

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор,  
проректор по научной работе УлГТУ  
\_\_\_\_\_ Н.Г. Ярушкина  
« 20 ~~ноября~~ ~~2016~~ ~~г.~~ 2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Попова Александра Владимировича  
«Исследование и разработка методов расчёта эксплуатационной надёжности  
изоляции обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей  
нефтехимического производства»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»

На нефтехимических производствах для привода технологического оборудования широкое применение находят высоковольтные асинхронные электродвигатели (ВАЭ) мощностью до 2000 кВт и более. В системе электроснабжения некоторых крупных нефтехимических производств эксплуатируется до 500 единиц ВАЭ.

Значительная часть отказов ВАЭ приходится на повреждение обмоток и составляет 95%. В том числе: межвитковое замыкание – 93%; пробой межфазовой изоляции – 5%; пробой пазовой изоляции – 2%. На предприятиях нефтехимической промышленности в течение года подвергаются ремонту до 10% парка ВАЭ. Основными факторами, приводящими к отказам, являются следующие: технологические – 35%; эксплуатационные – 50%; конструкционные – 15%.

Характерным видом отказа обмотки статора ВАЭ является разрушение изоляции катушки. Данный вид отказа является тяжёлым и требует капитального ремонта двигателя с заменой катушек. Перекрытие изоляции мощной электрической дугой также приводит к полному разрушению изоляции катушек.

С увеличением нагрузок в эксплуатации, уменьшением ресурса элементов машин, отклонениями в системе планово-предупредительного ремонта

происходит увеличение удельных нагрузок на детали и узлы ВАЭ, что приводит в результате к снижению их надёжности. Существующие методы расчёта на надёжность на этапе проектирования не в полной мере учитывают свойства структуры ВАЭ и функциональные связи между элементами электромеханической системы.

В результате имеет место прохождение скрытых дефектов в эксплуатацию. В связи с этим задача разработки методов расчёта надёжности изоляции паза ВАЭ с учетом структуры и её межэлементных связей является актуальной, решение которой позволит на этапе проектирования снизить уровень прохождения дефектных ВАЭ в эксплуатацию и сократить количество отказов в эксплуатации.

Выявив существующие проблемы по методам расчёта эксплуатационной надёжности изоляции обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей нефтехимического производства, автор обоснованно формулирует цель исследования: повышение качества расчётов эксплуатационной надёжности изоляции высоковольтных асинхронных электродвигателей нефтехимического производства мощностью от 200 до 5700 кВт.

Научно-практическое значение имеют полученные научные и прикладные результаты, которые могут быть использованы проектными, научно-исследовательскими институтами, промышленными предприятиями, где имеют место исследование и проектирование новых типов высоковольтных асинхронных электродвигателей или модернизация существующих. Разработанные методы расчёта могут быть использованы при совершенствовании системы планово-предупредительного ремонта в эксплуатации путём расчёта рациональных сроков ремонта и определения его объёма.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается актом о внедрении результатов работы на промышленном нефтехимическом предприятии, а также в учебном процессе. Предложенные принципы построения структурно-функциональных моделей конструкции изоляции высоковольтных асинхронных электродвигателей нефтехимического производства позволяют учитывать межэлементные связи, что дает возможность формирования рациональных вариантов конструкции по критерию максимальной надёжности.

Предложенные математические модели и вероятностные дифференциальные уравнения позволяют с высокой достоверностью определить надёжность обмотки статора высоковольтных асинхронных электродвигателей при различных нагрузках и условиях эксплуатации. Предложенные математические модели влияния нагрузки на элементы паза обмотки позволяют

проводить оценку параметров интенсивности их отказов и дают возможность итерационного выбора рационального варианта уровня надёжности узла.

