

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.12.2020 г. №18

О присуждении **Пудковой Тамаре Валерьевне**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование учета потребления электроэнергии в электротехнических комплексах предприятий при наличии искажений» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 26.10.2020 г., протокол заседания №13, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2; приказ № 1232 адм от 23.09.2019 г.

Соискатель, **Пудкова Тамара Валерьевна**, 1992 года рождения, в 2015 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» по специальности 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов. В 2019 году окончила очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника. Диплом об окончании аспирантуры получен 18.06.2019 г.

Диссертация выполнена на кафедре общей электротехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Шклярский Ярослав Элиевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра общей электротехники, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Артюхов Иван Иванович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Электроэнергетики и электротехники», профессор кафедры;

Нос Олег Викторович – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра проектирования технологических машин, профессор кафедры;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»**, г. Кемерово, в своем положительном отзыве, подписанном **Захаровым Сергеем Александровичем**, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электроснабжения горных и промышленных предприятий и **Барановой Еленой Владимировной**, секретарем заседания, утвержденном **Костюк Светланой Георгиевной**, кандидатом технических наук, доцентом, проректором по научной работе и международному сотрудничеству, указала, что практическая значимость работы заключается в разработке математической и компьютерной моделей объекта исследования, применение которых позволяет оценить влияние параметров электрической сети на показатели качества электроэнергии, причем как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации распределительной сети; разработке алгоритма учета электроэнергии с введением нового показателя отношения характеристик питающей линии, который может быть принят во внимание при разработке новых стандартов по учету потребления электроэнергии; реализации разработанного «быстрого» определения спектра гармоник, который может повысить эффективность работы компенсирующих устройств.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, в том числе 5 опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 1 опубликовано в издании, индексируемом международной базой цитирования Scopus, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 3,49 печатных листа, в том числе 2,1 печатных листа – соискателя.

Научные работы по теме диссертации:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Крыльцов, С.Б. Применение свойств пространственного вектора при анализе качества напряжения распределительной сети 6-10 кВ [текст] / С.Б. Крыльцов, **Т.В. Пудкова** // «Известия Тульского государственного университета. Технические науки», 2017. – № 12 (Том 2). – С. 457-471.

Личный вклад соискателя заключается в разработке математической и имитационной модели распределительной сети 6-10 кВ для обоснования и доказательства возможности применения теории пространственного вектора к несинусоидальным системам при симметричном несинусоидальном режиме.

2. Крыльцов, С.Б. Быстрое определение спектра несинусоидальных напряжений в распределительной сети 6-10 кВ [текст] / С.Б. Крыльцов, **Т.В. Пудкова** // «Известия Тульского государственного университета. Технические науки», 2017. – № 12 (Том 2). – С. 497-506.

Личный вклад соискателя заключается в определении спектрального состава, наиболее характерного для исследуемых распределительных сетей 6-10 кВ, в формировании допущений моделирования, разработке компьютерной модели анализируемой сети, интерпретации результатов моделирования.

3. **Пудкова, Т.В.** Применение принципов учета электроэнергии согласно теории мощности при наличии искажений [текст] / Т.В. Пудкова, А.И. Барданов, В.С. Добуш // «Известия Тульского государственного университета. Технические науки», 2019. – № 9 (Том 2). – С. 589-597.

Личный вклад соискателя заключается в разработке математической модели для оценки различий между анализируемыми подходами к теории мощности и разработке компьютерной модели блока расчета мощности, формировании выводов по результатам исследования.

4. Шклярский, Я.Э. К вопросу оплаты предприятиями потребляемой электроэнергии при наличии искажений [текст] / Я.Э. Шклярский, **Т.В. Пудкова**, Е.О. Замятин // «Известия Тульского государственного университета. Технические науки», 2019. – № 9 (Том 2). – С. 611-617.

Личный вклад соискателя заключается в разработке показателей, позволяющих оценить влияние высших гармоник на режимы электропотребления и его учет, а также разработке предложений по выбору интегральных показателей тока в качестве критерия оплаты реактивной мощности.

