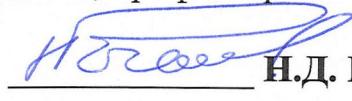




Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»

109044 г.Москва, Воронцовский пер., дом 2
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>

УТВЕРЖДАЮ
Президент НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н., профессор


Н.Д. Рогалев
«22 марта 2016 г.

ПРОТОКОЛ

совместного заседания секции «Электротехническое оборудование» НП «НТС ЕЭС»
и НТЦ АО «НТЦ ФСК ЕЭС» по теме:

**«Разработка и внедрение регулируемых электроприводов на основе
вентильных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов»**

15 марта 2016 г.

г. Москва

Присутствовали члены секции и НТС:

ШАКАРЯН
Юрий Гевондович

- Научный руководитель АО «НТЦ ФСК ЕЭС», Председатель секции НП «НТС ЕЭС»;

ДЕМЕНТЬЕВ
Юрий Александрович

- Заместитель генерального директора–
главный инженер АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

ХРЕННИКОВ
Александр Юрьевич

- Начальник отдела НТИ АО «НТЦ ФСК ЕЭС»,
Учёный секретарь секции НП «НТС ЕЭС».

- НОВИКОВ**
Николай Леонтьевич
- МОРЖИН**
Юрий Иванович
- ТИМАШЕВА**
Лариса Владимировна
- АНТОНОВ**
Анатолий Викторович
- ПОПОВ**
Сергей Григорьевич –
- ТОКАРСКИЙ**
Андрей Юрьевич
- ЛАЗАРЕВ**
Григорий Бенционович
- РЯБЧЕНКО**
Владимир Николаевич
- ЛЮБАРСКИЙ**
Юрий Яковлевич
- СЫТНИКОВ**
Виктор Евгеньевич
- СОКУР**
Павел Вячеславович
- МАКОКЛЮЕВ**
Борис Иванович -
- Заместитель Научного руководителя АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Директор по информационно-управляющим системам АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Начальник Центра электротехнического оборудования АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Начальник Центра высоковольтной преобразовательной техники АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - начальник отдела реализации технологии «Цифровая подстанция АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Ведущий эксперт АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Технический директор ИЦ ООО «ЭНЕЛ»;
 - Главный технолог Дирекции по проектированию и реализации инновационных проектов АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Заведующий лабораторией АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Заместитель Научного руководителя АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
 - Начальник центра – начальник отдела асинхронизированных машин АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- Главный научный сотрудник АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Приглашённые – Кучинский В.Г. – Генеральный директор НПО «Русский электроприрод», г. Санкт-Петербург; Попков Е.Н. – Зав. Кафедрой «Электрические системы и сети» СПбПУ.

СЛУШАЛИ:

С докладом «Разработка и внедрение регулируемых электроприводов на основе вентильных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов» выступил генеральный директор ОАО «НПО «Русский Электропривод», профессор кафедры «Электротехника и электроэнергетика» СПбПУ Кучинский Владимир Георгиевич.

Целью работы является:

1. Разработка новых мощных электроприводов на базе электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов, размещенных на роторе машины.

2. Применение данных машин для приводов в системах собственных нужд электростанций, в турбодетандерных системах, приводов насосов нефтеперекачивающих станций, высокооборотных газоперекачивающих агрегатов, судовых гребных электродвигателей, приводов железнодорожного транспорта и большегрузных самосвалов, дробильных мельниц горно-обогатительной и цементной промышленности.

3. Создание высокооборотных генераторов на мощности от 1 до 5 МВт.

Компания ОАО «НПО «Русский Электропривод» ведет работы в области создания мощных электроприводов, систем электродвижения, а также генераторных установок на основе электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов.

Мощные электрические машины с возбуждением от постоянных магнитов являются относительно новым классом электрических машин, интенсивное развитие которого стало возможным после появления сильных постоянных магнитов. Отсутствие щеточных узлов, простота управления и возможность глубокого регулирования основных характеристик машины при сохранении высокой эффективности, а также хорошие массо-габаритные показатели, обуславливают значительный интерес к этим машинам со стороны различных отраслей народного хозяйства.

