

Игорь Корхов, ведущий инженер ООО «АС и ПП», в лаборатории испытаний электродвигателей

Модернизация асинхронных машин

Большинство технологических процессов в промышленности, ЖКХ и других областях связано с движением, невозможным без электропривода. Чаще всего основа привода — асинхронный двигатель (АД), принцип работы которого известен: ротор вращается в магнитном поле, создаваемом электрическим током в статорных обмотках. Вместе с генераторами эти АД относятся к электрическим вращающимся машинам, которых насчитывается более 10 тыс. разновидностей. Каждый год производятся миллиарды этих машин.

Электропривод — основной промышленный энергопотребитель: порядка 60% всей потребляемой электроэнергии расходуется на технологические процессы, связанные с движением. В целом в России, по разным оценкам, от 47 до 53% энергопотребления приходится на электродвигатели. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» определяет чрезвычайную важность проблем энер-

гопотребления в контексте развития экономики страны в целом. Соответственно, одна из ключевых задач в связи с ужесточением требований к потреблению ископаемых энергоносителей, качеству технологических процессов и т.д. — сделать привод экономичным.

Что мы имеем

В мировой практике сложилось два основных направления решения: первый — энергосбережение за счет подачи конечному потребителю в каждый момент времени минимума необходимой мощности; второй — производство энергоэффективных двигателей (ЭД). Повышение эффективности двигателей, включая КПД, достигается за счет увеличения доли высококачественных и дорогостоящих активных материалов, подбора двигателя под конкретный режим работы для повышения средней загрузки либо применения технических средств для регулирования мощности двигателя в соответствии с режимом работы (преобразователей частоты, частотно-регулируемых приводов).

Современные ЭД достигают своих лучших показателей энергоэффективности в номинальных режимах работы, если нагрузка меняется мало, регулирования скорости не требуется и двигатель правильно выбран. Кроме того, использование дорогостоящих электротехнических материалов приводит к удорожанию машин.

Как повысить эффективность АД

Существуют технические решения, позволяющие повышать эффективность, надежность, а также обеспечивать технологичность производства машин менее затратным образом. Группа российских инженеров и изобретателей из зеленоградской компании «АС и ПП» предложила и реализовала другой подход к улучшению энергетических и эксплуатационных характеристик АД, прежде всего



за счет изменения принципов конструирования обмоток (ИР, 2015, 2, с. 6). Это решение известно как совмещенные обмотки типа «Славянка». В основе подхода лежит машинное проектирование на базе разработки и анализа компьютерных моделей и расчета конструкции обмоток и двигателей, включая изменение геометрических параметров машин и выбор эффективных соотношений чисел пазов ротора и статора.

Известно, что параметры эффективности электродвигателей зависят, прежде всего, от моментных характеристик, а они, в свою очередь — от характеристик магнитного поля, создаваемого обмотками. Разработаны промышленные конструкции и схемы однослойных и двуслойных совмещенных обмоток «звезда в треугольнике» как для ручной, так и для автоматической укладки. На технические решения получено более 20 патентов РФ (пат. 2507664, 2568646, 2538266, 2562795, 2528179, пат. на ПМ 132272). Исследования применения совмещенных обмоток проводились на российских предприятиях электротехнической отрасли, в университетах (Московском ГТУ «СТАНКИН», Белгородском ГТУ (БГТУ) им. В. Г. Шухова), а также за рубежом.

Суть разработки заключается в том, что совмещенная обмотка состоит из двух частей, из которых одна соединена в треугольник, а другая — в звезду. В зависимости от схемы подключения трехфазной нагрузки к трехфазной сети становится возможным получать две системы токов, образующие между результирующими векторами индукции магнитных потоков соседних пар полюсов одноименных фаз звезды и треугольника угол в 30 электрических градусов. Из-за этого фазового сдвига магнитодвижущая сила будет создаваться шестью токами, таким образом, формируются псевдощестьфазные обмотки, которые обеспечивают более высокий фундамен-

тальный обмоточный коэффициент и меньшую гармоническую составляющую.

Для улучшения эксплуатационных характеристик эффективности необходимо проектировать АД таким образом, чтобы кривая магнитодвижущей силы поля в воздушном зазоре была как можно ближе по форме к синусоиде, тогда как на самом деле она ступенчатая. Для приближения к синусоиде обмотки статоров делают распределенными, иногда — двухслойными. Такое решение, в частности, обеспечивает возможность создания укороченных обмоток.

На рис. 1, 2 показаны графики для стандартного двигателя (3000 об/мин, в статоре 24 пазы) и для аналогичного двигателя с совмещенными обмотками.