5. Яковлева, Э.В. Анализ перспектив регионального развития интеллектуальных энергетических систем [текст] / Э.В. Яковлева,

Е.В. Сизякова, П.В. Иванов, Ю.Л. Жуковский, **Т.В. Пудкова** // «Российский экономический интернет-журнал», 2018 – №2 – <http://www.e-rej.ru/Articles/2018/lakovleva.pdf> (дата обращения 26.05.2019).

Личный вклад соискателя заключается в проведении анализа состояния научно-технического развития и топливно-энергетического комплекса в регионах Европы, США и России, включая выводы о необходимости создания интеллектуальные интегрированные энергетические системы в России.

Публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus:

6. Барданов, А.И. Control of D-STATCOM for Asymmetric Voltage Dips Compensation [текст] / A.I. Bardanov, **T.V. Pudkova** // IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 28-30 Jan. 2019. – PP. 430-433 (*Пудкова, Т. В. Управление D-СТАТКОМ для компенсации несимметричных провалов напряжения / А. И. Барданов, Т.В. Пудкова // IEEE Сборник докладов Российской конференции молодых исследователей в области электротехники и электроники (ElConRus). – 28-30 января 2019. – С. 430-433) (Scopus).*

Личный вклад соискателя заключается в предложении способа применения в симметричной трехфазной системе при наличии искажений устройства компенсации реактивной мощности для восстановления уровня напряжения после провала с целью снижения уровня несинусоидальности.

Прочие публикации:

7. Пудкова, Т.В. Impact of the network topology on the power quality indicators [текст] / T.V. Pudkova // «Scientific reports on resource issues», 2016 – №6, – pp.494-500. (*Пудкова, Т. В. Влияние топологии сети на показатели качества электроэнергии [Текст] / Т. В. Пудкова // Научные доклады по вопросам ресурсов. – Фрайберг, 2016. – №6. – С.494-500).*

Личный вклад соискателя заключается в проведении анализа систем электроснабжения (СЭС) различной топологии, оценке влияние топологии на показатели качества электроэнергии (ПКЭ), формулировке выводов по результатам исследования.

8. Пудкова, Т.В. Методы выделения высших гармонических составляющих из сигналов токов и напряжений трёхфазной сети [текст] / Т.В. Пудкова // «Современная наука и практика». – 2016. – №5 (10). – С.19-23.

Личный вклад автора заключается в анализе различных методов определения спектрального состава напряжения и тока в

распределительных сетях предприятий, сравнении анализируемых методов на предмет отличий и условий применения.

9. Крыльцов, С.Б. Перспективы использования сетевых инверторов напряжения в составе силовых установок для повышения показателей качества напряжения распределительной сети [текст] / С.Б. Крыльцов, **Т.В. Пудкова** // «Вестник научных конференций». – Тамбов 2017. – С.97-98 <https://elibrary.ru/item.asp?id=29331034>.

Личный вклад соискателя заключается в разработке компьютерной модели распределительной сети среднего напряжения, анализе результатов исследования по влиянию работы сетевого инвертора напряжения в составе силовых установок на показатель качества электроэнергии, связанный с несинусоидальностью напряжения и тока.

10. Добуш, В.С. Определение влияния угла сдвига фаз на высших гармониках на режим работы устройств поперечной компенсации [текст] / В.С. Добуш, **Т.В. Пудкова** // Материалы международной научно-практической конференции, 19-24 ноября 2018 г. Институт энергетики и транспортных систем. Ч.2. – СПб, ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 87-89.

Личный вклад соискателя заключается в выборе диапазоне изменения угла сдвига фаз на высших гармониках согласно характеристикам сети и нагрузки рассматриваемого электротехнического комплекса.

11. Пудкова, Т.В. Учет электроэнергии в сетях промышленных предприятий среднего напряжения 6-10 кВ [текст] / Т.В. Пудкова, А.А. Пастухова, Д.И. Левчук // Сборник международного семинара «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME – 2019». – 2019 – С. 460-465.