Основными достоинствами электроприводов на базе электрических машин с постоянными магнитами по сравнению с серийно изготавливаемыми электроприводами являются:

- повышенные значения КПД (0,90-0,98), в связи с отсутствием потерь в системе возбуждения;
- возможность 100% регулировки по оборотам;
- сохранение высоких значений КПД при глубокой регулировке по мощности и оборотам (более 0,9 при $n > 0,2 n_{\text{ном}}$);
- повышенные (в 1,5-2,0 раза) удельные показатели (кВт/кг) по сравнению с используемыми синхронными и асинхронными двигателями;
- плавные пусковые характеристики без каких-либо возмущений в сети;
- отсутствие подвода электроэнергии к ротору (исключаются скользящие контакты системы возбуждения);

- пониженные уровни шума и вибрации.

В Германии, Франции, США, Англии и Японии активно проводят разработки мощных вентильных электродвигателей с постоянными магнитами различного назначения. Однако, на российский рынок поставляются, в основном, ранее разработанные и растиражированные комплексы синхронных и асинхронных машин. Только сравнительно недавно в номенклатуре продукции ведущей европейской фирмой «ABB» появились новые серии низковольтных электродвигателей с постоянными магнитами, предназначенные для работы в диапазоне частот вращения 100-850 об/мин (при мощностях до 1,8 МВт).

Перспективные разработки ОАО «НПО «Русский Электропривод», имеющие различную степень проработанности и ведутся по следующим направлениям:

- Электроприводы для нефте- и водоперекачивающих агрегатов;
- Высокооборотные электроприводы для газоперекачивающих агрегатов;
- Системы электропитания на основе высокооборотных генераторов;
- Электроприводы для водяных насосов, дымососов, воздуходувок и вентиляторов;
- Безредукторные электроприводы для барабанных мельниц;
- Тяговые электроприводы для транспорта.

Были разработаны и изготовлены несколько приводов мощностью 3,5 – 4 МВт для объектов судостроительной промышленности, тяговый привод с установленной мощностью 5 МВт для карьерных самосвалов высокой грузоподъемности, несколько приводов меньшей мощности для различных применений.

Изготовлены два электропривода мощностью 14 МВт для нефтеперекачивающих станций и успешно проведен первый этап заводских испытаний. Кроме привода мощностью 14 МВт, была разработана конструкторская документация на линейку максимально унифицированных электроприводов с взрывозащищенными двигателями мощностью 5 МВт, 6,3 МВт, 8 МВт.

За время работы предложен ряд уникальных технических решений в рамках импортозамещения, которые позволили существенно повысить эффективность электроприводов и их систем электропитания. Большая часть инноваций подтверждена патентными свидетельствами. Компания является обладателем нескольких «ноу-хау». Все это обеспечивает надежную охрану интеллектуальной собственности.

С рецензией на доклад «Разработка и внедрение регулируемых электроприводов на основе вентильных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов», представленный ОАО НПО «Русский электропривод» на научно-технический совет ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» выступил Технический директор ИЦ ООО «ЭНЕЛ» Лазарев Григорий Бенционович.

В своём выступлении Лазарев Г.Б. отметил основные достоинства электроприводов с ВД с постоянными магнитами на роторе.

В представленной презентации доклада затронуты и проиллюстрированы практически все наиболее значимые сферы применения частотно-регулируемых

электроприводов на основе ВД с возбуждением от постоянных магнитов основе ВД с возбуждением от постоянных магнитов. Вместе с тем, поскольку на рецензию была представлена презентация доклада, а текст доклада отсутствовал, приведенный ниже ряд замечаний и предложений относится к материалам презентации.

1. При перечислении достоинств ВД с ПМ следовало бы, по мнению рецензента, иметь в виду, что частотно-регулируемые электроприводы с на основе асинхронных двигателей с к.з. ротором и синхронных двигателей с бесщеточным возбуждением также, как и регулируемые электроприводы на основе ВД с ПМ обеспечивают плавные пусковые характеристики без возмущений в сети и регулирование частоты вращения в широком диапазоне. При этом не вполне корректны приведенные диаграммы пусковых токов, т.к. при управлении от преобразователя с регулируемой частотой пусковые токи сравниваемых электродвигателей будут практически одинаковыми. Врядли при этом имел смысл привлекать для сравнения асинхронный двигатель с управлением от УПП.

