

**Сведения о ходе выполнения прикладных научных исследований по
Соглашению о предоставлении субсидии
от 26 сентября 2017 года № 14.579.21.0140 с Минобрнауки России
по теме «Разработка управляемого источника реактивной мощности с
отсутствием высших гармоник тока при регулировании электрической
энергии и улучшенными технико-экономическими показателями на
основе отечественной компонентной базы силовой электроники для
автоматического управления напряжением и потоками мощности в
распределительных электрических сетях 6-110 кВ»**

**Сведения о ходе выполнения прикладных научных исследований по первому этапу
проекта**

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 года № 14.579.21.0140 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» на тему «Разработка управляемого источника реактивной мощности с отсутствием высших гармоник тока при регулировании электрической энергии и улучшенными технико-экономическими показателями на основе отечественной компонентной базы силовой электроники для автоматического управления напряжением и потоками мощности в распределительных электрических сетях 6-110 кВ» на **этапе № 1** в период с 26 сентября 2017 года по 31 декабря 2017 года были получены следующие результаты:

1. Проведены патентные исследования по теме ПНИЭР.
2. Разработаны и исследованы инновационные технические решения по построению управляемых источников реактивной мощности (УИРМ) и проведена их сравнительная оценка по функциональным и технико-экономическим показателям.
3. Разработаны обобщённые требования к функциональным характеристикам и режимам работы УИРМ в распределительных электрических сетях.
4. Выбраны оптимальная топология построения и типы отечественного конденсаторного оборудования для УИРМ.
5. Разработаны имитационные модели реакторного и конденсаторного оборудования УИРМ, проведена их верификация и настройка.
6. Сформулированы требования и разработана базовая структура микропроцессорной системы управления УИРМ.

7. Выполнены аналитический обзор научных и информационных источников, затрагивающих научно-техническую задачу, исследуемую в рамках ПНИЭР и анализ особенностей представленных на рынке УИРМ традиционного исполнения.

8. Выявлены основные причины ухудшения показателей качества электрической энергии в режиме регулирования мощности и их пониженного быстродействия.

9. Сформулированы требования к характеристикам силовых полупроводниковых ключей полупроводникового коммутатора УИРМ.

10. Для популяризации результатов и достижений науки, полученных в ходе выполнения ПНИЭР, принято участие в Международной научно-практической конференции «Наука сегодня: проблемы и перспективы развития» (Россия, Вологда, 29 ноября 2017 г.).

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.

Сведения о ходе выполнения прикладных научных исследований по второму этапу проекта

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 года № 14.579.21.0140 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» на тему «Разработка управляемого источника реактивной мощности с отсутствием высших гармоник тока при регулировании электрической энергии и улучшенными технико-экономическими показателями на основе отечественной компонентной базы силовой электроники для автоматического управления напряжением и потоками мощности в распределительных электрических сетях 6-110 кВ» на **этапе № 2** в период с 1 января 2018 года по 31 декабря 2018 года были получены следующие результаты:

- Разработана имитационная модель реакторного оборудования УИРМ.
- Разработана и настроена имитационная модели распределительной электрической сети для исследования характеристик УИРМ.
- Разработана, верифицирована и настроена имитационная модель системы управления УИРМ.

- Разработана, верифицирована и настроена имитационная модель УИРМ, включающей в себя имитационные модели полупроводникового коммутатора, конденсаторного и реакторного оборудования и системы управления УИРМ.
- Разработана программа и методики экспериментальных исследований на имитационной модели УИРМ.
- Разработаны адаптивные алгоритмы управления полупроводниковым коммутатором УИРМ с учётом функционального назначения устройства и типовых режимов работы распределительной электрической сети.
- Разработан комплект электрических принципиальных схем микропроцессорной системы управления УИРМ.
- Разработано программное обеспечение и программная документация на программное обеспечение системы управления УИРМ.
- Разработана электрическая принципиальная схема системы управления УИРМ.
- Разработаны требования к элементной базе системы управления УИРМ.
- Разработаны предложения по выбору базового производителя компонентной базы цифровой и микропроцессорной электроники для системы управления УИРМ.
- Изготовлен и налажен экспериментальный образец УИРМ в низковольтном исполнении.
- Разработана программа и методика исследовательских испытаний программного обеспечения системы управления УИРМ.
- Разработаны предложения по конструктивному исполнению УИРМ.
- Разработаны топологии схем драйвера с оптоволоконным информационным каналом для управления силовыми полупроводниковыми ключами.
- Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальные образцы УИРМ. Сборка силовых блоков экспериментального образца УИРМ.
- Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований экспериментальных образцов УИРМ.
- Экспериментально исследованы на имитационной модели характеристики УИРМ в составе распределительной электрической сети по ПИМ-1. Доказана возможность функционирования УИРМ при различных режимах работы сети.
- Экспериментально исследованы на имитационной модели регулировочные характеристики УИРМ с учётом разработанных адаптивных алгоритмов управления и

обработаны полученные результаты. Приведены результаты адаптации управления УИРМ.

