной работы осталось решить ряд вопросов, связанных с получением дополнительных показателей качества электроэнергии, позволяющих учитывать влияние нелинейных потребителей с резкопеременным динамическим характером нагрузки и научным обоснованием способов компенсации отдельного и группового влияния нелинейных потребителей с резкопеременным динамическим характером нагрузки, основанных на компенсации отдельных составляющих мгновенной мощности для условий сетей низкого напряжения.

В плане развития научного направления в 2007г. утверждена тема докторской диссертации к.т.н., доцента кафедры систем автоматического управления и электропривода Пруса В.В. – «Старение электрических машин в ходе продолжительной эксплуатации и ремонта», что поставило целый ряд новых задач, в частности:

– анализ составляющих потерь в электрических машинах (ЭМ) различных типов, способов их прогнозирования и определения, а также получение уточненных расчетных соотношений для их выражения;

– обоснование процессов старения основных конструктивных элементов и узлов ЭМ;

– математическое представление старения ЭМ через старение конструктивных элементов с использованием временных статистических моделей надежности;

– обоснование подходов по компенсации старения ЭМ в ходе продолжительной эксплуатации и ремонта;

– исследование влияния изменения свойств стали сердечника статора на вид и распределение температурного и магнитного поля;

– прогнозирование превышения температуры обмоток и вибрационных параметров ЭМ в ходе продолжительной эксплуатации и ремонта;

– прогнозирование паспортных данных, рабочих параметров и показателей надежности ЭМ;

– разработка системы сертификации ЭМ различных типов по результатам изменения параметров конструктивных элементов на этапе ремонта и в хо-

де продолжительной эксплуатации;

– оценка эффективности ремонта и послеремонтной эксплуатации ЭМ с выработанным ресурсом путем анализа обобщенного показателя энергопотребления/надежность.

За последний год по данной тематике подготовлено 3 научных статьи и 2 заявки на патент.

В разрезе этой темы с 2007 г. выполняет свою научную работу «Прогнозирование послеремонтных параметров и сертификация асинхронных двигателей» аспирантка кафедры электрических машин и аппаратов Ахметшина М.В.

За год работы по ней опубликовано 3 научных статьи и получен ряд результатов, связанных с обоснованием перспектив построения моделей надежности отремонтированных АД, непосредственно связывающих с показателями надежности параметры, характеризующие потоки отказов вследствие выхода из строя отдельных узлов и учитывающие свойства основных конструктивных материалов.

Кроме этого, разработана структура системы сертификации АД, реализующей функции прогнозирования послеремонтного изменения паспортных данных, рабочих характеристик, параметров схемы замещения и эксплуатационных характеристик с учетом реального состояния основных конструктивных элементов и узлов, изменяющегося в ходе их физического старения, а также обоснованы задачи системы сертификации и предложены варианты и подходы по их решению.

Дальнейшее развитие данного научного направления видится в разработке методов и средств для комплексного подхода к прогнозированию изменения свойств конструктивных элементов, узлов и всех параметров и характеристик электрических машин в целом, включая прогнозирование показателей надежности и энергопотребления с учетом характера изменения нагрузки, а также поиска в процессе возможной модернизации и перепроектирования варианта конструкции с оптимальным сочетанием энергопотребления и надежности при условии соответствия требованиям, предъявляемым со стороны технологического оборудования.

Инновационная привлекательность направления объясняется тем, что исследования по восстановлению работоспособности и повышению эксплуатационной надежности электрических машин промышленных предприятий позволяют им экономить существенные денежные средства на их эксплуатации и ремонте, так как в последние годы ремонтная отрасль значительно опережает по объемам работ и затратам средств отрасль производства электрических машин.

Стаття надійшла 09.05.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.