

# Изменение конструкции обмоток асинхронных электродвигателей – потенциал обеспечения надёжности электросетей

Кто держит руку на пульсе инноваций, тот будет определять энергетику второй половины XXI века.

Виталий ДЕЙНЕГО, Дмитрий ДУЮНОВ,  
ООО «АС и ПП», г. Зеленоград,  
Вячеслав ИВАНОВ,  
Заслуженный работник транспорта РФ

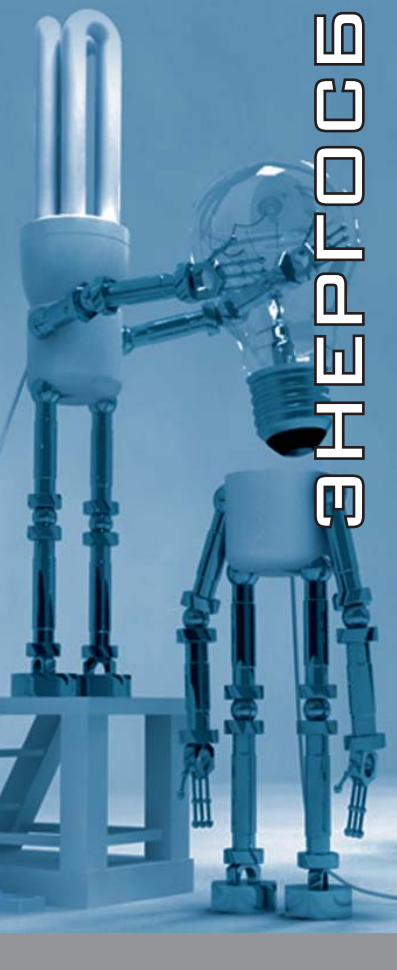
**В** современных условиях уменьшения финансирования и возрастающих со стороны западных стран санкций против России возникает необходимость поиска эффективных энерго- и ресурсосберегающих методов повышения надёжности и устойчивости в системе «генерация—передача и распределение—потребление электроэнергии». Для устойчивости этих «качелей» необходимо обеспечивать:

- баланс мощностей, который в значительной степени определяется эффективностью генератора и энергосбережением нагрузки у потребителя;
- запас устойчивости по напряжению, который определяется уровнем критического напряжения на границе статической устойчивости электропотребляющего оборудования (в первую очередь электродвигателей);
- надёжность элементов в системе поставки и распределения электроэнергии.

Электрические сети, построенные в XX веке, в большинстве случаев не в состоянии гарантировать сегодня надёжное электроснабжение конечных пользователей электроэнергии.

Это вызвано рядом объективных и субъективных причин: естественным старением электросетей и преобразовательных подстанций, увеличением подключаемых к ним дополнительных мощностей, изменением качественных характеристик собственно электроустановок и др.

После отмены «Правил пользования электрической и тепловой энергией» потребители электроэнергии перестали участвовать в поддержании коэффициента мощности и компенсации реактивной мощности на шинах нагрузок. В итоге из баланса ЕЭС России выпало свыше 50 тыс. Мвар устройств компенсации реактивной мощности. С отменой этого документа основные потребители электроэнергии (промышленность и электрифицированный транспорт) потеряли экономический стимул



поддерживать необходимое его качество, в первую очередь cosφ.

В то же время в последние десятилетия в России возросла доля возводимых в городах зданий повышенной этажности и подземных объектов различного назначения. В результате это потребовало применения более мощных электроприводов: лифтов, насосов водоснабжения, кондиционеров и т.п. Например, массовое включение кондиционеров, холодильного оборудования при повышении температуры окружающей среды может стать причиной веерных отключений и аварий электросети, а резонансное включение лифтов — срабатывания соответствующих защит от наложения пиковых пусковых токов.

По-новому встают вопросы эксплуатации тяговых электросетей от электрифицированных железных дорог и городского электротранспорта (трамвай, троллейбус, метрополитен). Давно известно, что тяговая электросеть негативно влияет на работу общей глобальной энергосистемы. Напряжения и токи в тяговой сети постоянно изменяются, в результате чего возникает электромагнитное влияние на расположенные вблизи другие сети, устройства и сооружения общего пользования. Если в сетях ОАО «РЖД» изменения нагрузок можно как-то прогнозировать в связи с чётким графиком движения поездов, то особенностью городских тяговых электросетей является случайный характер, большой диапазон изменения мощности нагрузки и её непродолжительность. Особенно сильно это влияние проявляется при устройстве тяговых двигателей на переменном токе.

