

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.06.2022 № 19

О присуждении **Добуш Юлии Владимировне**, гражданке РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Выявление вкладов потребителей в искажения тока и напряжения в электротехнических комплексах промышленных предприятий» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 18.04.2022 г., (протокол заседания № 12) диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Горного университета о создании диссертационного совета от 23.09.2019 № 1232 адм с изменениями от 22.12.2020 № 1903 адм, от 06.04.2021 № 662 адм, от 12.07.2021 № 1383 адм, от 09.11.2021 № 2312 адм, от 22.04.2022 № 711 адм.

Соискатель, **Добуш Юлия Владимировна**, 6 октября 1995 года рождения, в 2018 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело с присвоением квалификации Горный инженер (специалист).

С 2018 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения на кафедре общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Работает исследователем-стажером в научном центре «Арктика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Диссертация выполнена на кафедре общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Шклярский Ярослав Элиевич**, заведующий кафедрой общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Минобрнауки России.

Официальные оппоненты:

Нос Олег Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры проектирования технологических машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»;

Насыров Ринат Ришатович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетических систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**», г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном **Соловьевой Еленой Борисовной**, доктором технических наук, доцентом, заведующей кафедрой «теоретических основ электротехники» и **Лановенко Еленой Викторовной** кандидатом технических наук, доцентом, секретарем заседания, и утвержденном **Шелудько Виктором Николаевичем**, доктором технических наук, доцентом, ректором, указала, что разработанный способ на основании введенных коэффициентов вкладов является базой для дальнейших исследований в области расчетов, связанных с высшими гармониками токов

и напряжений. Рекомендуется продолжить исследования в данной области с точки зрения поиска и обоснования интегрального показателя вклада потребителей по всем высшим гармоникам по аналогии с суммарным коэффициентом гармонических составляющих напряжения K_U , используемом в ГОСТ 32144-2013, или коэффициентом искажения синусоидальности напряжения (THDu).

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 18 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 4 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 6,9 печатных листов, в том числе 3,2 печатных листов – соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Шклярский, Я.Э. Оценка вклада потребителей в ухудшение показателей качества электроэнергии / Я.Э. Шклярский, **Ю.В. Растворова**, И.С. Петров // Вопросы электротехнологии. – 2019. – Т. 1. – № 22. – С. 56-63.

Соискателем предложен новый метод определения вклада потребителей в искажения в точке общего присоединения (ТОП). Проведено имитационное моделирование с изменением входного сопротивления системы.

2. Скамьин, А.Н. Влияние напряжения на параметры электропотребления при наличии высших гармоник / А.Н. Скамьин, В.С. Добуш, **Ю.В. Растворова** // Вопросы электротехнологии. – 2020. – Т. 1.

– № 26. – С. 61-69.

Соискателем на лабораторном стенде измерены параметры электропотребления нагрузки для трех различных режимов работы. Рассчитаны активная, реактивная и полная мощности на основании нескольких выбранных теорий мощности, выявлено влияние напряжения на параметры электропотребления при наличии высших гармоник.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus):

3. Skamyin, A.N. Method for determining the source of power quality deterioration / A.N. Skamyin, V.S. Dobush, **I.V. Rastvorova** – DOI 10.1109/EIConRus.2019.8656756 // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2019. – 2019. – P. 1077-1079.

Скамьин, А.Н. Метод определения источника ухудшения качества электроэнергии / А.Н. Скамьин, В.С. Добуш, **Ю.В. Растворова** – DOI 10.1109/EIConRus.2019.8656756 // Материалы конференции российских молодых ученых в электроинженерии и электронике EIConRus 2019. – 2019. – С. 1077-1079

Соискателем проведено имитационное моделирование системы электроснабжения (СЭС) двух предприятий, подключенных к одной точке общего присоединения, при изменении сопротивления вводного трансформатора. Рассчитана зависимость уровня искажений от коэффициента трансформации.

4. Skamyin, A.N. Consumed power regulation algorithm in the presence of high harmonics / A.N. Skamyin, **I.V. Rastvorova** – DOI 10.1088/1742-6596/1753/1/012042 // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1753. – P. 012042.

