

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента Хальясмаа Александры Ильмаровны на диссертационную работу Булдыско Александры Дмитриевны на тему: «Повышение эффективности эксплуатации асинхронного электропривода на основе ранней идентификации дефектов путем анализа сингулярного спектра тока», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертация Булдыско А.Д. посвящена обнаружению развивающихся механических дефектов асинхронного двигателя (далее – АД) методом сингулярного спектрального анализа и, на их основе, – повышению эффективности эксплуатации АД в составе электротехнического комплекса транспорта нефти по критерию экономии потребления электрической энергии.

Известно, что эксплуатация электромеханического оборудования в неудовлетворительном техническом состоянии приводит к увеличению потребления электроэнергии, а раннее обнаружение развивающихся дефектов оборудования позволит снизить потери энергии и повысить энергетическую эффективность эксплуатируемого электромеханического оборудования. Проблема повышения энергетической эффективности и экономии ресурса электромеханического оборудования нефтегазовой отрасли является актуальной, данной теме посвящено множество трудов ведущих отечественных и зарубежных исследователей. Решение задачи раннего обнаружения дефектов приобретает особое значение в диагностике асинхронного электродвигателя, поскольку данный тип оборудования имеет широкую применимость в электротехнических комплексах нефтегазовой отрасли.

В целях повышения энергетической эффективности автор применяет современные методики обработки сигналов для обнаружения повреждений асинхронного двигателя. Можно отметить, что использование метода сингулярного разложения применительно к току статора асинхронного двигателя ранее не рассматривалось. В этой связи актуальность диссертационного исследования Булдыско А.Д. не вызывает сомнений.

### 2. Научная новизна и результаты работы

К основным результатам диссертационной работы, обладающим научной новизной, относятся:

ОТЗЫВ  
ВХ. № 9- 433 от 15.12.23  
АУ УС

– алгоритм на основе сингулярного спектрального анализа тока асинхронного двигателя, отличающийся тем, что позволяет выделять группы и категории компонент временного ряда тока статора АД, идентифицирующие наличие дефекта на ранней стадии развития;

– установленные зависимости изменения уровня вклада компонент, групп компонент и категорий компонент от уровня развития дефектов асинхронного двигателя: образования раковин в подшипнике, ослабления креплений и несоосности валов;

– алгоритм воздействия на план технического обслуживания и ремонта (далее – ТОиР) на основе раннего обнаружения уровня дефекта асинхронного двигателя и оценки стоимости этапа эксплуатации жизненного цикла, с учётом потерь, обусловленных наличием дефекта.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность защищаемых научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением известных методов анализа, обобщения и обработки данных; методов численного анализа; теории обобщённой электрической машины; теории электропривода; теории временных рядов; результатами экспериментальных исследований.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 6 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **4. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в разработке алгоритма выявления дефекта на ранней стадии развития и отслеживания его развития по токам фаз статора и обобщённому току двигателя; разработанной модели оценки стоимости жизненного цикла эксплуатации асинхронного электродвигателя с учётом потерь, обусловленных наличием дефектов; алгоритме воздействия на план технического обслуживания и ремонта асинхронных двигателей в составе электротехнического комплекса транспорта нефти. Полученные автором результаты внедрены в производственную деятельность ООО «НПП «Комплексные интеллектуальные технологии».

### **5. Рекомендации по использованию результатов работы**

Положения, выносимые на защиту, а также полученные результаты соискателя отражают личный вклад автора диссертации, представляют научную и практическую ценность и могут быть рекомендованы к применению в системах

диагностики и в системах планирования ТОиР АД в составе электротехнических комплексов транспорта нефти.

## **6. Замечания и вопросы по работе**

**1.** Общие замечания к формулировкам, терминам, грамматические, речевые и другие ошибки в тексте работы:

- "Разработка и оценка методик диагностирования АД по потребляемому току статора рассмотрена в трудах Баркова А.В., Баширова М.Г., Вейнреба К.Б., Новожилова А.Н., Рогачева В.А., Merizalde Y., Garcia-Perez A. Fenger M."