Свою лепту внесло широкое применение частотно-регулируемого привода (ЧРП) в механизмах с переменной производительностью как на промышленных предприятиях, так и на транспорте и в коммунальном хозяйстве. Выходное трёхфазное напряжение большинства преобразователей частоты (ПЧ) формируется путём широтно-импульсной модуляции. Это приводит к воздействию на межвитковую и межфазовую изоляцию электродвигателя импульсных напряжений, амплитуда которых превышает амплитуду основной частоты выходного напряжения. Естественным образом, в силу известных физических законов, идёт обратный процесс искажения параметров питающей сети. Следует отметить, что механизм регулирования работы электродвигателей с помощью изменения частот до конца не изучен, особенно в сетях с тяговыми нагрузками.

Эти и другие изменения характера нагрузок в электросетях, прошедшие в последние годы, привели к:

- возрастанию потоков реактивной мощности в линиях межсистемных передач и системообразующих распределительных сетях и распределительных сетях потребителей;
- возникновению дефицита реактивной мощности в узлах нагрузки и, как следствие, к снижению напряжения на шинах нагрузок и подстанций, снижению статической устойчивости нагрузки по напряжению в сетях;

- увеличению до предельно допустимых значений токов полной нагрузки ЛЭП и ТП и ограничению их пропускной способности из-за загрузки реактивной мощности.

В изменившихся условиях вся нагрузка на поддержание работоспособности устаревших электросетей выпала на плечи электросетевых компаний.

Из-за недостаточности у владельцев электросетей финансовых средств на реконструкцию сети становятся ограничивающим фактором (наряду с генерированием) в процессах электрификации страны (рис. 1).

Общеизвестно, что надёжность элементов распределительных электросетей и устойчивая работа электроснабжения потребителей электроэнергии в значительной степени зависят не только от роста электрической нагрузки потребителей, но и от её характера и режимов работы.

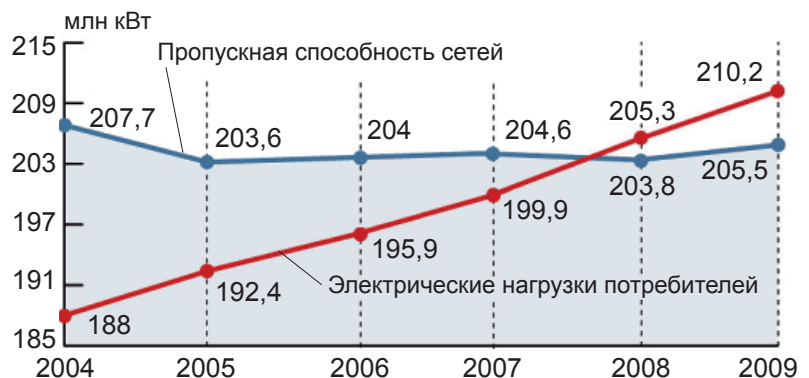
Хорошо известны аварии от не скомпенсированной реактивной мощности, источником которой является электропривод с асинхронными двигателями (АД) и частотным регулированием.

Новые реалии эксплуатации «старых» электросетей при недостаточности или отсутствии соответствующих компенсирующих устройств заставляют электросетевые компании изыскивать новые пути развития отрасли, которые соответствовали бы изменившимся условиям эксплуатации сетей.

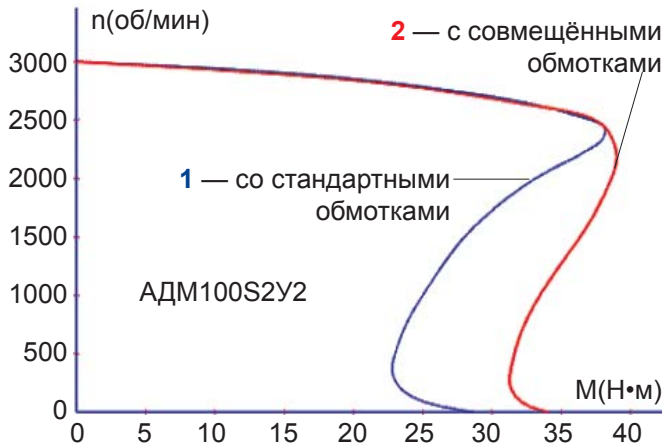
Одним из путей решения имеющихся вопросов обеспечения качественных параметров электроэнергии в электросетях, в том числе их надёжности, является широкое внедрение электродвигателей нового поколения — электродвигателей с совмещёнными обмотками статора. Данная технология, разработанная в ООО «АС и ПП» (г. Зеленоград Московской обл.), получила название «Славянка». Принцип совмещения обмоток статора «звезда в треугольнике» имеет патент Российской Федерации.

Физическая сущность предложения вытекает из того, что в зависимости от схемы подключения трёхфазной нагрузки к трёхфазной сети (звезда или треугольник) можно получить две системы токов, образующих между векторами индукции магнитных потоков угол в 30 эл. град. Соответственно, к трёхфазной сети можно подключить электродвигатель, имеющий не трёхфазную обмотку, а шестифазную.