Скамьин, А.Н. Алгоритм управления потребляемой мощностью в присутствии высших гармоник / А.Н. Скамьин, **Ю.В. Растворова** – DOI 10.1088/1742-6596/1753/1/012042 // Журнал физики: Серия конференций.

– 2021. – №. 1753. – С. 012042.

Соискателем рассчитаны уровни искажения тока и напряжения от величины напряжения первой гармоники в ТОП на стенде, включающем линейную и нелинейную нагрузку, а также компенсатор реактивной мощности. Сформулирован алгоритм минимизации потребления электроэнергии на основании напряжения и расположения источника высших гармоник.

5. Skamyin, A. Experimental determination of parameters of nonlinear electrical load / A. Skamyin, Y. Shklyarskiy, V. Dobush, **I. Dobush** – DOI 10.3390/en14227762 // Energies. – 2021. – Vol. 14. – P. 7762.

Скамьин, А. Экспериментальное определение параметров нелинейной нагрузки / А. Скамьин, Я. Шклярский, В. Добуш, **Ю. Добуш** – DOI 10.3390/en14227762 // Энерджис. – 2021. – №. 14. – С. 7762.

Соискателем проведен анализ существующих схем замещения нелинейной нагрузки. Были проведены эксперименты по измерению параметров энергопотребления нелинейной нагрузки в зависимости от мощности потребителей. Определено, что по сравнению с существующими методами, предложенный способ снижает ошибку определения амплитуд эквивалентных источников тока в 4 раза.

6. Shklyarskiy Y. Method for evaluation of the utility's and consumers' contribution to the current and voltage distortions at the PCC / Y. Shklyarskiy, **I. Dobush**, M.J. Carrizosa, V. Dobush, A. Skamyin – DOI 10.3390/en14248416 // Energies. – 2021. – Vol. 14. – P. 8416.

Шклярский, Я.Э. Метод оценки вкладов СЭС и потребителей в искажения тока и напряжения в ТОП / Я. Шклярский, **Ю. Добуш**, М.Х. Карризоса, В. Добуш, А. Скамьин – DOI 10.3390/en14248416 // Энергии. – 2021. – №. 14. – С. 8416.

Соискателем введены коэффициенты вкладов потребителей относительно тока СЭС и коэффициенты вкладов СЭС и потребителей относительно тока фильтра. Сформулирован алгоритм, позволяющий

определить вклады потребителей и СЭС в искажения тока и напряжения в ТОП. Проведены лабораторные эксперименты для определения величин предложенных коэффициентов для различных типов нагрузок.

Публикации в прочих изданиях:

7. **Rastvorova, I.** Ultraharmonics sources detection methods in power systems of industrial enterprises / **I. Rastvorova**, Y. Shklyarsky // Proceedings of 59 Konferencja Studenckich Kół Naukowych Pionu Górniczego AGH, Poland. – 2018. – P. 175.

Растворова, Ю. Методы определения источников высших гармоник в энергосистемах промышленных предприятий / Ю. Растворова, Я. Шклярский // Сборник материалов 59ой конференции научных докладов студентов по горному делу, Горно-металлургическая академия, Польша. – 2018. – С. 175.

Соискателем сформулирована проблема наличия высших гармоник в СЭС промышленных предприятий. Обозначена необходимость мониторинга показателей качества электрической энергии.

8. **Скамьин, А.Н.** Способы выявления источников высших гармоник в связанных системах электроснабжения промышленных предприятий / **А.Н. Скамьин, Ю.В. Растворова** // «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, КузГТУ. – 2018. – С. 262-1 – 262-3.

Соискателем проведен анализ существующих способов определения источников искажений в электротехнических системах промышленных предприятий.

9. **Растворова, Ю.В.** Разработка метода оценки вклада источников высших гармоник в показатели качества электрической энергии / **Ю.В. Растворова, Ю.А. Мордвинцева, Д.А. Коломацкий** // Сборник тезисов Международного семинара «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2019», Секция «Круглый стол молодых ученых», Горный университет. – 2019. – С. 466-471.

Соискателем представлены результаты имитационного

моделирования СЭС двух предприятий, подключенных к ТОО, при изменении сопротивления вводного трансформатора.

10. **Растворова, Ю.В.** Разработка метода определения вклада источников искажений в показатели качества электрической энергии / **Ю.В. Растворова, Я.Э. Шклярский, А.Я. Шклярский** // Сборник тезисов XVII Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. – 2019. – С. 252.

