

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Королёва Николая Александровича на тему «Оценка технического состояния электротехнических комплексов с асинхронным электроприводом по частотным составляющим спектра тока», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Вопросы повышения надежности сложных электротехнических систем и, в первую очередь, автоматизированных электроприводов (АЭП) уже долгие годы являются исключительно важными и актуальными. Требование обеспечения высокой надежности при проектировании, изготовлении и технической эксплуатации электроприводов является одним из важнейших. В настоящее время самое широкое применение на практике находит асинхронный электропривод, важнейшим элементом которого является асинхронный электродвигатель. Сложность современных систем управления электроприводом, все возрастающие мощности асинхронных электродвигателей предъявляют повышенные требования к обеспечению их работоспособности. Несмотря на многочисленные исследования в области технического диагностирования электроприводов актуальной остается задача разработки унифицированных и достоверных методик оценки их технического состояния и, прежде всего, электродвигателей, для которых в явном виде отсутствуют условия работоспособности.

В этой связи, диссертационная работа Королёва Н.А., посвященная разработке методики и алгоритмов оценки технического состояния электротехнических комплексов с АЭП на основе анализа спектра тока приводного электродвигателя, безусловно, является актуальной.

### **Научные результаты диссертационного исследования и их новизна**

1) На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены граничные значения амплитуд гармонических составляющих в спектре тока асинхронного электродвигателя с частотным управлением, позволяющие установить вид и уровень дефекта электропривода.

2) Предложены критерии оценки технического состояния асинхронного электропривода, позволяющие количественно оценить уровень дефекта.

3. На основе анализа амплитудных значений гармоник в спектре потребляемого тока асинхронного электродвигателя разработаны алгоритмы оценки технического состояния АЭП, которые впервые позволили оценить вид и уровень дефекта приводной машины.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-56 от 06.04.22  
КУ УС

анализом состояния вопроса по литературным источникам;  
 строгостью используемых математических методов, результатами  
 экспериментальных исследований на лабораторном стенде;  
 апробацией результатов работы в публикациях и выступлениях на  
 конференциях.

### **Практическая значимость работы**

Заключается в возможности использования разработанных методики и алгоритмов оценки технического состояния автоматизированных электроприводов на реальных установках, а также в учебном процессе.

### **Соответствие защищаемых положений паспорту специальности**

Область исследований в диссертации Королёва Н.А. связана с основными научными направлениями специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», записанными в ее паспорте, а именно:

п. 4 Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях.

Объектом исследования являются промышленные и транспортные электротехнические комплексы предприятий с асинхронным частотно-регулируемым АЭП.

Таким образом, диссертация Королёва Н.А. в полной мере соответствует паспорту 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», то есть специальности защиты.

### **Содержание и общая оценка диссертационной работы**

На отзыв представлены:

– диссертация объемом 169 с, включая 5 приложений на 23 страницах, которая содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы из 120 источников, 87 рисунков, 23 таблицы;

– автореферат диссертации на 22 с, в котором отражены: актуальность темы исследований и степень ее разработанности; цель работы и методы исследования; научная новизна; практическая и теоретическая ценность; основные положения, выносимые на защиту; апробация работы; результаты исследования и выводы по работе.

Представленный материал по объему и содержанию соответствует требованиям ВАК РФ и СПГУ, Горный университет.

Во введении дано общее описание работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе рассмотрены наиболее широко применяемые на практике системы управления АЭП, основанные на принципах скалярного и векторного управления. Выполнен анализ возможных дефектов элементов АЭП на примере насосной установки. Рассмотрены современные методы диагностики неисправ-

ностей электротехнических комплексов с электроприводом. Поставлены задачи диссертационного исследования.

Во второй главе проанализированы возможные дефекты асинхронного электродвигателя. Получено математическое описание частотных составляющих спектра потребляемого тока электродвигателя в зависимости от вида дефекта и его уровня. Установлены зависимости между гармоническим составом тока и напряжения на выходе автономного инвертора преобразователя частоты с частотными составляющими, определяющими вид дефекта асинхронного электродвигателя. Предложены критерий энергоэффективности АЭП при появлении дефектов электродвигателя, как суммарный коэффициент искажения синусоидальности тока и критерий работоспособности, как суммарный коэффициент пульсаций электромагнитного момента.

В третьей главе рассмотрены граничные значения диагностических параметров, определяющих техническое состояние АЭП в зависимости от вида и уровня дефекта электродвигателя. Введены в рассмотрение и получены количественные оценки границ работоспособности АЭП, как предельных значений тока и напряжения, границы предельно-допустимого и допустимого режимов работы АЭП. На основе выполненных исследований теоретически описана область работоспособности АЭП.

В четвертой главе рассмотрена структура системы контроля технического состояния АЭП и описаны разработанные алгоритмы и устройства оценки его технического состояния. Рассмотрена схема лабораторного стенда АЭП, позволяющая имитировать дефекты электродвигателя.

В заключении приводятся основные результаты работы, сформулированные в виде десяти пунктов.

В приложении представлены экспериментальные данные по исследованию границ амплитудных значений частотных составляющих тока асинхронного электродвигателя; технические характеристики оборудования лабораторного стенда; программный код разработанных алгоритмов; копии полученных патентов и свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ; справка о внедрении результатов диссертационной работы в АО «Приборный завод «ВИБРАТОР».

Оценивая работу в целом, можно отметить, что поставленные задачи решены. В работе используется современный математический аппарат. Большое внимание уделяется экспериментальным исследованиям и обработке полученных данных.