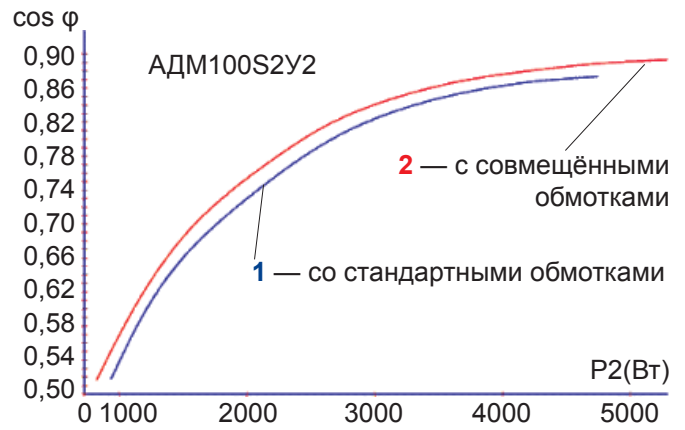
**Рис. 1. Динамика изменения роста потребления и пропускной возможности электросети**  
(<http://news.elteh.ru/arh/2012/76/03.php>.)



**Рис. 2. Механическая характеристика асинхронного двигателя АДМ100S2У2**



**Рис. 3. График коэффициента мощности двигателя АДМ100S2У2**



При этом часть обмотки должна быть включена в звезду, а часть — в треугольник, и результирующие векторы индукции полюсов одноимённых фаз звезды и треугольника должны образовывать между собой угол в 30 эл. град.

В связи с незаинтересованностью производителей новых электродвигателей в изменении своих технологий, предлагаемая технология в основном применялась (и применяется) при ремонте двигателей, у которых «сгорели» обмотки. После многочисленных испытаний отремонтированных согласно технологии «Славянка» серийно выпускаемых асинхронных двигателей и статистической их обработки были сделаны выводы, что двигатели после ремонта имеют улучшенные по сравнению с паспортными параметры:

- меньший потребляемый ток, 20—35% в зависимости от режима;
- более высокий пусковой момент — на 35%;
- меньшие пусковые токи — на 35%;
- больший минимальный пусковой момент — на 35%;
- больший максимальный пусковой момент — на 10%;
- имеют возможность эксплуатации как в режиме работы S1, так и в режиме работы S3;
- улучшены виброшумовые характеристики, в среднем уровень звука ниже на 5 дБ;
- КПД и cosφ, близкий к номинальному в диапазоне нагрузок от 30 до 140%;
- большая перегрузочная способность.

В настоящее время технологией «Славянка» заинтересовались в ОАО «Уралэлектро», входящем в состав Концерна «РТИ Системы». Этим предприятием

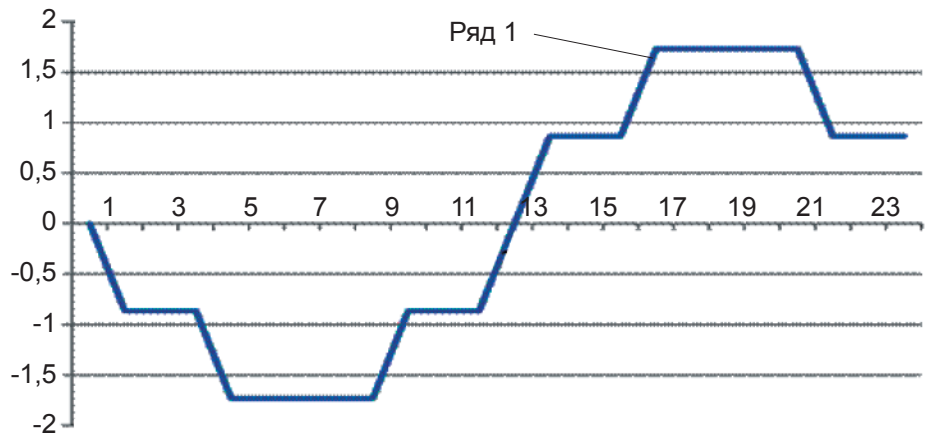
было определено, что электродвигатели, создаваемые по технологии «Славянка», могут найти широкое применение в таких областях, как транспортные системы, подъёмное оборудование, вентиляторы, насосы, компрессоры, редукторы, станки и т.д.

Двигатели рассчитаны для работы в условиях частых, тяжёлых и затяжных пусков, а также больших (более 10%) падений питающего напряжения.

