



**НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Президент НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н., профессор

Н.Д. Роголев

«15» февраля 2022 г.

ПРОТОКОЛ

совместного заседания секции «Проблемы надежности и эффективности релейной защиты и средств автоматического системного управления» и секции «Управления режимами энергосистем, РЗА» НП «НТС ЕЭС» по теме: **Разработка и внедрение комплексов РЗА ЦПС с различными архитектурами (централизованная, децентрализованная, гибридная).**

30 июня 2021 г.

г. Москва

Присутствовало: 51 человек (список представлен в Приложении 2).

На заседании выступили:

С вступительным словом:

- Председатель секции «Проблемы надежности и эффективности релейной защиты и средства автоматического системного управления в ЕЭС России», к.т.н. – А.В. Жуков

С докладами:

Разработка и внедрение комплексов РЗА ЦПС с различными архитектурами (централизованная, децентрализованная, гибридная) – Н.С. Лебедева и А.А. Волошин (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ») (Приложение 2).

В обсуждении докладов и прениях выступили:

А.В. Жуков, А.А. Волошин, Н.С. Лебедева, А.А. Лебедев, А. Шапеев, М. Никандров, Д. В. Кишиневский, М. Янин, Е.П. Егоров, В.М. Зинин, Е.Л. Генгринович, В.Г. Карантаев, В.И. Пуляев, К. Горячевский, А.Н. Подшивалин

Заслушав доклады, выступления участников в дискуссии, заседание отмечает следующее:

1. В настоящее время за рубежом и в России активно ведутся работы по разработке и вводу в эксплуатацию цифровых электрических подстанций (ЦПС). В России остро стоит вопрос импортозамещения и перехода на отечественную электронную компонентную базу, а также на отечественное ПО. Исследования, проведенные Центром НТИ МЭИ, посвящены указанным проблемам и являются актуальными.

2. Заслушанный доклад посвящен Научно-исследовательской работе «Разработка и внедрение комплексов РЗА ЦПС с различными архитектурами (централизованная, децентрализованная, гибридная)», выполненной Центром НТИ МЭИ в рамках реализации программы создания и развития Центра НТИ МЭИ. Техническое задание к работе было согласовано на заседании консорциума Центра НТИ МЭИ в соответствии с регламентом работы Центра НТИ МЭИ, определенным постановлением правительства РФ от 16 октября 2017г. №1251.

3. Рассматриваемая научно-исследовательская работа велась с 15.03.2019 по 30.06.2021 в соответствии с утвержденным техническим заданием за счет средства гранта на государственную поддержку Центра НТИ «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем». Результаты промежуточных этапов работы докладывались на НТС ЕЭС 17 декабря 2019 г. и 6 декабря 2020 г.

4. После окончания этапов работы, финансируемых за счет средства гранта, работа будет продолжена за счет средств организаций-участников консорциума Центра НТИ МЭИ и будет заключаться в практическом внедрении результатов научно-исследовательской работы.

5. Целью рассматриваемой работы являлось создание опытных образцов комплексов РЗА ЦПС различных архитектур (централизованная, децентрализованная, гибридная) и их исследование с точки зрения обеспечения требуемого отраслевыми НТД уровня надежности функционирования системы релейной защиты при минимизации капитальных затрат и затрат на техническое обслуживание в процессе эксплуатации.

6. Результаты сравнительного анализа комплексов РЗА трех архитектур приведены в приложении 1 настоящего протокола.

7. Комплекс РЗА ЦПС с децентрализованной архитектурой повторяет архитектуру современной системы РЗА электрической подстанции без организации шины процесса. Достоинством данной архитектуры является то, что вопросы реализации и эксплуатации распределенных комплексов РЗА хорошо отработаны. Недостатком является высокая стоимость капитальных затрат и затрат на проведение пуско-наладочных работ, связанная с большим количеством оборудования и цифровых связей. Требуемый уровень надежности функционирования обеспечивается реализацией всех

необходимых в соответствии с НТД функций РЗА в распределенных терминалах.

8. Требуемый уровень надежности функционирования комплекса РЗА ЦПС с централизованной архитектурой (рассматривается комплекс, в состав которого входят два программно-технических комплекса РЗА, каждый из которых выполняет полный набор функций, обозначенных в отраслевых НТД). Комплекс РЗА ЦПС с данной архитектурой имеет наименьшую стоимость капитальных затрат, но высокую стоимость эксплуатационных затрат, связанную с высокой степенью концентрации функций РЗА в одном устройстве. При централизованной архитектуре РЗА ЦПС проверка функциональности одного из комплектов централизованного комплекса приводит к его длительному выводу из работы, при этом дублирующий комплекс, остающийся в работе, лишается резервирования на длительное время, что снижает надежность функционирования всего комплекса РЗА в целом.

9. Гибридная архитектура РЗА ЦПС объединяет в себе достоинства приведенных выше архитектур: имеет невысокую стоимость капитальных затрат в связи с уменьшением количества микропроцессорных устройств по сравнению с децентрализованной архитектурой и обеспечивает выполнение всех функций РЗА, необходимых в соответствии с НТД, даже в случае отказа одного или нескольких терминалов РЗА за счет миграции функций.

