ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора **Харитонова Сергея Александровича** на диссертацию **Скамьина Александра Николаевича** на тему: «Развитие методов оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения предприятий с учетом долевых вкладов источников искажений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

На рассмотрение представлены рукопись и автореферат диссертации. Диссертация содержит 315 страниц машинописного текста, 119 рисунков, 54 таблицы, список литературы из 292 наименований и 11 приложений. Автореферат диссертации содержит 40 страниц машинописного текста, включая список основных публикаций по теме исследования.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность диссертационной работы Скамьина А.Н. определяется возрастающими требованиями к надежности и качеству электроснабжения современных промышленных предприятий, которые функционируют в условиях цифровизации технологических процессов и интенсивного внедрения устройств автоматизированного управления электротехническими комплексами. Такое оборудование является чувствительным к качеству электрической энергии, но, с другой стороны, их функционирование также приводит к возникновению гармонических искажений в напряжении и токе, например, при работе автоматизированных электроприводов с применением преобразователей частоты. Это приводит к проблемам, связанным с повышенными потерями в электрических сетях и оборудовании, снижением их сроков службы, ложными срабатываниями устройств релейной зашиты и автоматики, что является причиной прерывания технологического процесса и экономических убытков.

В настоящее время наблюдается тенденция к рассредоточенности нелинейных электрических нагрузок в системах электроснабжения промышленных предприятий, так как их подключение осуществляется на разных уровнях напряжения в различных точках электрической сети. В таких условиях достаточно сложно оценить влияние каждого из потребителей в ухудшение показателей качества электрической энергии и осуществить выбор параметров фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), способных решить проблему нормализации несинусоидальности тока и напряжения при наличии рассредоточенных источников искажений. В связи с этим возникает необходимость совершенствования существующих подходов, методов оценки и нормализации

ОТЗЫВ
ВХ.№ 9-689 от 18.11.26
АУ УС

уровней высших гармоник (ВГ) с учетом взаимосвязанных долевых вкладов по току и напряжению.

Таким образом, разработка научно-обоснованных методов оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения предприятий с учетом долевых вкладов распределенных источников искажений, применение которых обеспечивает повышение качества электрической энергии и энергоэффективности производственных процессов, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение.

2. Научная новизна и результаты диссертационной работы

В диссертации получены результаты, имеющие научную новизну, наиболее значимыми из которых являются следующие:

1. Разработан метод оценки несинусоидальности тока и напряжения в сетях 0,4-10 кВ при наличии распределенных источников искажений, основанный на определении остаточных значений ВГ в узле нагрузки.

Новизна данного метода заключается в раздельной оценке влияния внешних и внутренних источников искажения на основе определения остаточных значений ВГ в узле нагрузки и выявлении границ применения разработанного метода в сетях напряжением 0,4 – 10 кВ с учетом двух введенных критериев: отношение мощности короткого замыкания системы для определения гармонического сопротивления сети с учетом предложенного алгоритма на основе генерации нехарактерных гармоник; отношение мощности короткого замыкания системы к мощности питающего узел нагрузки трансформатора для определения влияния внешних источников искажений на показатели качества электроэнергии в рассматриваемом узле нагрузки.

2. Разработан метод определения долевых вкладов источников искажений, позволяющий проводить выбор узла нагрузки с наибольшим алгебраическим вкладом и оценку взаимосвязанных уровней снижения ВГ тока и напряжения по геометрическим долевым вкладам.

Впервые введены понятия алгебраического и геометрического долевого вклада, которые позволяют ранжировать присоединения по наибольшим вкладам и первоочередности мест подключения ФКУ, а также проводить оценку уровня снижения ВГ тока и взаимосвязанного уровня снижения напряжения. Также новизна заключается в возможности определения долевых вкладов источников искажений при скомпенсированных значениях ВГ токов и напряжений в узле нагрузки на этапе эксплуатации ФКУ.

3. Разработан метод выбора средств снижения уровня ВГ, учитывающий долевые вклады источников искажений, который позволяет нормализовать уровни

ВГ, определяемые как внешними, так и внутренними источниками искажений, без перегрузок ФКУ и с минимальными затратами.