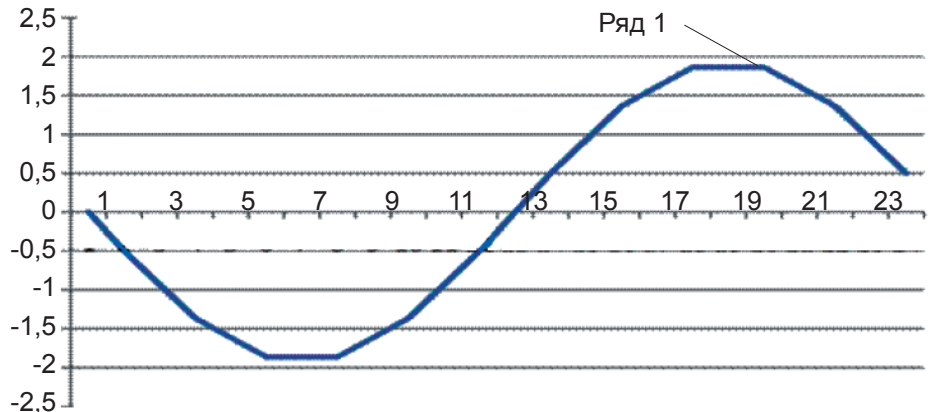
На рис. 2 и 3. показаны сравнительные характеристики общепромышленных и энергоэффективных высокомоментных электродвигателей. Более подробную информацию можно получить на сайте ОАО «Уралэлектро» <http://www.uralelectro.ru/text/61>

**Рис. 4. Графики формы поля в рабочем зазоре двигателей**

**а) — стандартного АД,**



**б) — АД с совмещёнными обмотками**



## Рис. 5. Обобщённые результаты испытания шахтного электровоза «Эра»

14 декабря 2013 г. завершены все виды программных испытаний электровоза «Эра»



Из приведённых на рис. 4 графиков видно, что форма поля двигателя с совмещёнными обмотками ближе к синусоидальной, чем у стандартного двигателя, что значительно снижает его негативное воздействие на питающую электросеть. В результате, как показывает имеющийся опыт, без увеличения трудоёмкости, при меньшей материалоемкости, без изменения существующих технологий, при равных прочих условиях получаем двигатели по своим характеристикам существенно превосходящие стандартные.

В отличие от ранее известных методов повышения энергоэффективности, предлагаемое решение наименее затратное и реализуемо не только при производстве новых двигателей, но и при капитальном ремонте и модернизации существующего парка.

В подавляющем большинстве случаев АД с совмещёнными обмотками позволяют решить проблемы их запуска без использования частотных регуляторов. То есть сразу снижаются или исчезают высокочастотные гармоники, которые могут попадать в питающую электросеть. При работе совместно с частотным регулятором они обеспечивают механические характеристики, недостижимые для других серий двигателей. При работе с регулярно меняющейся нагрузкой, с номинальной нагрузкой, при перепадах питающего напряжения двигатели позволяют снизить потребление электроэнергии до 50%.

Особенно показателен опыт применения асинхронного двигателя с совмещёнными обмотками на объектах электротранспорта.

Учитывая результаты расчётов тяговых характеристик и рекуперативных возможностей асинхрон-

ного двигателя с совмещёнными обмотками, выполненными по технологии «Славянка», в тяговом электроприводе в НПП «Энергия» (г. Донецк) были проведены сравнительные испытания тяговых двигателей, установленных на шахтном электровозе «Эра». Обобщённые результаты испытания электровоза с штатным электродвигателем и аналогичным, но с совмещённой обмоткой приведены на рис. 5.

В ходе испытания асинхронный электродвигатель с совмещёнными обмотками на электровозе «Эра» перевёз в два раза больше вагонеток с углём, чем с двигателем донором (АИР160), который перевозит только пять вагонеток, и то не в горку. Производительность труда по вывозу угля (руды) повысилась более чем в два раза при одновременном уменьшении потребляемой электроэнергии. Также было замечено существенное снижение высокочастотных гармоник и реактивной составляющей в электросетях общего пользования, от которых запитывались тягово-понижительные подстанции. К сожалению, подробная информация по этому эффекту отсутствует — война на Донбассе.

Апробация электродвигателей с совмещёнными обмотками на сегодняшний день прошла более чем на 100 предприятиях России, стран ближнего и дальнего зарубежья. В настоящее время по технологии «Славянка» модернизированы образцы асинхронных двигателей от всех производителей. По инициативе разработчика, ООО «АС и ПП», цех российских обмотчиков организовал систему по внедрению этой методики. После распада СССР ни один завод-производитель электродвигателей свои обмоточные данные не выкладывает в открытый доступ. Они

наивно полагают, что таким образом положительно влияют на сбыт. Поэтому не удивительно, что российский «Цех обмотчиков по ремонту асинхронных двигателей» воспринял технологию «Славянка» перемотки статора асинхронных двигателей и генераторов и старается её внедрять у заказчиков — потребителей электрической энергии. По большому счёту замена традиционных обмоток статоров АД на совмещённые обмотки особых сложностей не вызывает. При их расчёте можно пользоваться электронным справочником (Цветков С.А. Справочник обмотчика асинхронных электродвигателей. 2011 microtesa@yandex.ru). Однако необходимо помнить, что совмещённые обмотки по технологии «Славянка» имеют свои особенности, и лучше перед её применением получить соответствующие консультации в компании-разработчике технологии — ООО «АС и ПП».