Предложенная методика оценки вероятностно-статистических характеристик нагрузки привода позволяет определить законы функции плотности распределения тока нагрузки ВАЭ и мощности и их влияния на надёжность.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных режимов нагрузок ВАЭ в производственных условиях. Получены аналитические зависимости интегральной функции плотности распределения нагрузок, которые могут быть использованы для оптимизации эксплуатационных режимов по критерию надёжности. Впервые получены модели надёжности изоляции катушек, где используется критерий ресурса изоляции Ван Гоффа-Аррениуса.

Проведение исследований потребовало от автора умения проводить сложные многофакторные экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации, глубоких знаний методов теории вероятностей и математической статистики, теории электрических машин, теории электропривода. Всё это позволяет сделать вывод о высокой квалификации А.В. Попова как состоявшегося исследователя, способного определять актуальные задачи, используя научные знания и большой производственный опыт разрабатывать новые методы, способные решать практические задачи, решение которых повышает надёжность ВАЭ.

В целом диссертационная работа производит благоприятное впечатление: изложение материала, оформление текста, таблиц и иллюстраций выполнено в соответствии с существующими требованиями, на хорошем научном уровне и, безусловно, заслуживает положительной оценки. Автореферат полностью отражает основное содержание работы.

В процессе рассмотрения и обсуждения были высказаны следующие замечания:

1. Желательно было бы в структурной модели учесть элементы железа статора.

2. В экспериментальной части при определении функции плотности распределения не показано, как влияет изменение интервалов нагрузок на качество оценок параметров.

3. Нет структурной схемы развития методов и моделирования надёжности высоковольтных асинхронных электродвигателей, необходимо дополнить данными И.А. Ушакова.

4. Соискатель не осветил возможности более широкого использования результатов исследования в других отраслях.

5. Рекомендуются часть иллюстраций перенести в приложение.

6. При формировании моделей надёжности не даны конкретные данные пределов мощностей ВАЭ.

7. В работе для трёх перспективных с точки зрения автора методов расчёта не приводятся оценки их относительной точности. В таком случае трудно отдать предпочтение какому-либо из них.

8. Для сравнения различных вариантов выполнения обмотки по какому-либо показателю надёжности  $P(t), Q(t), \lambda(t)$  хорошо было бы привести контрольные нормативы.

9. К основным показателям надёжности автор относит  $P(t), Q(t), \lambda(t), T_{ср}$ . В отношении  $T_{ср}$  в работе содержится недостаточно информации.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы и не снижают значимости осуществленных автором исследований и полученных результатов. Полученные в диссертационной работе результаты представляют интерес для широкого круга специалистов и могут быть использованы в проектных организациях, в процессе эксплуатации высоковольтных асинхронных двигателей на всех предприятиях, где они используются. В частности, на предприятиях нефтехимической промышленности.

**Общее заключение.** Представленные в работе результаты вносят важный вклад в развитие методов расчёта эксплуатационной надёжности изоляции обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей нефтехимического производства. Вынесенные на защиту научные положения в достаточной мере обоснованы и соответствуют поставленным целям и решаемым задачам. Учитывая новизну и теоретическую обоснованность сформулированных положений, научную и практическую значимость результатов, можно сделать заключение, что диссертационная работа «Исследование и разработка методов расчёта эксплуатационной надёжности изоляции обмоток высоковольтных асинхронных электродвигателей нефтехимического производства» является завершённой научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет требованиям «Положения ВАК о присуждении ученых степеней», принятого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискания учёной степени кандидата технических наук, а её автор, **Попов Александр Владимирович**, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедры «Электроснабжение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», протокол № 2 от «19» сентября 2016 года.

Доктор технических наук,  
старший научный сотрудник,  
зав. кафедрой «Электроснабжение»  
ФГБОУ ВО «Ульяновский  
государственный технический университет»

Кузнецов  
Анатолий Викторович

«19» 09 2016 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный технический университет»  
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32  
(8422) 430-643  
espu@ulstu.ru , es@ulstu.ru

Подпись заверяю

Начальник управления кадров

З.В. Белянчикова