- Экспериментально исследованы на имитационной модели работы адаптивных алгоритмов управления полупроводниковым коммутатором УИРМ в нормальных и аварийных режимах работы электрической сети. Показана эффективная работа УИРМ при всех рассмотренных режимах работы.

- Экспериментально исследованы на имитационной модели УИРМ динамические характеристики УИРМ в режиме регулирования реактивной мощности. Подтверждено высокое быстродействие разработанного УИРМ.

- Настроена микропроцессорная система управления в составе экспериментального образца УИРМ в низковольтном исполнении.

- Экспериментально исследованы параметры внешних и регулировочных характеристик экспериментального образца УИРМ в низковольтном исполнении. Показано совпадение экспериментальных данных и результатов имитационного моделирования.

- Проверено функционирование и настроена на экспериментальном образце УИРМ в низковольтном исполнении разработанные адаптивных алгоритмов управления полупроводниковым коммутатором УИРМ. Доказана эффективная работа разработанных адаптивных алгоритмов управления УИРМ.

- Проверена по результатам экспериментального исследования на имитационной модели обоснованность выбора топологии построения УИРМ. Доказана эффективность выбранной топологии.

- Сформулированы требования к реакторному оборудованию УИРМ на основе результатов экспериментальных исследований на имитационных моделях. Проведен обзор потенциальных отечественных производителей реакторного оборудования для УИРМ.

- Сформулированы требования к экспериментальным образцам УИРМ.

- Для популяризации результатов и достижений науки, полученных в ходе выполнения ПНИЭР, принято участие в трех конференциях и опубликованы три работы, индексируемые в SCOPUS.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.

Сведения о ходе выполнения прикладных научных исследований по третьему этапу проекта

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 года № 14.579.21.0140 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы» на тему «Разработка управляемого источника реактивной мощности с отсутствием высших гармоник тока при регулировании электрической энергии и улучшенными технико-экономическими показателями на основе отечественной компонентной базы силовой электроники для автоматического управления напряжением и потоками мощности в распределительных электрических сетях 6-110 кВ» на **этапе № 3** в период с 1 января 2019 года по 31 декабря 2019 года были получены следующие результаты:

- Изготовлен экспериментальный образец УИРМ в высоковольтном исполнении.
- Выполнено экспериментальное исследование параметров, внешних и регулировочных характеристик экспериментального образца УИРМ в высоковольтном исполнении и обработка полученных результатов.
- Проведена проверка функционирования и настройка на экспериментальном образце УИРМ в высоковольтном исполнении разработанных адаптивных алгоритмов управления полупроводниковым коммутатором УИРМ.
- Проведен анализ и сопоставление данных имитационного моделирования и экспериментальных исследований.
- Выполнены обобщение и выводы по результатам ПНИЭР. Проведены оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР и оценка эффективности полученных результатов ПНИЭР в сравнении с современным научно-техническим уровнем.
- Разработаны методические рекомендации по проектированию УИРМ.
- Разработаны требования по интеграции информационно- управляющих узлов УИРМ в структуру событийного протокола передачи данных стандарта МЭК 61850.
- Проведены валидация и настройка имитационной модели УИРМ на основе данных экспериментальных исследований.
- Проведены исследовательские испытания и настройка на экспериментальных образцах программного обеспечения системы управления УИРМ и обработка полученных результатов.

- Разработаны предложения и рекомендации по проектированию, производству и эксплуатации продукции с учётом технологических возможностей и особенностей Индустриального партнёра.

- Разработан проект технического задания на выполнение ОКР по теме: «Разработка и изготовление опытно- промышленного образца управляемого источника реактивной мощности для распределительной электрической сети».

Проведены маркетинговые исследования с целью изучения перспектив коммерциализации технических решений, полученных в рамках выполнения ПНИЭР.

- Для популяризации результатов и достижений науки, полученных в ходе выполнения ПНИЭР на этапе 3, принято участие в двух конференциях, выставке ВУЗПРОМЭКСПО 2019 и опубликовано четыре работы, индексируемые в SCOPUS.

- Подготовка предложений и рекомендаций по реализации (коммерциализации) результатов ПНИЭР, вовлечению их в хозяйственный оборот.

- Проведена оценка соответствия характеристик экспериментальных образцов УИРМ требованиям к экспериментальным образцам, сформулированным на этапе 2.

- Проведена корректировка эскизной конструкторской документации на экспериментальные образцы УИРМ по результатам экспериментальных исследований.

- Разработано техническое задание на выполнение ОКР по теме: «Разработка и изготовление опытно-промышленного образца управляемого источника реактивной мощности для распределительной электрической сети».

- Проведена оценка результатов интеллектуальной деятельности, полученных при разработке УИРМ, с целью их вовлечения в хозяйственный оборот.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.