Замечание: присутствует ошибка употребления единственного числа при согласовании сказуемого с однородными подлежащими. Следует писать: "рассмотрены в трудах".

- "1. Выявить научно-технические проблемы эффективности функционирования объектов добычи и транспорта нефти и связанных электротехнических комплексов."

Замечание: вызывает сомнения корректность формулировки данной задачи ввиду наличия нарушения лексической сочетаемости слов "проблема" (отрицательная коннотация) и "эффективность" (положительная коннотация).

- "2. Проанализировать влияние наличия дефектов асинхронного двигателя на показатели эффективности электротехнических комплексов объектов добычи и транспорта нефти."

Замечание: в формулировке задачи усматривается языковая ошибка, связанная с речевой избыточностью: "Проанализировать влияние дефектов" вместо "Проанализировать влияние наличия дефектов".

- В тексте работы не вводились аббревиатуры "АД" и "АДКЗР", что усложняет чтение рукописи. Также по тексту автореферата и диссертации прослеживается как употребление аббревиатур, так и полных форм - асинхронный двигатель, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Также в тексте работы не вводится расшифровка аббревиатур НПП РФ, ЭТК. Наличие большого количества аббревиатур усложняет чтение текста работы, поэтому в будущем при написании текстов научных работ рекомендуется существенно снизить их количество.

- " 8. Разработать систему принятия решения по эффективному регулированию техническим обслуживанием и ремонтом асинхронных двигателей на основе потерь электроэнергии и стоимости этапа эксплуатации жизненного цикла."

Замечание: имеется грамматическая ошибка в образовании форм имен существительных: "Разработать систему принятия решения по эффективному регулированию техническим обслуживанием и ремонтом асинхронных двигателей" вместо "Разработать систему принятия решения по эффективному регулированию технического обслуживания и ремонта асинхронных двигателей".

- "1. Предложен алгоритм на основе сингулярного спектрального анализа тока асинхронного двигателя, отличающийся тем, что позволяет выделять группы и категории компонент временного ряда тока статора АД, идентифицирующие наличие дефекта на ранней стадии развития и позволяющие отслеживать изменения уровня развития дефектов. "

Замечание: ввиду употребления как единственного числа "дефект", так и множественно числа "дефектов", из представленной формулировки не ясно, позволяет ли разработанный алгоритм идентифицировать единичный дефект или множество дефектов.

- "Разработана алгоритм выявления дефекта на ранней стадии развития и отслеживания его развития по токам фаз статора и обобщенному току двигателя и методика выявления признаков, характеризующих возникновение и развитие дефекта на основе метода сингулярного разложения исходной выборки применительно к сигналу тока статора АДКЗР. "

Замечание: имеется ошибка в формообразовании сказуемого "Разработана" по отношению к дополнению "алгоритм" (существительное мужского рода).

- "Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав, с выводами по каждой их них, заключения, списка литературы, включающего 177 наименований. "

Замечание: имеется опечатка "с выводами по каждой их них". Корректная формулировка "с выводами по каждой из них".

- Вызывает сомнения корректность формулировки "временной ряд потребления тока статора АД".

- В формулировке "и изложен алгоритм обнаружения неисправностей АД на основе тока статора методом сингулярного спектрального анализа." в тексте работы целесообразно изменить порядок слов и изложить ее следующим образом: "и изложен алгоритм обнаружения неисправностей АД на основе сингулярного спектрального анализа тока статора."

- В формулировке "результатов модели оценки стоимости жизненного цикла эксплуатации, учитывающей наличие дефектов двигателя." целесообразно исключить слово "модели".

- В расшифровке компонентов формулы (8) автореферата и формулы (4.1) диссертации "где  $p_i(t_{(o.p.)})$  – мгновенная мощность -го оборота вала ротора" пропущен индекс.