Видно, что форма второй кривой гораздо ближе к синусоидальной. Используя этот эффект, без увеличения трудоемкости, при меньшей материалоемкости, без изменения существующего технологического оборудования, при равных прочих условиях можно изготавливать двигатели, по своим характеристикам существенно превосходящие стандартные (с обмотками, соединенными в звезду или треугольник).

Более высокий обмоточный коэффициент приводит к уменьшению потерь в меди обмотки статора на 7–13% при той же массе меди и железа. Снижение пульсации момента, дополнительных потерь в роторе и электромагнитных шумов обусловлено меньшей гармонической составляющей. Также возрастает значение пускового момента двигателя, что делает целесообразным применение совмещенных обмоток в высокоскоростных приводах и машинах с высокой удельной мощностью. На рис. 3 показано, как изменилась механическая характеристика от замены стандартной обмотки на совмещенную, созданную в соответствии с разработанной технологией, при капитальном ремонте базового двигателя АДМ100S2У2.

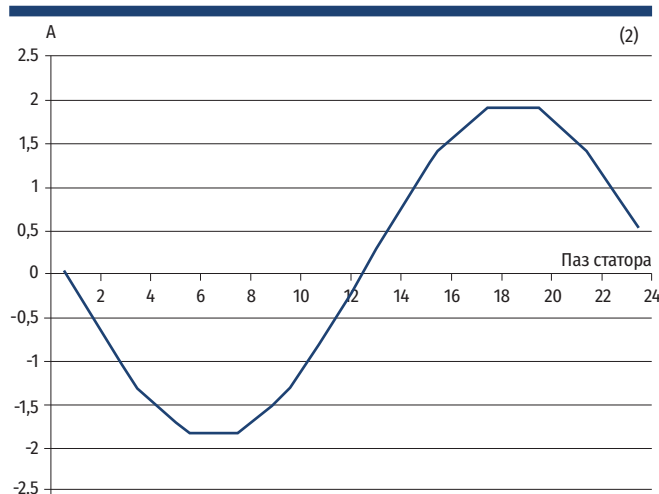
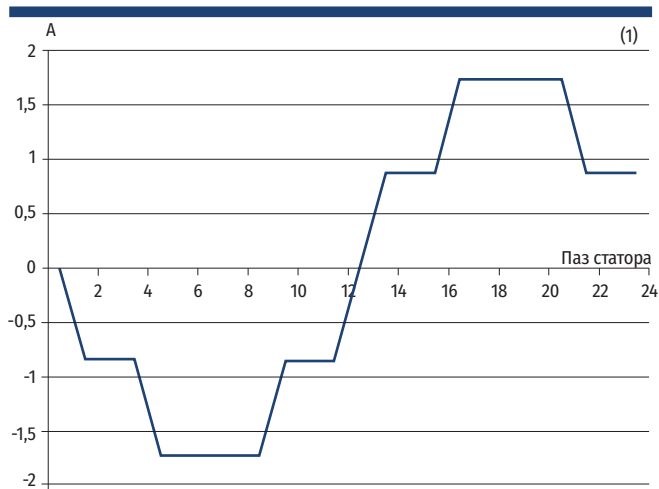
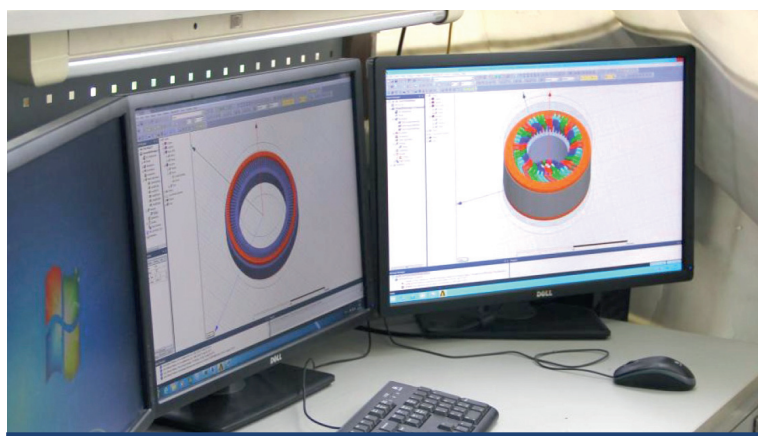


Рис. 1 и 2. Магнитодвижущая сила поля в воздушном зазоре стандартного (1) и двигателя с совмещенными обмотками (2)



Рабочее место для компьютерного моделирования и расчета параметров электродвигателей