Основные результаты и выводы диссертации являются вполне обоснованными и достоверными. Они подтверждаются математическим моделированием. Работу отличает фундаментальность, большое число примеров, практическая направленность исследований.

Автореферат достаточно точно отражает содержание диссертационной работы. Выводы по главам и заключение по работе дают представление о научных результатах и практическом применении диссертационных исследований.

Следует отметить хорошую апробацию результатов исследования, включающую патенты на изобретение.

### Замечания по работе

1) Неудачно сформулированы первое положение научной новизны и положения, выносимые на защиту. Объектом исследования является электротехнический комплекс, а цель работы ограничивается оценкой технического состояния АЭП. Вместе с тем, по сути, в работе оценивается техническое состояние асинхронного электродвигателя.

2) Анализ методов оценки технического состояния АЭП представляется недостаточно полным. В списке литературных источников отсутствуют ссылки на актуальные работы по данной тематике.

3) Во введении говорится о том, что при построении АЭП в 85% случаев используют двухзвенную структуру, состоящую из неуправляемого выпрямителя и инвертора. Данная цифра вызывает большое сомнение, а в работах, на которые ссылается автор об этом вообще ничего не говорится.

4) Вызывает сомнение представленная автором классификация известных подходов к оценке технического состояния ЭТК. Нельзя сопоставлять между собой, например, статистический, прогнозный и модельный подходы. Вывод о недостатке модельного подхода из-за трудности построения математической модели электродвигателя представляется необоснованным.

5) Не ясно, как получены формулы (2.1) и (2.2); чем отличаются числа « $n$ » и « $r$ »; откуда взято ограничение  $-80$  ДБ? В источнике, на который ссылается автор, таких формул нет.

6) Из формулы (2.38) следует, что влияние искажений, кратных, например, основной гармонике и несущей частоте на общие искажения тока при дефектах электродвигателя имеют одинаковый весовой коэффициент. Откуда это следует?

7) Приведенное в диссертации определение работоспособности (с. 72) в полной мере не соответствует ГОСТ, на который ссылается автор. Кроме того, в настоящее время действует новый ГОСТ Р27.102-2021, в котором определение работоспособного состояния уточнено. Представленные в табл. 4.1 виды технического состояния, кроме неисправного состояния, также не соответствуют ГОСТ и общепринятой терминологии.

8) Диагностическими параметрами в работе по сути являются коэффициент искажения синусоидальности тока и коэффициент пульсаций момента, которые, в свою очередь, являются функциями первичных параметров асинхронного электродвигателя. При этом рассматриваются лишь дискретные значения этих параметров, обусловленные внезапными отказами обмоток машины и, как следствие, учитываются только качественно различающиеся ее состояния.

9) Теоретически можно оценивать различные состояния электродвигателя, обусловленные межвитковыми замыканиями обмоток, обрывом стержней. На практике это приводит к быстрому выходу из строя электродвигателя.

10) При рассмотрении границ технического состояния АЭП ничего не говорится про условия работоспособности, которые определяют предельно допустимые значения динамических показателей качества электропривода, например, длительность переходного процесса, максимальное перерегулирование.

Оценка состояния АЭП должна прежде всего распознать работоспособное или неработоспособное состояния, которые определяются условиями работоспособности.

11) Структурно-функциональная схема оценки технического состояния АЭП (рис. 4.1) содержит ошибки и неточности. Исполнительный механизм не входит в понятие АЭП. Уровень узлов и уровень элементов – это одно и то же. По сути, имеется только два морфологических уровня. Например, уровень элементов – это, по сути, не морфологический уровень, а состояние узлов (элементов).

12) Не обоснован аддитивный вид функции (4.6), определяющей коэффициент технического состояния.

13) Из представленной схемы устройства оценки технического состояния (рис. 4.8) не ясно, каким образом блок 6 осуществляет расчет остаточного ресурса? В работе написано, что данный блок рассчитывает ожидаемый срок службы объекта диагностирования, что принципиально не соответствует понятию остаточного ресурса.

14) Имеются неточности, ошибки, отступления от ГОСТ. Например:

– точность и быстродействие не являются функциями электропривода, а являются его свойствами (с. 72);

– название параграфа 3.4 не имеет смысла. Что значит «Оптимальная область работоспособности?» Какой критерий оптимальности имеется в виду?;

– диапазон регулирования не 1:40, а 40:1; Не 1:1000, а 1000:1 (табл. 3.4);

– на рис.1.3 диоды обозначены не по ГОСТ, в формулах (2.22)-(2.25) функции косинус и синус обозначены курсивом, а не прямым шрифтом.

### Заключение

Отмеченные недостатки в своем большинстве носят частный характер. Результаты работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Полученные Королёвым Н.А. в ходе выполнения исследований и изложенные в диссертационной работе научно-практические результаты вносят заметный вклад в развитие методов оценки технического состояния электротехнических комплексов с асинхронным электроприводом. Автореферат раскрывает основные результаты и выводы диссертации. Опубликованные Королёвым Н.А. научные публикации соответствуют теме диссертационного исследования.

2. Диссертация Королёва Н.А. на тему: «Оценка технического состояния электротехнических комплексов с асинхронным электроприводом по частотным составляющим спектра тока», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденным приказом

ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор, Королёв Николай Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой электропривода и  
электрооборудования береговых установок  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»,  
доктор технических наук по специальности 05.09.03



Саушев Александр Васильевич

04 апреля 2022 года

E-mail: SaushevAV@gumrf.ru  
тел./факс: (812) 748-96-85

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»), 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская 5/7; тел. (812) 748-96-92; E-mail: otd\_o@gumrf.ru, сайт: <https://gumrf.ru/>.