Соискателем сформулирована проблема отсутствия официально утвержденного метода определения вкладов потребителей и описаны основные принципы нового метода, основанного на изменении сопротивления вводного трансформатора.

11. **Rastvorova, I.V.** Development of the method of determining the distortions sources contributions to the electric power quality indicators / **I.V. Rastvorova, Y.E. Shklyarskiy, A.Y. Shklyarskiy** // Proceedings of XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources», St Petersburg. – 2019. – P. 255.

Растворова, Ю.В. Разработка метода определения вкладов источников искажений в показатели качества электрической энергии / **Ю.В. Растворова, Я.Э. Шклярский, А.Я. Шклярский** // Сборник тезисов XV Международного форум-конкурса студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. – 2019. – С. 255.

Соискателем проведен анализ актуальности темы высших гармоник тока и напряжения в энергосистемах промышленных предприятий. Описана разработка метода определения долевых вкладов потребителей в искажения в ТОО.

12. **Shklyarskiy, Y.** Estimation of the consumers contribution in the electric energy quality indicator / **Y. Shklyarskiy, A. Skamyin, I. Rastvorova** // Scientific Reports on Resource Issues, International University of Resources. – 2019. – Vol. 1. – P. 278-283.

Шклярский, Я. Оценка вклада потребителей в показатели качества

электрической энергии / Я. Шклярский, А. Скамьин, **Ю. Растворова** // Научные доклады по вопросам недропользования, Международный университет ресурсов. – 2019. – Т. 1. – С. 278-283

Соискателем детально описано имитационное моделирование СЭС двух потребителей, содержащих линейную и нелинейную нагрузку. Описан ход моделирования, изменяемые параметры. Рассчитаны первые производные напряжений по изменению сопротивления вводного трансформатора. Сформулированы выводы.

13. **Rastvorova, I.V.** Method of evaluation of consumers contribution in the electric power quality indicators / **I.V. Rastvorova**, Y.E. Shklyarsky // XII Russian-German Raw Materials Forum: Abstract book, St. Petersburg. – 2019. – P. 123-124.

Растворова, Ю.В. Метод оценки вклада потребителей в показатели качества электрической энергии / **Ю.В. Растворова**, Я.Э. Шклярский // Сборник тезисов XII Российско-Германского сырьевого форума Санкт-Петербург. – 2019. – С. 123-124.

Соискателем описан способ определения доминантного источника искажений в энергосистеме промышленного предприятия.

14. Скамьин, А.Н. Алгоритм регулирования электропотребления при наличии высших гармоник / А.Н. Скамьин, **Ю.В. Растворова** // Сборник тезисов VII Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020», Санкт-Петербург. – 2020. – С. 603-606.

Соискателем проведен обзор теорий мощности и способов расчета реактивной мощности. Обработаны первичные данные экспериментов, рассчитаны потребляемые активная, реактивная и полная мощности, искажения напряжения в зависимости от напряжения в Топ нагрузок.

15. **Растворова, Ю.В.** Вклад потребителей в показатели качества электроэнергии в связанных системах промышленных предприятий / **Ю.В. Растворова**, Я.Э. Шклярский, А.Я. Шклярский // Сборник тезисов

XVIII Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. – 2020. – С. 339-340.

Соискателем сформулирован метод, определяющий вклад высших гармоник тока потребителей в искажение напряжения в ТОО. Суть метода заключается в расчете проекций токов потребителей на суммарный вектор тока.

16. **Rastvorova, I.V.** Evaluation of the consumers contribution to the electric power quality indicators in related systems of industrial enterprises / **I.V. Rastvorova, Y.E. Shklyarskiy** // Scientific conference abstracts of XVI international forum-contest of students and young researchers «Topical issues of rational use of natural resources», St Petersburg. – 2020. – Vol. 2.– P. 237-238.

Растворова, Ю.В. Оценка вклада потребителей в показатели качества электроэнергии в связанных системах промышленных предприятий / **Ю.В. Растворова, Я.Э. Шклярский** // Тезисы научной конференции XVI Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. – 2020. – Т. 2.– С. 237-238.