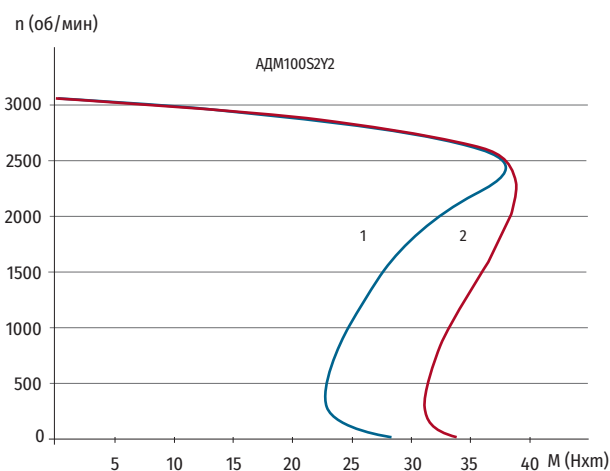


Рис. 3. Механическая характеристика двигателя АДМ100S2У2

По результатам моделирования АД с совмещенными обмотками и испытаний, а также эксплуатации двигателей, модернизированных лицензированными обмотчиками по технологии «Славянка», можно сделать вывод о том, что основные энергетические показатели АД с совмещенными обмотками, включая КПД в разных режимах, а также значения коэффициента мощности, существенно превосходят каталожные данные и практически подтвержденные параметры аналогов с классическими обмотками. В качестве примера можно привести результаты сравнительных испытаний образцов двигателей АИР71В4 с неизменной заводской трехфазной обмоткой и разработанной на основе результатов моделирования совмещенной обмоткой статора (АДСО), выполненных на базе лаборатории БГТУ им. В. Г. Шухова. В качестве нагрузки к выходной цепи генератора присоединялись автомобильные лампы накаливания, набранные группами для создания нагрузки в 10, 25, 50, 75, 100, 125% от паспортной номинальной мощности (0,5 кВт).

Было установлено, что изменение основных характеристик образца АДСО обусловлено непосредственно модернизацией и находится за пределами погрешности измерений. Улучшение характеристик зафиксировано практически во всех режимах. Кроме того, отмечен и рост

КПД в более широком диапазоне нагрузок. Рис. 4–7 иллюстрируют изменения характеристик.

В заключение специалисты сделали вывод, что в процессе реальной эксплуатации модернизированный двигатель потребляет на 14–20% электроэнергии меньше подобных немодернизированных двигателей, а также отметили снижение величин пусковых и минимальных токов, уменьшение рабочей температуры статора, уменьшение внутренней вибрации проводников и, соответственно, вероятности замыканий из-за повреждения изношенной изоляции.

Не только модернизация

Помимо модернизации существующего парка двигателей в процессе применения технологии «Славянка» также рассматриваются возможности перепроектирования используемых машин (кроме замены обмоток) и создания новых конструктивных решений. Для этого применяется компьютерное моделирование в специализированной среде, лежащее в основе проектирования. В инженеринговом центре «СовЭлМаш», образованном «АС и ПП» для реализации и внедрения разработок, создана уникальная технологическая база для выполнения НИОКР, разработки опытных образцов и установочных партий энергоэффективных АД