Личный вклад соискателя заключается в разработке математической и имитационной модели для анализа достоинств и недостатков принципов, заложенных в различных подходах к теории мощности при наличии искажений в сети, а также оценке влияния соотношения линейной нагрузки к нелинейной на уровень несинусоидальности.

Патенты:

12. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2017617533. Российская Федерация. Программа быстрого определения спектрального состава симметричной трёхфазной системы несинусоидальных напряжений / С.Б. Крыльцов, **Т.В. Пудкова**; правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный

университет». – № 2017614475; заявл. 17.05.17; зарегистр. 06.07.2017; опубл. 06.07.2017 – 1 с (**Патент**).

Личный вклад соискателя: разработка блок-схемы алгоритма анализа спектрального состава симметричной трехфазной системы при наличии искажений.

13. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2019614230. Российская Федерация. Программный лабораторный комплекс для исследования трехфазных электрических и магнитных цепей / Д.И. Иванченко, В.Ю. Коптев, **Т.В. Пудкова**; правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет. – № 2019614230; заявл. 19.03.2019; зарегистр. 01.04.2019; опубл. 01.04.2019 – 1 с (**Патент**).

Личный вклад соискателя: разработка блок-схемы алгоритма определения параметров трехпроводной трехфазной электрической цепи и влияния высших гармоник трехфазного напряжения на режимы их работы, с учетом измерения мгновенной мощности.

В диссертации Пудковой Т.В. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований освещались на международных научных конференциях и других научных мероприятиях, в том числе:

– Efficiency and Sustainability in the Mineral Industry – Innovations in Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management – Germany: Freiberg, June 2016. Topic of report: «Impact of the network topology on the power quality indicators».

II Международный научно-практический семинар «Эффективность и устойчивость в горнодобывающей промышленности – инновации в геологии, горном деле, переработке, экономике, безопасности и природопользовании» – Германия: Фрайберг, июнь 2016. Тема доклада: «Влияние топологии сети на показатели качества электроэнергии».

– Международная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество» – Тамбов, 28 апреля 2017. Тема доклада: «Перспективы использования сетевых инверторов напряжения в составе силовых установок для повышения показателей качества напряжения распределительной сети».

– Международный форум по энергосбережению и развитию энергетики «Российская энергетическая неделя» (РЭН) – Москва, 3-6 октября 2018. Тема доклада: «Прогноз технологического развития топливно-энергетического комплекса России в контексте мировых трендов до 2030 года», содокладчики: Д. Е. Батуева, А. А. Халтурин, А. Д. Булдыско.

– Научная конференция с международным участием «Неделя науки-2018» – Институт энергетики и транспортных систем, ч.2 – Санкт-Петербург, 19-24 ноября 2018 г. Тема доклада: «Определение влияния угла сдвига фаз на высших гармониках»

– IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus) – SPb, 28-30 January 2019. Topic of report: «Control of D-STATCOM for Asymmetric Voltage Dips Compensation».

IEEE Российская конференция молодых исследователей в области электротехники и электроники (ElConRus) – Санкт-Петербург, январь 2019. Тема доклада: «Управление D-СТАТКОМ для компенсации несимметричных провалов напряжения».

– Международный семинар «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME – 2019» – Санкт-Петербург, 24 апреля 2019. Тема доклада: «Учет электроэнергии в сетях промышленных предприятий среднего напряжения 6-10 кВ»

– International Scientific Electric Power Conference ISEPC– Saint-Petersburg, 23-24 May 2019. Topic of report: «Application of power theory for electricity metering in presence of distortion».