Обмотчиками уже модернизировано асинхронных двигателей на общую установочную мощность более 9 МВт. (Ежемесячно модернизируется не менее 1 МВт установочной мощности).

Технология «Славянка» показала также свою эффективность при перемотке статоров асинхронных машин различной мощности и любых производителей (фирм Германии, Италии, Китая и др., которые поставляют на российский рынок более 95% асинхронных двигателей). При этом было показано, что отремонтированный АД из класса IE можно перевести в класс энергосбережения IE2 и выше, при этом уровень финансовых и материальных ресурсов, отпущенных на штатный ремонт, останется неизменным.

В обсуждении и сравнительных испытаниях модернизированных по технологии «Славянка» во время ремонта АД уже участвуют специалисты из Германии, Индии, Китая, Италии, а также иностранные эксперты из инновационного центра «Сколково».

Эффективность технологии изготовления АД с совмещёнными обмотками была подтверждена НОЦ «Энергосбережение в промышленности» Московского государственного технологического университета «СТАНКИН». Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы», ГК № 14.516.11.0067 от 27 июня 2013 г. При этом были:

- рассмотрены теоретические основы для создания нового типа интеллектуальных энергосберегающих асинхронных электрических двигателей с совмещёнными обмотками;
- приведены результаты теоретических исследований, компьютерного моделирования;
- изложена методика изготовления нового типа интеллектуальных энергосберегающих асинхронных электрических двигателей с совмещёнными обмотками.

В заключении НИР специалистами МГТУ «СТАНКИН» было сказано: «Применение разработываемых технических решений асинхронных электродвигателей с совмещёнными обмотками (АЭД СО) обеспечит соответствие международным требова-

ниям, предъявляемым к источникам энергии для энергоснабжения автономных потребителей, в т.ч. в гражданских секторах экономики. В результате выполнения НИР и проведения производственных испытаний будет создана эскизная КД для налаживания серийного выпуска ряда асинхронных электродвигателей с совмещёнными обмотками (АЭД СО) с 100 по 132 габарит».

По мнению экспертов Болонского технического университета (Италия), «разработку асинхронных двигателей класса энергоэффективности IE2, IE3, IE4 ведут все ведущие мировые производители и специализированные научные организации. С 2012 года в Европе введён в действие стандарт IE2, а с 2015 года планируется ввести в действие запрет на производство электродвигателей с классом ниже IE3.

Ключевым отличием разрабатываемых решений от продукта по проекту является применение для решения поставленных задач дорогих электротехнических материалов, снижение удельной мощности и, как следствие, повышение себестоимости 1 кВт установленной мощности.

Мировая тенденция повышения энергоэффективности и растущий спрос на энергоэффективные технологии гарантируют продукту по проекту востребованность рынком на момент коммерциализации. Учитывая, что за столетнюю историю асинхронных двигателей впервые было найдено столь прорывное решение, можно полагать, что проект будет актуален в течение достаточно длительного периода времени.

13 декабря 2013 года в г. Зеленоград прошёл первый семинар, посвящённый асинхронным двигателям с совмещёнными обмотками. Мероприятие проведено в рамках реализации программы модернизации существующего парка асинхронных двигателей в процессе капитального ремонта. В работе семинара приняли участия представители 12 профильных организаций по ремонту электродвигателей из Москвы, Московской области, Твери, Иваново, Татарстана и Республики Беларусь, уже имеющие опыт работы с совмещёнными обмотками, и специалисты, проявившие заинтересованность к внедрению технологии.

Таким образом, положено начало работы школы по подготовке специалистов для широкомасштабного внедрения технологии в повседневную жизнь. Планируется проведение не только очных семинаров. Для удалённых районов в ближайшее время будет организовано проведение серии вебинаров. В дальнейшем семинары будут проходить на постоянной основе. Информация о графике их проведения будет размещаться на сайте компании НКТ «Энергокомплекс» [www.enprok.ru](http://www.enprok.ru).

По мнению зарубежных экспертов, внедрение запатентованных в России совмещённых обмоток типа «Славянка» позволит:

- с относительно минимальными финансовыми затратами обеспечить устойчивость энергосистемы (АД с этой обмоткой устойчиво работают при более низких провалах напряжения, а перемотанные по этой технологии статоры генераторов позволят повысить запас по генерируемой

мощности при значительном снижении расхода первичного энергоносителя (воды, топлива и т.п.);

- повысить надёжность элементов сети распределения электрической мощности;
- получить экономию энергии на установочной мощности;
- уменьшить расход электрической энергии на единицу выпускаемой продукции, обеспечив конкурентоспособность российских товаров;
- пересмотреть тарифы ЖКХ (меньше потребление электрической энергии, меньше расходы на ремонт, меньше цена на электродвигатели и т.п.);
- разработать эффективный электропривод для электротранспорта;
- повысить эффективность генераторов и качество электрической энергии в сетях.