Соискателем проведен обзор существующих методов определения источника искажений в электротехнических комплексах промышленных предприятий. Сформулирован метод, определяющий вклад высших гармоник тока потребителей в искажение напряжения в ТОО. Суть метода заключается в расчете проекций токов потребителей на суммарный вектор тока. Проведено сравнение с существующими методами.

17. **Добуш, Ю.В.** Метод определения вкладов потребителей электроэнергии в искажения напряжения и тока в точке общего присоединения / **Ю.В. Добуш, Я.Э. Шклярский** // Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. – 2021. – Т. 5. – С. 190-191.

Соискателем проведены эксперименты для определения величин коэффициентов вкладов, предложенных ранее, для нелинейных и линейных

нагрузок. Обработаны результаты экспериментов, получена количественная оценка вкладов потребителей различных типов.

18. **Dobush, I.V.** Method for evaluation of the electric power consumers' contributions to the voltage and current distortion at the point of common coupling / **I.V. Dobush**, Y.E. Shklyarskiy // Scientific conference abstracts of XVII International forum-contest of students and young researchers «Topical issues of rational use of natural resources», St Petersburg. – 2021. – Vol. 2.– P. 149-150.

Добуш, Ю.В. Метод оценки вкладов потребителей электроэнергии в искажения напряжения и тока в точке общего присоединения / **Ю.В. Добуш**, Я.Э. Шклярский // Тезисы научной конференции XVII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург. – 2021. –Т. 2.– С. 149-150.

Соискателем проведен анализ международных стандартов по качеству электроэнергии. Выявлены основные недостатки ГОСТ 32144-2013. Описаны результаты экспериментов, проведенных на лабораторном стенде, включающем в свой состав линейную и нелинейную нагрузку.

Патенты:

19. Патент № 2752765 С1 МПК G01R 23/20 (2006.01). Способ оценки вклада нелинейных потребителей в искажение напряжения в точке общего присоединения : №2020140768 : заявл. 10.12.2020 : опубл. 03.08.2021 / Шклярский Я.Э., Скамьин А.Н., Добуш Ю.В., Шпенст В.А.; заявитель СПГУ. – 19 с. : ил.

Соискателем проведен патентный поиск, описана формула изобретения и его описание.

Апробация работы проведена на всероссийских и международных конференциях, где обсуждались положения и результаты исследований диссертационной работы:

1. «59-ая научная конференция по горному делу», Краковская горно-металлургическая академия, (2018);
2. IV Всероссийская научно-практическая конференция

«Энергетика и энергосбережение: теория и практика», (2018);

3. «IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)» (2019);

4. Международный семинар «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2019» (2019);

5. XVII Всероссийская конференции-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (2019);

6. XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources» (2019);

7. 14ый Фрайберг - Санкт-Петербургский коллоквиум молодых ученых (2019);

8. Постерная сессия «Инновационные исследования в горном деле» в рамках III Российско-Британского сырьевого диалога (2019);

9. Young Researchers Day of the 12th German-Russian Raw Materials Conference (2019);

10. Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020» (2020);

11. XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (2020);

12. Международный научно-технический семинар «Новые подходы к повышению качества электрической энергии» (2020);

13. XVI International Forum-Contest of Students and Young Researchers “Topical Issues of Rational Use of Natural Resources” (2020);

14. XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (2021);

15. Международный научно-технический семинар «New concepts for improving power quality - 2021», (2021);

16. XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers “Topical Issues of Rational Use of Natural Resources” (2021);

17. Международная научная Электроэнергетическая конференция ISEPC (2021);

18. I Международная междисциплинарная научно-практическая конференция «Человек в Арктике» (2021).

В диссертации **Добуш Юлии Владимировны** отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: доцента кафедры электропривода ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», к.т.н., доцента **Т.В. Синюковой**, профессора кафедры «Теоретическая и общая электротехника» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», д.т.н. **Е.В. Птициной**; генерального директора ЗАО «Фортэкс», к.т.н. **Д.А. Бурылова**, профессора кафедры электротехнологической и преобразовательной техники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», д.т.н. **С.В. Дзлиева**, заместителя генерального директора – Главного конструктора проектов **О.Э. Кильдишевой**, декана факультета мехатроники и автоматизации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к.т.н., доцента **М.Е. Вильбергера** и заведующего кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к.т.н., доцента **Д.А. Котина**, профессора кафедры «Электроэнергетика и электротехника» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», д.т.н., профессора **И.И. Артюхова**.