Международная научная конференции по электроэнергетике (ISEPC) – Санкт-Петербург, 23-24 мая 2019. Тема доклада: «Применение теории мощности для учета электроэнергии при наличии искажений»

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: руководителя департамента технического и стоимостного анализа ООО «ЕвроХим-Проект», к.т.н. **Безносенко Николая Михайловича**; профессора кафедры электротехники и электрооборудования судов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», д.т.н., профессора **Дмитриева Бориса Федоровича**, профессора кафедры систем автоматического управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», д.т.н., доцента **Кузнецова Владимира Евгеньевича**; генерального директора ООО

«Электрические измерительные системы», к.т.н. **Лозовского Сергея Евгеньевича**; заведующего лабораторией плазменных систем федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт электрофизики и электроэнергетики» Российской академии наук, д.т.н., профессора **Сафронова Алексея Анатольевича**, заведующего кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», д.т.н., профессора **Ляхомского Александра Валентиновича**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. Требуется пояснения термин «интегральный показатель тока» (д.т.н. **Б.Ф. Дмитриев**).

2. Не ясно, что автор понимает под неактивной мощностью? (д.т.н. **Б.Ф. Дмитриев**).

3. На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента несинусоидальности по напряжению от введенного коэффициента K_z , но не раскрыто обоснование с какой целью $THDu$ рассчитывается по двум различным формулам (д.т.н. **В.Е. Кузнецов**).

4. На рисунке 5 приведена модель схемы для определения взаимного влияния линейных и нелинейных нагрузок, но не указано, какая часть модели отвечает за линейную часть и, соответственно, нелинейную (д.т.н. **В.Е. Кузнецов**).

5. Для оценки характеристик нагрузки следовало ввести показатель, учитывающий соотношение линейной и нелинейной нагрузки по аналогии с тем, как автором введен коэффициент соотношения активного и реактивного сопротивлений системы (д.т.н. **В.Е. Кузнецов**).

6. Из текста автореферата не ясно, учитывается ли в работе влияние конденсаторных установок, устанавливаемых на предприятиях в качестве компенсаторов реактивной мощности (д.т.н. **А.А. Сафронов**).

7. Кратко раскрыт вопрос выбора D-СТАТКОМ в качестве фильтро-компенсирующего устройства (д.т.н. **А.А. Сафронов**).

8. В автореферате представлены полученные зависимости коэффициентов искажения от активного компонента линейной нагрузки (рис. 5, 6). Необходимо уточнить, какое влияние на величину $THDu$ оказывает изменение индуктивного компонента линейной нагрузки (к.т.н., **Н.М. Безносенко**).

9. В автореферате (стр.12) сказано, что для определения закономерности изменения показаний разных типов счетчиков в зависимости от изменения гармонического состава тока и напряжения был проведен

анализ показаний, рассчитанный по их математическим выражениям (формулы 2,3). Необходимо пояснить, в каких пределах варьировались амплитуды гармоник напряжения и тока (к.т.н., **Н.М. Безносенко**).

10. Все расчеты в измерительных приборах основаны на получении данных от датчиков тока и напряжения. Соотношение линейной и нелинейной нагрузки также влияет на эти величины. В какой степени значения высших гармоник тока и напряжения влияют на погрешность учета электроэнергии (к.т.н. **С.Е. Лозовский**)?

11. В работе совершенствуется учет электроэнергии при наличии высших гармоник в напряжении и токе. Однако, отсутствуют исследования о влиянии измерительных трансформаторов тока и напряжения при таких условиях (к.т.н. **С.Е. Лозовский**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

введен новый показатель k_z , учитывающий соотношение активного и реактивного сопротивлений в составе модуля полного сопротивления системы;

предложены варианты подхода к учету реактивной мощности в зависимости от целей проведения измерения (коммерческий или технический учет) с рекомендациями по применению действующих сертифицированных счетчиков;

разработан алгоритм определения спектрального состава высших гармоник в распределительной сети предприятия с применением быстрого преобразования Фурье;

разработан алгоритм, согласно которому следует осуществлять выбор тех или иных счетчиков реактивной «энергии» в зависимости от введенного вновь показателя k_z и модуля полного сопротивления системы, характеризующимся либо относительным значением тока короткого замыкания или мощностью короткого замыкания;

разработан алгоритм определения влияния характеристик системы и нагрузки на уровень несинусоидальности в симметричной трехфазной сети и, как следствие, влияние на учет потребления реактивной мощности;