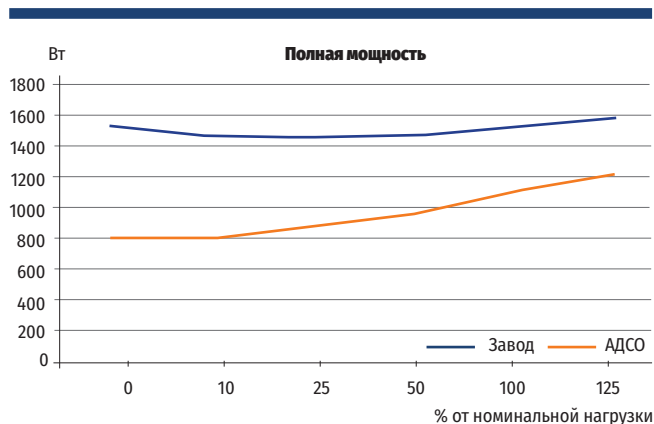
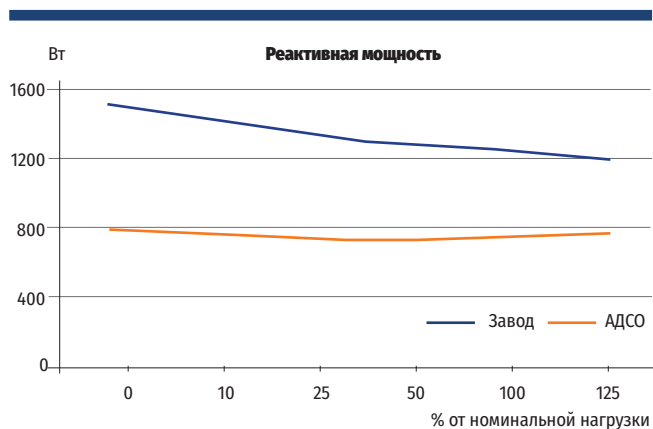
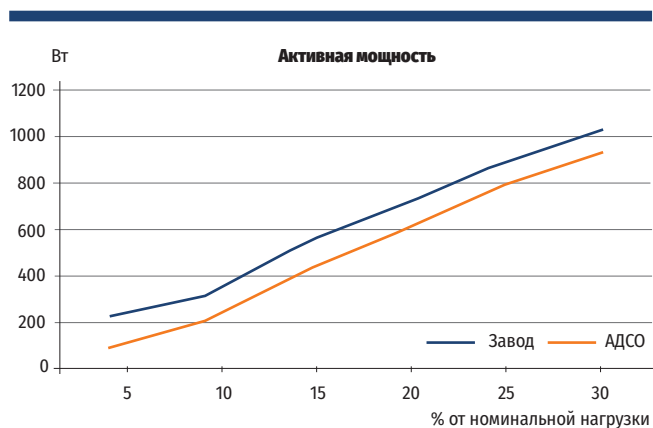
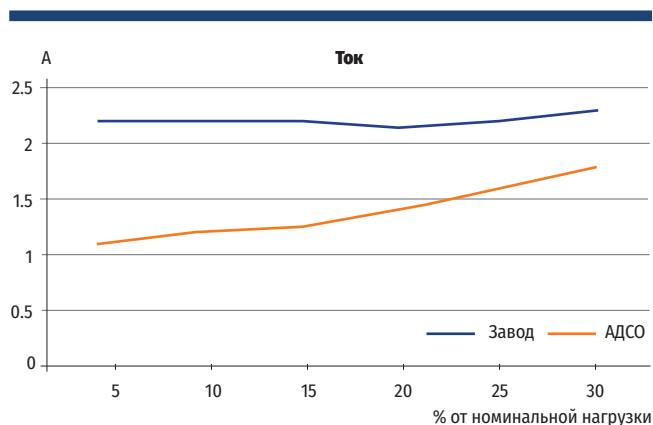


Рис. 4–7. Основные характеристики двигателей — заводского и образца с совмещенной обмоткой статора (АДСО)

нового поколения. На сегодняшний день ведется работа по исследованию повышения энергетических и эксплуатационных характеристик АД различных габаритов и мощности общепромышленного назначения. Так, результаты моделирования двигателя АДММ56А2 показали рост КПД модернизированного двигателя в среднем на 10% во всем исследуемом диапазоне нагрузки. Для перепроектированного двигателя рост КПД составил в среднем 8,96%, однако изменение его моментных характеристик оказалось даже более существенным, чем у модернизированного образца. В ближайшее время планируется получение результатов как на моделях, так и в реальных испытаниях общепромышленных АД серии АДМ от 56 до 100 габарита.

В целом можно обобщить установленные преимущества технологии совмещенных обмоток «Славянка»:

- существенное улучшение основных характеристик двигателя за счет снижения уровней высших гармоник, вибраций и тормозящих моментов;
- увеличение КПД и коэффициента мощности;
- уменьшение уровня индукции полей от нечетных гармоник и снижение общих потерь в элементах магнитопровода;
- повышение перегрузочной способности двигателей;
- снижение кратности пусковых токов при более высоких пусковых моментах;
- снижение уровня помех, генерируемых асинхронным приводом в сеть, меньшие искажения формы питающего напряжения, что способствует повышению надежности объектов, оснащенных сложным электронным оборудованием и вычислительными системами, а также устойчивости энергосистем.

Перспективы развития

Сегодня разработчики «Славянки» приступают к практическому подтверждению эффективности применения этой технологии на собственных мощностях. В инженеринговом центре, в частности, создана и начала работу испытательная лаборатория, оснащенная автоматизированным стендом и соответствующими рабочими местами. Цифровое оборудование, стенд со специализированной оснасткой, специализированное и собственное программное обеспечение интегрированы в единый программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить испытания, получать и анализировать данные в режиме реального времени и с высокой точностью. Это даст точные и релевантные данные, одновременно снижая риски ошибок, и возможность эффективно проводить стадии НИОКР в рамках широкого внедрения технических решений компании у предприятий — потенциальных заказчиков центра.

Перспективы применения электрических машин с совмещенными обмотками потенциально очень широки, потому что использование электрических вращающихся машин — общепромышленного и специального назначения — охватывает практически все сферы жизнедеятельности человека, а неизбежный масштабный рост электропотребления стал настоящим вызовом человечеству, от ответа на который, включая внедрение методов и средств повышения энергоэффективности, во многом зависит будущее.

Яна ТЕПЛОВА, Евгений ДУЮНОВ,
Игорь КОРХОВ, Артур ПРОНИН



ООО «АС и ПП»