О промежуточных результатах по внедрению технологии «Славянка» при ремонте асинхронных двигателей и их воздействию на электрические сети докладывалось на «Ярославском энергетическом форуме 2011» и на последующих форумах, выставках и совещаниях, организованных Инновационным центром «Сколково».

В течение 2011—2012 гг. о преимуществах совмещённых обмоток АД типа «Славянка» докладывалось на ряде совещаний в ОАО «РЖД», на семинарах руководителей различных служб (эскалаторной, электромеханической, электроснабжения) метрополитенов СНГ. Метрополитенцами были приняты решения о необходимости широких испытаний (как заводских, так и опытной эксплуатации непосредственно на объектах) электродвигателей для насосных водоотливных установок, вентиляционных агрегатов тоннельной вентиляции и привода эскалаторов с целью их широкого внедрения в отрасли. (К сожалению, начатая работа была остановлена после смены руководства Международной ассоциации «Метро» — увольнения Председателя Совета директоров Д.В. Гаева и генерального директора Ю.А. Гришечкина, — а также смены руководителей ряда метрополитенов СНГ, входящих в это объединение).

21 октября 2014 года в Госдуме РФ состоялось 6-е заседание Координационного совета Президиума Генерального совета Всероссийской политической партии «ЕДИНАЯ РОССИЯ» по вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности в рамках партийного проекта «Энергетическая безопасность». Заседание провёл глава Координационного совета, первый заместитель председателя Комитета Госдумы по энергетике Юрий Липатов. В своём выступлении он обратил внимание на новые условия, в которых сейчас приходится работать, а именно экономические санкции США и ЕС в отношении России, в связи с чем вопрос импортозамещения становится приоритетным в отборе проектов для



внедрения на территории страны. В свете принятых на этом заседании решений широкое внедрение технологии «Славянка» по ремонту АД может представлять большой интерес для всего промышленного и энергетического комплексов страны. Тем более, что, по неофициальным подсчётам независимых экспертов, экономический эффект от её внедрения может составить для России около 200 млрд рублей в год! Это без учёта экономии на реконструкции понизительных электроподстанций, кабельных и проводных сетей и пусковой аппаратуры, которую могут подсчитать сами специалисты электроснабжающих компаний.

Таким образом, можно сказать, что в России практически все стороны, участвующие в процессе «производство—передача—потребление» электроэнергии, ознакомлены с предлагаемой к широкому внедрению технологией «Славянка». Однако этот процесс идёт крайне медленно. Анализируя причины, препятствующие его ускорению, по встречам с руководителями как государственных, так и частных компаний и по высказываниям оппонентов можно прийти к следующим выводам — основные проблемы по широкому внедрению революционных энергосберегающих технологий лежат в отсутствии:

- чётких Правил по качеству производства, передаче и потреблению электроэнергии для общего пользования. Действующие сегодня в стране стандарты и регламенты морально давно уже устарели, кроме того, ряд установленных в них формулировок носит не обязательный, а рекомендательный характер. В первую очередь это касается критериев со стороны генерирующих и поставляющих электроэнергию организаций, на основе которых должно проводиться подключение электроустановок с частотно-регулируемым приводом (ЧРП) и элементами импульсного управления;
- научно обоснованных критериев и принципов взаимовлияния электросетей общего пользования и тяговых электросетей железнодорожного и городского электрифицированного транспорта. В связи этим:
- производитель и продавец электроэнергии не заинтересованы в уменьшении сбыта (следовательно, прибыли) электрической энергии, который неизбежно последует при широком внедрении предлагаемой технологии;
- имеют место жёсткая конкуренция и амбиции российских разработчиков (производителей асинхронных двигателей) и их однозначное нежелание платить за лицензионный договор;
- крупные организации-потребители электроприводов и их управленческий аппарат полностью ориентированы на зарубежного производителя асинхронных двигателей. В ряде случаев решения

принимаются на основе заключений иностранных экспертов, которые являются сотрудниками крупных транснациональных компаний.