Новизна состоит в установлении зависимостей уровней ВГ, протекающих через цепи пассивного и активного фильтра гармоник, от долевых вкладов внешних источников искажений, мощности короткого замыкания сети и параметров ФКУ, что позволяет учесть гармонические составляющие тока внешних источников искажений при расчете перегрузки ФКУ и выборе их параметров. Кроме этого, выбор мест подключения, типа и параметров ФКУ определяется в зависимости от значений алгебраических и геометрических долевых вкладов распределенных источников искажений.

4. Разработана методология оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения, которая основана на комплексном применении разработанных методов, способов и алгоритмов.

Новизна состоит в системной интеграции разработанных методов в единую методологию, которая заключается во взаимосвязанном комплексном применении методов раздельной оценки влияния нелинейных нагрузок, методов определения их долевых вкладов, а также методов определения мест подключения, типа и параметров ФКУ на основе выявленных алгебраических и геометрических долевых вкладов, что позволяет нормализовать уровни ВГ и повысить энергоэффективность электротехнических комплексов предприятий с распределенными источниками искажений.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне, а научные положения и выводы аргументированы и обоснованы. Обоснованность полученных научных результатов определяется использованием научно-методического аппарата, основанного на положениях теории и расчета электрических цепей и систем электроснабжения, теории комплексных чисел, теории вероятностей и методов математической статистики. Автором обоснованно применены численные и аналитические методы решения дифференциальных уравнений, математическое и компьютерное имитационное моделирование несинусоидальных режимов работы, методы экспериментальных лабораторных и производственных исследований на физических объектах.

Достоверность полученных научных результатов подтверждается проведенным всесторонним анализом известных научно-исследовательских работ по предмету исследования, достаточным объемом аналитических, имитационных и экспериментальных исследований, достаточной сходимостью результатов теоретических, экспериментальных и натурных исследований, а также апробацией полученных результатов на конференциях и публикацией результатов в научных

рецензируемых журналах. Полученные результаты демонстрируют воспроизводимость и согласованность с экспериментальными данными, что свидетельствует о корректности применения моделей и методических подходов. Стоит отметить высокий уровень практической апробации результатов.

Таким образом, полученные в работе результаты обладают высокой степенью обоснованности, достоверности и практической проверяемости.

4. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы по пунктам 1, 3 и 4.

5. Теоретическая значимость диссертации

Автором выполнен всесторонний анализ проблем применения существующих методов оценки и нормализации уровней ВГ, определения долевого вклада источников искажений в системах электроснабжения промышленных предприятий и предложен комплекс новых алгоритмов, методов и подходов для решения выявленных проблем. Это позволило сформировать научно-обоснованную методологию оценки и нормализации несинусоидальсности тока и напряжения, объединяющую методы оценки раздельного влияния внешних и внутренних источников искажений, методы определения долевых вкладов источников искажений, методы выбора места подключения ФКУ на основе алгебраических долевых вкладов и выбора параметров ФКУ на основе геометрических долевых вкладов. Полученные результаты являются развитием теории и методов оценки и анализа несинусоидальных режимов работы систем электроснабжения предприятий с учетом взаимосвязи и влияния друг на друга распределенных источников искажений как по току, так и по напряжению.

Разработанные положения расширяют существующие теоретические представления и создают методическую основу для совершенствования методов выбора параметров ФКУ и нормализации уровней ВГ при наличии распределенных источников искажений.

6. Практическая значимость и рекомендации по использованию результатов работы

Практическая значимость диссертационного исследования Скамьина А.Н. заключается в следующем:

1. Разработан способ оценки гармонического сопротивления сети на основе генерации нехарактерных ВГ, который основан на применении тиристорного регулятора мощности. Требуемая мощность такого устройства определяется на основе выявленного выражения, учитывающего мощность короткого замыкания,

мощность линейной нагрузки, порядок генерируемых гармоник и параметры измерительных устройств.

2. Разработаны способы определения долевых вкладов источников искажений на основе применения пассивных и активных фильтров. Такие способы позволяют проводить оценку долевых вкладов при эксплуатации ФКУ.

3. Усовершенствованы методики выбора параметров пассивного фильтра гармоник шунтирующего типа и параллельного активного фильтра с учетом долевых вкладов источников искажений. При применении пассивного фильтра учитывается их перегрузка токами ВГ, возникающими от внешних источников искажений. При применении параллельного активного фильтра учитывается выбор его параметров на основе раздельной оценки влияния внешних и внутренних источников искажений на уровни ВГ в узле нагрузки.