доказана необходимость введения ограничений по гармоникам тока с обязательным учетом характеристик системы;

доказана некорректность применения сертифицированных счетчиков электроэнергии при наличии искажений без дополнительных ограничений, связанных с характеристиками системы и характеристиками нагрузки;

доказана необходимость комплексного подхода к совершенствованию учета электроэнергии в электротехнических комплексах предприятий при наличии искажений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложена идея совершенствования учета потребления электроэнергии при наличии искажений, исходя из воздействия на уровень несинусоидальности, который влияет на корректность учета электроэнергии сертифицированными средствами измерения:

изучены различные подходы к теории мощности при несинусоидальном режиме работы сети;

изучены характеристики системы и нагрузки, оказывающие влияние на уровень несинусоидальности напряжения и тока;

выявлен диапазон изменения полного сопротивления системы для сетей среднего напряжения различной конфигурации в пределах от 0,1 до 2 Ом по модулю при изменении его активной и реактивной составляющих в отношении от 0,1 до 5;

доказано, что влияние нелинейной нагрузки на линейную, с точки зрения образования составляющих несинусоидального тока в линейной нагрузке, всегда незначительно и не может влиять на значение THD_U в любом узле сети;

разработан алгоритм учета электроэнергии в сети, основой которого является применение вновь введенного интегрального показателя тока, по которому предлагается оценивать реактивную мощность.

обосновано применение интегрального показателя тока, как отражающего изменение полного тока нагрузки и изменение характера потребления реактивного тока, что положено в основу рекомендаций по коммерческому учету;

проведено компьютерное моделирование режимов работы распределительной сети среднего напряжения 6-10 кВ, позволяющее оценить разницу подходов к теории мощности при наличии искажений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны алгоритмы определения спектрального состава напряжений и токов в распределительных сетях среднего напряжения, а также определения характеристик трехфазной симметричной несинусоидальной системы;

разработаны компьютерные модели распределительных сетей среднего напряжения для определения влияния характеристик нагрузки, а именно отношение линейной нагрузки к нелинейной;

сформулированы рекомендации повышения корректности учета реактивной мощности сертифицированными счетчиками в условиях несинусоидальности;

представлены рекомендации к внедрению результатов исследования в учебный процесс для профильных обучающихся;

представлены рекомендации к внедрению результатов исследования по учету характеристик системы на этапе проектирования в электротехнической лаборатории ООО «АСТЕРО».

Оценка достоверности результатов выявила:

результаты исследований получены с применением апробированных методов математического и имитационного моделирования и лицензированной программной среды Matlab-Simulink для моделирования работы электротехнического комплекса предприятий среднего напряжения;

теория построена на известных закономерностях и проверяемых данных и фактах и согласуется с опубликованными ранее экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации;

идея базируется на результатах анализа и обобщения зарубежного и отечественного опыта по оценке и измерению реактивной мощности при наличии искажений;

установлена сходимость результатов имитационного моделирования рассматриваемых режимов работы электротехнических комплексов, стендовых испытаний и результатами математического расчета.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке задач и постановке цели исследования; в анализе зарубежной и отечественной научно-технической литературы и нормативных документов на предмет проработанности темы исследования и выявления недостатков; в определении характеристик системы и нагрузки, влияющих на уровень несинусоидальности; проведении исследований по установлению влияния обозначенных характеристик на учет потребления электроэнергии; в проведении математического и имитационного моделирования работы электромеханического комплекса предприятий при наличии искажений; в обобщении и обработке полученных данных; в формулировке научных положений и выводов, а также в подготовке текстов научных публикаций, диссертации и автореферата.

На заседании 29 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить **Пудковой Тамаре Валерьевне** ученую степень

кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи совершенствования учета потребления электроэнергии в электротехнических комплексах предприятий при наличии искажений.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

29.12.2020 г.



Шпенст Вадим Анатольевич

Коптева Александра Владимировна