Касательно освоения вторичного рынка электродвигателей и поддержки технологии СО АД «Славянка» одни из главных причин её широкого внедрения хорошо озвучены на многочисленных интернет-форумах:

- отсутствие материальной заинтересованности непосредственно рабочих-обмотчиков и боязнь своего сокращения в связи с уменьшением объёмов работ. Обмотка электродвигателей, отремонтированных по технологии «Славянка», при правильной эксплуатации практически не выходит из строя;
- отсутствие желания рабочих давать дополнительные доходы часто «не в меру жадным» хозяевам ремонтных предприятий. В компаниях же, где такие вопросы отсутствуют, сами руководители жалуются, что они не могут применять эту технологию ввиду возможного снятия гарантий от изготовителей оборудования, на котором вышедшие из строя двигатели были установлены. Как правило, это оборудование зарубежных фирм.

В настоящее время согласно находящимся в открытом доступе статистическим данным наблюдается спад в мировой экономике. В большой степени он вызывается стремительным удорожанием различных видов энергии, в том числе электрической. Во многом это связано с необходимостью поддержания электросети в рабочем состоянии в условиях становящейся всё более энергоёмкой жизни людей и, соответственно, возрастающими расходами электросетевых компаний. Здесь важно отметить, что наряду с увеличением собственно присоединённой мощности, как показывалось выше, меняется сам характер передаваемой электроэнергии, который требует принятия и внедрения соответствующих новых технических средств для обустройства и модернизации действующих электросетей в связи с изменившимися параметрами нагрузки. Принимая за основу один из постулатов рыночных отношений, что «потребитель всегда прав», основную нагрузку по широкому внедрению энергосберегающих технологий и обеспечению качественных параметров электроэнергии должны взять на себя электроснабжающие компании, разумеется, при соответствующей поддержке государства.

В разговорах со специалистами предприятий и компаний, осуществляющих преобразование и передачу электроэнергии конечным пользователям, чувствуется необходимость кардинального изменения Правил поставки электроэнергии. Нельзя до бесконечности эксплуатировать устаревшее оборудование, тем более отбрасывать фундаментальные законы электроэнергетики. Всему бывает предел. Сегодняшний день ставит задачу, чтобы к решению проблемных вопросов надёжного, качественного и устойчивого электроснабжения подключались потребители электроэнергии.

Наиболее дешёвым в государственном масштабе просматривается путь модернизации асинхронных двигателей вторичного рынка с одновременной прора-

боткой и производством двигателей нового поколения с учётом опыта применения технологий совмещённой укладки обмоток, в том числе аналогичных описанной в настоящей статье технологии «Славянка».

В этом плане показателен опыт ряда ведущих стран мира: США, Китая, Германии и др.

Здесь наиболее интересен пример США.

С июля 2014 г. производители электрической энергии в США развернули пилотную программу по качественному ремонту асинхронных двигателей с повышением параметров их энергоэффективности и энергосбережения. За основу, по всей видимости, были взяты те же идеи, что продвигают разработчики технологии «Славянка». При этом в США рассчитывают сэкономить у потребителя более 5800 ГВт электрической энергии за 10 лет. Они видят в этом отдельное направление в решении проблем энергосбережения и обеспечения качества электроэнергии в электросетях своих компаний. В США ввиду массового внедрения различных вариантов привода с асинхронным двигателем с частотным регулированием как на производстве, так и в быту стало ясно, что без принятия кардинальных решений можно уничтожить весь энергетический комплекс страны. Многим компаниям США пришло понимание того, что «этот привод наряду с импульсными пусковыми устройствами приводит к:

- изменению характера нагрузки сети (она становится реактивно-импульсной), а это приводит к уменьшению запаса устойчивости электросети и к увеличению негативных рисков электроэнергетической безопасности;
- перераспределению отказов асинхронных двигателей. Более 51% отказов приходится на такой опасный вид, как разрушение подшипников;
- уменьшению энергоэффективности асинхронного двигателя на единицы процентов после ремонта, что является неуправляемым риском для электросети».

Таким образом, понимание вышеназванных проблем и желание получения дополнительной прибыли от сэкономленной электроэнергии у потребителя заставило энергогенерирующие компании США приступить к построению системы повышения энергоэффективности асинхронных двигателей при их ремонте.

Компания АЕР Огайо разработала в качестве меры по повышению энергоэффективности пилотную программу для обслуживания своих промышленных клиентов, которые будут ремонтировать асинхронные двигатели. Согласно этой программе, двигатели должны быть отремонтированы в аккредитованном центре и испытаны для подтверждения их эффективности и получения финансовых льгот на федеральном уровне.

В этом пилотном проекте запланированы финансовые стимулы для:

- клиентов АЕР Огайо — 2 долл. за 0,7 кВт (за одну лошадиную силу);
- аккредитованного сервисного центра, обеспечивающего ремонт АД, — 1 долл. за 0,7 кВт (за одну лошадиную силу).

Компания Advanced Energy проводит сертификацию центров, способных ремонтировать двигатели по требованиям, изложенным в пилотной программе АЕР Огайо.