2. В числе достоинств электропривода на основе ВД с ПМ указаны «пониженные уровни шума и вибрации», но не сказано по сравнению с чем? Общеизвестно, что достижение этого эффекта обуславливает усложнение конструкции ВД (выполнение статора многофазным, увеличения на роторе числа полюсов-магнитов, выбор рациональной зубцовой зоны и т.д.). Очевидно, что это может приводить к увеличению габаритов и массы ВД.

3. Возможность работы электропривода на основе ВД с ПМ в генераторном режиме определяется не типом электродвигателя переменного тока, а топологией преобразователя частоты.

4. Отказ от дроссельного регулирования производительности насосных и вентиляторных установок обеспечивается частотно-регулируемым электроприводом с применением любого типа электродвигателя-асинхронного, синхронного, вентильно-индукторного.

5. Сравнительные характеристики ВД с ПМ по массе более информативны, если их сравнивать по удельному показателю кВт/кГ. С учетом этого приведенное сравнение по массе электродвигателей различной мощности, применяемых в электроприводе нефтеперекачивающих насосов будет иметь вид

-ВЭД с ПМ	14 МВт	0,56 кВт/кГ
-СТДП -14000	14 МВт	0,29 кВт/кГ
-АД ТМЕИС	14 МВт	0,325 кВт/кГ
-СД ASI Robicon	12,8МВт	0,333 кВт/кГ

Для сравнения приведены данные АД с к.з.ротором Siemens во взрывозащищенном исполнении мощностью 12 МВт, 10 кВ, имеющий удельный показатель 0,57 кВт/кГ.

6. При рассмотрении электроприводов газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) уместно было бы, по мнению рецензента, сравнить высокооборотные ВД с ПМ с высокооборотными асинхронными двигателями с к.з. ротором, которые предлагает для ЭГПА РЭП-Холдинг. Это двигатели на мощности 4,6, 12,5 МВт с частотой вращения 6500 и 8200 об/мин имеют систему активного магнитного подвеса для бесконтактного подвеса вала ротора двигателя и нагнетателя.

Как обеспечиваются высокие частоты вращения у ВД с ПМ разработки НПО «Русский Электропривод» в презентации доклада не указывается.

7. В разделе презентации, посвященном рассмотрению систем электродвижения на основе ВД с ПМ на роторе, кроме фото двигателя и некоторых его параметров, не больше приводится никакой информации, что затрудняет дать корректную оценку этой разработке. Неясно, для чего предназначена СЭД-4, имеющая невысокий показатель кВт/кГ, равный 0,082.

8. Перспективным направлением представляется применение ВД с ПМ регулируемом электроприводе гребных винтов. Рассматриваемый гребной электродвигатель ГЭДЛ -20000 спроектирован на мощность 20000кВт при номинальной частоте вращения 165 об/мин и имеет удельный показатель 0,148 кВт/кГ.

Для сравнения можно отметить, что один из самых мощных в мире корабельных ВД с возбуждением от постоянных магнитов, спроектированный и изготовленный для военно-морского флота США компанией DRS Technologies, имеет мощность 36,5 МВт при номинальной частоте вращения 127 об/мин и удельный показатель ~0,7 кВт/кг.

9. Очевидно, что оптимальные характеристики частотно-регулируемых электроприводов на основе ВД с возбуждением от постоянных магнитов зависят не только от того, насколько рационально спроектирован ВД, типов и характеристик применяемых высококоэрцитивных постоянных магнитов, в частности из сплавов «самарий –кобальт», «неодим-железо-бор» с остаточной индукцией Br порядка 1,1 Тл и коэрцитивной силой Нс порядка 800кА/м, но и в значительной мере от электронной системы управления, основными обязательными компонентами которой являются преобразователь частоты и устройство, обеспечивающее позиционную обратную связь по положению ротора – специальный датчик положения ротора (ДПР). Последний является наиболее сложным компонентом электропривода.