В отзывах дана положительная оценка выполненного исследования, отмечена актуальность темы диссертационной работы, степень проработки проблемы, высокий фундаментальный и технический уровень предложенных решений и рекомендаций, а также практическая применимость результатов, однако имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В тексте автореферата при формулировании второй задачи исследований написано, что проводилось математическое моделирование двух предприятий, подключенных к одной точке общего присоединения. Каким образом наличие трех и более предприятий, подключенных к одной точке общего присоединения, повлияет на результаты, полученные в ходе проведенных исследований? Следовало описать данный случай. (к.т.н. **Т.В. Синюкова**).

2. В автореферате не отражены пояснения о допустимости использования метода наложения для нелинейных потребителей. (д.т.н., **Е.В. Птицина**).

3. В тексте автореферата не указано, какие схемы замещения были выбраны при математическом моделировании нелинейных нагрузок (к.т.н., **Д.А. Бурылов**).

4. В тексте автореферата не представлено обоснование того, что при искажениях со стороны СЭС, превышающих $K^{(h)}_{D\text{ СЭС}/\Phi}=44,3\%$, коэффициенты вкладов потребителей относительно ТОП $K^{(h)}_{D\text{ ТОП}}$ могут принимать значения, не коррелирующие с их реальными вкладами (к.т.н., **Д.А. Бурылов**).

5. Какие исследовательские работы должны быть проведены, чтобы предложенный алгоритм было возможно использовать при энергоаудите? (д.т.н., **С.В. Дзлиев**).

6. Проводилась ли верификация имитационной модели, используемой в Matlab Simulink? (д.т.н., **С.В. Дзлиев**).

7. При формулировке задач исследований не была упомянута задача верификации имитационной модели. Проводилась ли верификация имитационной модели, используемой в рамках компьютерного моделирования? (к.т.н. **О.Э. Кильдишева**).

8. В автореферате не объяснено изменение коэффициентов вкладов потребителей на рисунке 3а при значениях U_d менее 40%. (к.т.н., **М.Е. Вильбергер** и к.т.н. **Д.А. Котин**).

9. Что подразумевается под фразой «при искажениях со стороны СЭС, превышающих $K^{(h)}_{D\text{ СЭС/Ф}} = 44,3\%$, коэффициенты вкладов потребителей относительно ТОП $K^{(h)}_{D\text{ ТОП}}$ могут принимать значения, не коррелирующиеся с их реальными вкладами»? На основании чего был сделан такой вывод? (к.т.н., **М.Е. Вильбергер** и к.т.н. **Д.А. Котин**).

10. Какие «типичные виды нагрузок промышленных предприятий» имеются ввиду на стр.7 в п.4 научной новизны? (к.т.н., **М.Е. Вильбергер** и к.т.н. **Д.А. Котин**).

11. На рисунке 1 показана схема стенда, с помощью которого проводились экспериментальные исследования. Из этой схемы следует, что нагрузка тиристорного выпрямителя имела активный характер. Возникает вопрос: как изменятся результаты, если нагрузка будет иметь активно-индуктивный характер? (д.т.н. **И.И. Артюхов**).

12. Из автореферата неясно, почему в качестве аргумента на графиках, которые представлены на рисунках 2 и 3, принято напряжение на выходе тиристорного выпрямителя (д.т.н. **И.И. Артюхов**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетенцией в данной области.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея оценки вкладов потребителей и системы электроснабжения в искажение тока напряжения в точке общего присоединения по проекциям векторов токов высших гармоник;

доказана перспективность использования новой идеи определения вкладов потребителей и СЭС в несинусоидальность в ТОП в науке и практике на основании теоретических исследований, результатов лабораторных экспериментов и имитационного моделирования;

введен коэффициент вклада $K^{(h)}_D$, рассчитываемый как проекция вектора тока высшей гармоники потребителя на вектор тока высшей

гармоники в ТОП по отношению к модулю вектора тока высшей гармоники в ТОП, что позволяет определить вклад рассматриваемого потребителя в ухудшение качества тока и напряжения в ТОП, а также коэффициент вклада $K_{D/\Phi}^{(h)}$, рассчитываемого как проекция вектора тока системы СЭС или потребителя на вектор тока фильтра высших гармоник на резонансной частоте по отношению к модулю вектора тока фильтра высших гармоник на резонансной частоте, что позволяет определить вклад внешней СЭС или потребителя в ухудшение качества тока и напряжения в ТОП;