### ВЫВОДЫ

Даже беглое ознакомление с работами, проводимыми в России и в мире по решению вопросов повышения эффективности производства, надёжности распределительных электросетей и устойчивости электроснабжения, показывает, что одним из путей преодоления озвученных проблем может стать переход на нетрадиционные схемные и конструктивные решения построения электропривода.

В то же время параллельно с техническими вопросами необходимо решать и организационные. В первую очередь это касается внедрения сертифицированного управления качеством ремонта вторичного рынка асинхронных двигателей и стимулирования предприятий, переходящих на новые технологии как на вторичном, так и на первичном рынках электродвигателей.

Таким образом, первоочередными задачами, которые необходимо решать, являются следующие.

1. Разработка и принятие чётких федеральных Правил по производству, передаче и потреблению электроэнергии как для сетей общего пользования, так и для тяговых сетей электротранспорта (включая лифтовое хозяйство, в т.ч. ЖКХ).
2. Пересмотр действующей нормативной документации по качественным параметрам электросетей (общего пользования и тяговых) и требований к выпускаемому на территории России и приобретаемому за рубежом электротехническому оборудованию.
3. Разработка и принятие государственной программы по внедрению на территории страны энергоэффективных технологий (в т.ч. электродвигателей с совмещёнными обмотками типа «Славянка») с обязательным отражением стимулирования как отдельных потребителей, так и предприятий и компаний. При этом важно, чтобы имели соответствующий интерес и их работники.
4. Рассмотрение изменения принятой сегодня платы за потреблённую электроэнергию (кВт•ч) на оплату (кВА•ч).
5. Наделение соответствующими надзорными полномочиями органов Ростехнадзора, Системных операторов и др. государственных органов в плане согласований подключения к действующим электросетям новых мощностей и контроля эксплуатируемых мощностей.
6. Внесение соответствующих изменений и дополнений в действующее федеральное законодательство.

Инициаторами проведения такой работы, по всей видимости, должны выступать электроснабжающие компании, как наиболее заинтересованные в устойчивости электросетей и обладающие наиболее полной информацией об их состоянии и перспективах развития. В этом плане интересно изучение опыта американской компании АЕР Огайо.

Как показывает анализ мирового электроснабжения, с каждым годом возрастает число промышленно развитых стран, принимающих программы по повышению экономической эффективности распределительных электросетей с возложением ответственности на крупных потребителей электроэнергии. Россия в этом плане не может быть исключением.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tobias Fleiter, Wolfgang Eichhammer, Joachim Schleich. *Energy efficiency in electric motor systems: Technical potentials and policy approaches for developing countries* UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. 11 /2011.
2. Дуюнов Д.А. Асинхронный двигатель с совмещёнными обмотками. *Журнал Энергосовет*, № 2(27), 2013 г.
3. Змиева К.А., Яковлев А.П., Уалева Е.М., Должикова Е.Ю. Оптимизация ряда интеллектуальных энергосберегающих асинхронных двигателей с совмещёнными обмотками с 100 по 132 габариты. *Журнал «Электротехнические комплексы и системы управления»*, № 3, 2013 г.
4. Морозов К. Новый асинхронный двигатель для электротранспорта. *Журнал ПРОТРАНСПОРТ*, № 5, 2014 г.
5. ANSI/EASA AR100 2010 Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus. 2003.
6. Хеннинг Кастен, Вильфрид Хофманн. *Электрические машины с более высокой эффективностью за счёт совмещения функций «звезда—треугольник» обмотки. Электрические машины и привод IEEE Международная конференция. IEMDC, 2011.*
7. EASA/AEMT Rewind Study The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency.
8. EASA/AEMT Rewind Study The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency.
9. *Motor Management Truths and Consequences: Understanding Electric Motor Rewinds and Efficiency* Tom Bishop, P.E. Electrical Apparatus Service Association, Inc. St. Louis, MO. MDM Webcast May 25, 2011.
10. Dennis Bowns, Erin Hope. GREEN MOTOR INITIATIVE REWIND SAVINGS. December 11, 2012. [http://www.greenmotors.org/documents/RTFSubmittal12\\_11\\_2012h.pdf](http://www.greenmotors.org/documents/RTFSubmittal12_11_2012h.pdf)
11. *Advanced Energy Selected for Accredited Motor Repair Pilot Program* (<http://www.advancedenergy.org/brilliance/post/advanced-energy-selected-for-accredited-motor-repair-pilot-program>).
12. *Electrical Apparatus Service Center Accreditation Program* Thomas H. Bishop, P.E. Electrical Apparatus Service Association (EASA) Copyright © 2013, Electrical Apparatus Service Association, Inc.
13. *Материалы испытаний и отзывы по эксплуатации электродвигателей, отремонтированных по технологии «Славянка».*
14. *Протоколы совещаний в ОАО «РЖД», Международной Ассоциации «Метро».*
15. *Материалы СМИ и открытая информация в сети Интернет.*