- Формулировка "Предложены новые признаки выделяемых компонент по свойству стационарности: стационарные, слабостационарные, мигрирующие учитывающий различные методы группировки компонент и определение их вклада." в заключении не согласована.

2. Формулировка из текста диссертации: "Учитывая продолжительный режим работы электрических машин в нефтегазовой промышленности и длину жизненного цикла эксплуатации, составляющую более 12-20 лет, наличие развивающихся дефектов приводит к снижению эффективности технологических процессов и ключевых показателей эффективности всей компании".

Замечание: В работе не представлена связь срока эксплуатации с вероятностью обнаружения развивающихся дефектов, что не позволяет оценить достоверность данного тезиса.

3. Формулировка из текста диссертации: "наличие развивающихся дефектов приводит к снижению эффективности технологических процессов и ключевых показателей эффективности всей компании".

Замечание: не ясно о каких ключевых показателях эффективности компании идет речь. Также необходимо прокомментировать механизм влияния развивающихся дефектов на данные показатели.

4. Формулировка из текста диссертации: "6. Проанализировать эффективность управления техническим обслуживанием и ремонтом асинхронных двигателей в составе электротехнических комплексов транспорта нефти и разработать алгоритм воздействия на ТОиР АД на основе выявления дефекта и отслеживания его развития."

Замечание: Известно, что алгоритм – это четкая последовательность действий, выполнение которых дает какой-либо заранее известный результат. Соответственно, алгоритм применим к определенным наборам входных данных. Исходя из сказанного, следует, что выявление дефекта является входным параметром (условием) для работы алгоритма, а сам алгоритм должен быть основан на разработанной автором логике воздействия на ТОиР.

**5.** Формулировка из текста диссертации "2. Разработана модель оценки стоимости жизненного цикла эксплуатации асинхронного электродвигателя с учетом потерь, обусловленных наличием дефектов."

Замечание: требуется пояснение по использованию соискателем термина "жизненный цикл эксплуатации". Согласно ГОСТ Р 53791-2010, жизненный цикл продукции (ЖЦП) – это совокупность взаимосвязанных процессов изменения состояния продукции при ее создании, использовании (эксплуатации) и ликвидации (с избавлением от отходов путем их утилизации и/или удаления). Таким образом, эксплуатация - является лишь одним из этапов жизненного цикла. Также вызывает интерес обратная связь между различными этапами жизненного цикла, которая может быть получена по результатам анализа эксплуатации двигателей, и учтена при последующем проектировании и изготовлении, а также при эксплуатации путем изменения режимов работы двигателей, изменения технических требований и прочего.

**6.** Формулировка из текста диссертации: "2. Применение алгоритма управления планом ТОиР на основе раннего обнаружения дефектов по электрическим параметрам и оценки стоимости процесса эксплуатации с учетом потерь, обусловленных наличием дефектов, позволяет повысить эффективность эксплуатации асинхронного электропривода в составе электротехнических комплексов объектов добычи и транспорта нефти."

Замечание: вызывает интерес степень повышения эффективности эксплуатации асинхронного электропривода в результате применения разработанных соискателем алгоритмов, а также метрика оценки качества работы алгоритмы повышения эффективности эксплуатации двигателя.

**7.** В описании теоретической и практической значимости соискателем упоминается разработка алгоритма выявления дефекта на ранней стадии и отслеживания его развития. При этом в описании личного вклада автора соискатель упоминает методику ранней идентификации и отслеживания развития дефектов асинхронного двигателя. Аналогично, при развернутом описании положений, выносимых на защиту, соискатель ссылается на методику, представленную на рисунке 1. Ввиду фундаментального отличия алгоритма от методики, необходимо пояснить различие между этими двумя тезисами или доказать их равнозначность.

**8.** В тексте работы соискатель оперирует терминами "неисправность", "дефект", "повреждение". Необходимо пояснить отличие этих терминов или