10. Не вдаваясь в анализ способов определения положения ротора ВД с постоянными магнитами, что не входит в задачу рецензента, следует отметить, что применение тех или иных типов ДПР, выполненных, например, на основе дискретного датчика Холла, фотоэлектрического энкодера и т.п., неизбежно приводит к усложнению конструкции ВД, снижению точности измерений, помехоустойчивости и надежности. Применение подобных ДПР при проводной связи с удаленной системой управления ВД в целом ряде случаев практически невозможно (например, в электроприводе погружных насосов нефтяных скважин). Значительные ограничения возникают при применении таких ДПР с оборудованием, подвергающимся значительным воздействиям вибрационного и ударного характера (тяговый электропривод, электропривод мельниц и т.п.). Проблемой, которую приходится решать в регулируемом электроприводе с ВД, является сложность обеспечения сигнала управления при неподвижном роторе.

Альтернативой ДПР является бездатчиковый метод (sensorless) формирования алгоритмов управления ВД, основанный на разных принципах вычисления положения ротора.

К сожалению в презентации доклада отсутствует какая-либо

информация, объясняющая принцип и структуру управления регулируемым электроприводом на основе ВД с ПМ.

11. Из презентации доклада неясно, как решается в частотно-регулируемом электроприводе с ВД обеспечение режима самозапуска и подхвата ВД при восстановлении напряжения сети после перерывов электроснабжения с максимальной длительностью до 2,5с.

12. В презентации доклада, как представляется рецензенту, было бы уместно привести референцию по внедренным электроприводам на основе ВД с ПМ с указанием места и года внедрения.

В обсуждении доклада приняли участие: Шакарян Ю.Г., Львов Ю.Н., Новиков Н.Л.

Заслушав выступления, обсуждения и дискуссии секция отмечает:

1. Из презентации доклада виден значительный объем НИОКР, выполненный на весьма высоком уровне специалистами ОАО «НПО Русский электропривод». Систематично показаны наиболее значимые сферы применения регулируемых электроприводов на основе вентильных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов на роторе.

2. До настоящего времени основными факторами, сдерживающими широкое внедрение таких электроприводов по сравнению с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами, пока остаются относительно высокая себестоимость ВД с возбуждением от постоянных магнитов, вызванная необходимостью применения дорогостоящих высококоэрцитивных магнитов и датчиков определения положения ротора.

3. Можно констатировать, и это следует из целого ряда зарубежных публикаций, что в мировой практике бесконтактные регулируемые электроприводы на основе ВД с постоянными магнитами на роторе постоянно совершенствуются, как в части конструкции электродвигателя, поиска новых высококоэрцитивных магнитных материалов и удешевления магнитов, применения бездатчиковых интеллектуальных систем управления.

Секция решила:

1. Одобрить результаты выполненных работ по разработке мощных вентильных машин с возбуждением от постоянных магнитов, выполненных НПО «Русский Электропривод». Отметить глубину проработки, доведенную до рабочей конструкторской документации.

2. Работа выполнена на мировом уровне и создано импортозамещающее оборудование.

3. Применение мощных регулируемых электроприводов на основе ВД с возбуждением от постоянных магнитов представляется целесообразным, прежде всего для систем, требующих глубокое регулирование по частоте вращения с сохранением высокого КПД, а также при необходимости обеспечения ряда специфических характеристик, например минимальных шумов и вибраций.

4. Рекомендовать заинтересованным организациям (ОАО «Роснефть»,

ОАО «Газпром», ПАО «ИнтерРАО», Министерство судостроительной промышленности) рассмотреть возможность использования данной разработки в качестве импортозамещающего оборудования.

5. ПАО «ИнтерРАО» изучить возможность замены турбоприводов питательных насосов энергоблоков ТЭС на электроприводы с постоянными магнитами.

Первый заместитель
Председателя
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор

В.Молодюк В.В. Молодюк

Ученый секретарь
Научно-технической
коллегии, к.т.н.

Председатель секции
«Электротехническое оборудование»
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

Ю.Г.Шакарян Ю.Г. Шакарян

Ученый секретарь секции
«Электротехническое оборудование»
НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

А.Ю.Хренников А.Ю. Хренников

Я.Ш.Исамухамедов Я.Ш. Исамухамедов