Данные результаты создают практические предпосылки для оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения в электротехнических комплексах промышленных предприятий при наличии распределенных источников искажений. Это подтверждается предложенными практическими рекомендациями по выбору параметров ФКУ в зависимости от долевых вкладов источников искажений, а также мест их подключения в системе электроснабжения нефтегазоконденсатного месторождения. Практическая значимость полученных результатов также подтверждается их использованием при выполнении договоров в рамках государственных программ, связанных с разработкой систем идентификации источников нарушения качества электрической энергии, а также методов и средств повышения качества электрической энергии на основе выявления долевого вклада источников искажений и компенсации их влияния на потребителей.

Результаты диссертационного исследования могут применяться:

- при разработке систем повышения качества электрической энергии, в том числе при выборе параметров и мест подключения ФКУ в электротехнических комплексах предприятий;

- при оценке и анализе показателей качества электроэнергии и режимов электроснабжения, выявлении узлов и присоединений с наибольшим долевым вкладом;

- при разработке проектов по обеспечению электромагнитной совместимости работы оборудования производственных объектов, имеющих в своем составе частотные электроприводы;

- в учебном процессе и научно-исследовательских работах.

Практическая применимость результатов подтверждается их апробацией на реальных промышленных объектах.

7. Замечания и вопросы по диссертации

1. Определение амплитудно-частотных характеристик электрической сети с помощью генерации нехарактерных гармоник является известным способом. Что в данном случае определяет новизну исследований при применении такого способа?

2. В формуле (1) автореферата не ясно, как определяется мощность асинхронных двигателей, если их подключено большое количество к шинам распределительного устройства.

3. В работе предложен способ оценки долевых вкладов на основе применения пассивных и активных фильтров гармоник. То есть для определения долевых вкладов необходимо предварительно подключать указанные устройства? Имеет ли это смысл при наличии других известных менее затратных способов?

4. Проводилась ли экспериментальная оценка эффективности предложенного выражения для определения тока пассивного фильтра гармоник в зависимости от долевого вклада внешних источников искажений? В работе приведено лишь сравнение с результатами имитационного моделирования.

5. В рамках выбора параметров и мест подключения ФКУ при его реализации на нефтегазоконденсатном месторождении предложено его применение на напряжении 10 кВ. Не является ли более целесообразным его применение в точке подключения нелинейной нагрузки (на стороне 0,4 кВ)?

6. В работе предложены новые методы определения долевых вкладов источников искажений. При этом отсутствуют предложения по их применению в рамках определения виновника ухудшения качества электрической энергии и разработки стимулирующих мер по его улучшению. Возможно ли применение полученных результатов в этой области?

7. В тексте диссертации часто встречаются неудачные словосочетания, например: «сопротивление сети, сопротивление энергосистемы, гармоническое сопротивление, сопротивление системы на частотах ВГ», что затрудняет восприятие и анализ результатов. При этом не ясно, имеют ли они одно и тоже значение или нет.

Отмеченные замечания не снижают значение и ценность полученных результатов и не влияют на положительную оценку рецензируемой работы.

8. Заключение

Диссертационная работа Скамьина Александра Николаевича является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно-обоснованные методы оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения с учетом долевых вкладов нелинейных потребителей, обеспечивающие повышение качества электрической энергии и энергоэффективности

электротехнических комплексов предприятий с распределенными источниками искажений. Представленную работу по уровню научной новизны, значимости результатов и степени их обоснованности можно квалифицировать как решение крупной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для развития систем обеспечения качества электрической энергии и электроснабжения промышленных предприятий. Диссертация «Развитие методов оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения предприятий с учетом долевых вкладов источников искажений» полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а её автор – **Скамьин Александр Николаевич** - заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент
заведующий кафедрой электроники и электротехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор

Харитонов Сергей Александрович

11.11.2026 г.

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»
адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
телефон: + 7 (383) 346-08-64, + 7 (383) 346-08-66
e-mail: Kharitonov@corp.nstu.ru

Подпись Харитонова С.А. удостоверяю:

Начальник отдела кадров стовалова