разработан алгоритм определения вкладов потребителей и СЭС в искажения напряжения и тока в ТОП, отличающийся тем, что вначале определяется вклад СЭС на основании коэффициента вклада $K_{D/\Phi}^{(h)}$, а затем рассчитываются вклады потребителей, подключенных к ТОП, на основании коэффициента вклада $K_D^{(h)}$.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана независимость коэффициентов вкладов $K_D^{(h)}$ линейных нагрузок от режима работы электроприемников, подключенных к ТОП, а также прямая зависимость коэффициентов вкладов $K_D^{(h)}$ нелинейных нагрузок от потребляемой ими мощности;

использованы фундаментальные законы электротехники, методы анализа процессов в трехфазных электрических цепях переменного тока, методы численного моделирования с использованием стандартных программных пакетов, методы лабораторных экспериментов;

изложены доказательства возможности применения введенных коэффициентов вкладов для электротехнических комплексов промышленных предприятий; этапы определения вкладов потребителей и СЭС в искажения в ТОП на основании введенных коэффициентов вкладов; факторы, влияющие на результаты расчетов введенных коэффициентов вкладов;

раскрыты существенные противоречия между разработанными на данный момент способами определения источников высших гармоник;

изучена взаимосвязь между коэффициентом вклада $K_{D\text{СЭС}/\Phi}^{(h)}$ и эффективностью компенсации искажения тока и напряжения с точки зрения коэффициента нелинейных искажений тока (THDi), коэффициента нелинейных искажений напряжения (THDu), коэффициента мощности на первой гармонике ($\cos\phi(1)$) и действующего значения тока высшей гармоники в ТОП.

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

разработан и внедрен способ оценки вклада нелинейных потребителей в искажение напряжения в точке общего присоединения (акт внедрения в учебный процесс Горного университета при реализации специальных программ от 21.02.2022, также акт внедрения в электротехнической лаборатории ООО «АСТЕРО», от 15.02.2022);

определены коэффициенты вкладов потребителей в зависимости от режима работы электропотребителей, характерные для типичных видов нагрузок промышленных предприятий, а также пределы практического использования разработанного алгоритма, а именно выявлено, что при коэффициенте вклада СЭС $K_{D\text{СЭС}/\Phi}^{(h)}$, превышающем 44,3%, коэффициенты вкладов $K_D^{(h)}$ могут не коррелироваться с реальными вкладами потребителей;

представлены практические рекомендации для определения места подключения фильтра высших гармоник на основании разработанного способа определения вкладов потребителей в искажения тока и напряжения в точке общего присоединения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на поверенном измерителе показателей качества электроэнергии, с применением различных типов электроприемников, характерных для промышленных предприятий, показана воспроизводимость результатов исследования при различных комбинациях нагрузок;

теория построена на фундаментальных законах электротехники, общепринятых схемах замещения линейной и нелинейной нагрузки, основанные на теоретических исследованиях выводы согласуются с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении передовых подходов к определению источников высших гармоник, представленных в научных публикациях, и на результатах многочисленных экспериментальных исследований;

использованы данные, полученные при применении существующих способов определения источников эмиссии высших гармонических составляющих тока и напряжения, для определения целесообразности использования разработанного способа, а также современные методики сбора и обработки исходной информации в контексте поставленных и решенных в диссертации задач.

Личный вклад соискателя состоит в:

постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы для сравнения существующих методов определения источников высших гармоник и количественного определения их вкладов. Автором были проведены лабораторные эксперименты с линейной и нелинейной нагрузкой. Первичные данные, измеренные анализатором качества электроэнергии, были обработаны автором при помощи пакета прикладных программ Matlab для расчета введенных коэффициентов вкладов. Также автором было проведено имитационное моделирование системы электроснабжения промышленного предприятия, включающего в свой состав нелинейную нагрузку и предусматривающего наличие искажений со стороны системы электроснабжения. В результате, автором были получены искомые зависимости введенных коэффициентов вклада от мощности нагрузок и от уровня внешних искажений со стороны системы электроснабжения.