10. Сравнительный анализ показывает, что гибридная архитектура комплекса РЗА ЦПС является наиболее предпочтительной, поскольку при использовании данной архитектуры:

- требуется меньший объем капитальных и эксплуатационных затрат, в связи с уменьшением количества используемых устройств;

- временные затраты на восстановление функций РЗА при отказе терминала и на восстановление отказавшего терминала для комплекса РЗА с гибридной архитектурой значительно ниже, чем для комплексов РЗА с децентрализованной и централизованной архитектурой (подробные результаты были представлены в докладе Центра НТИ МЭИ на секции НТС ЕЭС «Проблемы надежности и эффективности релейной защиты и средств автоматического системного управления» 6 декабря 2020г.);

- не происходит излишнего дублирования резервных функций РЗА, как при применении централизованной архитектуры, и объем работ по интеграции комплекса РЗА в комплекса АСУТП не превышает объем работ по интеграции в АСУТП комплекса РЗА ЦПС децентрализованной архитектуры;

- при проведении работ по восстановлению отказавшего терминала не возникает необходимости проведения работ по перенастройке АСУТП, поскольку функции РЗА перераспределяются между исправными терминалами.

11. При создании комплекса РЗА ЦПС с гибридной архитектурой было установлено, что существующие подходы к созданию устройств РЗА

ЦПС не позволяют в полной мере воспользоваться преимуществами гибридной архитектуры, в связи с чем возникает ряд новых требований к устройствам, входящим в комплексы РЗА ЦПС с гибридной архитектурой:

- поскольку в каждом терминале предполагается реализация большого числа функций РЗА, необходимо обеспечение изолированной работы функций РЗА между собой для обеспечения надежной работы одних функций РЗА при отказе других, выполняемых в том же терминале. Широко применяемые в настоящее время операционные системы не предоставляют возможности «изоляции» вычислительных процессов в достаточной степени, в связи с чем необходимо применение специализированных микроядерных операционных систем;

- в устройствах комплексов РЗА ЦПС с гибридной архитектурой не рекомендовано применение технологий виртуализации, поскольку они приводят к неэффективному расходованию вычислительных ресурсов ЦПУ: ресурсы, затрачиваемые на виртуализацию вычислительных процессов, сопоставимы с ресурсами, затрачиваемыми на работу самих функций РЗА, что приводит к увеличению стоимости терминала РЗА.

- для обеспечения устойчивой эксплуатации и эволюционного развития РЗА в течение жизненного цикла энергетического оборудования необходимо разрабатывать решения с «функциональностью, независимой от «железа», то есть с кросс-платформенной программной реализацией функций РЗА;

- проведенные исследования передачи данных протоколу SV выявили следующие особенности: однотипные вычисления (преобразование Фурье, выделение симметричных составляющих и т.д.) происходят в каждой функции РЗА, что существенно увеличивает вычислительную нагрузку на устройства; данные, передаваемые по протоколу SV, существенным образом загружают локально-вычислительную сеть, возникает необходимость обеспечения высокой точности синхронизации по времен, что формирует предпосылки для пересмотра применения передачи данных по протоколу SV;

12. Результатами работы стали:

- комплекты проектной документации для создания опытных образцов комплексов РЗА ЦПС различных архитектур (централизованная, децентрализованная, гибридная) на испытательном полигоне Центра НТИ МЭИ;

- опытные образцы комплексов РЗА ЦПС различных архитектур (централизованная, децентрализованная, гибридная), созданные на испытательном полигоне Центра НТИ МЭИ в соответствии с разработанной проектной документацией;

- программы и методики испытаний опытных образцов комплексов РЗА ЦПС различных архитектур (централизованная, децентрализованная, гибридная) и протоколы проведения испытаний;

- патент РФ на изобретение «Способ синхронизации по времени устройств РЗА с использованием параметров аварийного режима»;
- патент РФ на изобретение «Способ передачи измерений в технологической сети передачи данных»;
- патент РФ на изобретение «Способ бесперебойного электропитания потребителей»;
- экспериментальный образец интеллектуального микропроцессорного устройства, реализующего алгоритм синхронизации по параметрам аварийного режима при потере сигналов синхронизации от внешнего источника, основанный на спектральном анализе переходного процесса при помощи вейвлета Морле;
- экспериментальный образец интеллектуального микропроцессорного устройства, исключающего ложные отключения первичного оборудования энергообъектов в результате кибератак, основанный на анализе переходного процесса по вейвлет-преобразованию его аналоговых параметров;
- экспериментальный образец интеллектуального микропроцессорного устройства, реализующего способ передачи измеренных значений токов и напряжений, заключающийся в передаче с заранее заданной периодичностью GOOSE-сообщений о векторах действующих значений тока и напряжения от устройств уровня процесса к логическим узлам релейной защиты в терминалах релейной защиты по локальной вычислительной сети;
- проектная документация для пилотных проектов комплексов РЗА ЦПС гибридной архитектуры на действующих ПС 110 кВ и 35 кВ, на основе разработанных экспериментальных образцов;
- результаты исследований различных архитектур РЗА ЦПС (централизованная, децентрализованная, гибридная) с точки зрения обеспечения требуемого отраслевыми НТД уровня надежности функционирования системы релейной защиты при минимизации капитальных и операционных затрат.

13. Результаты исследования показывают, что при переходе к комплексам РЗА с организацией шины процесса децентрализованная архитектура теряет свою актуальность в связи с высокой стоимостью данного решения. Тем не менее комплексы РЗА с децентрализованной архитектурой без организации шины процесса могут быть рекомендованы к применению для реализации системы РЗА подстанций, питающих неответственных потребителей. Комплексы РЗА ЦПС с централизованной архитектурой также не рекомендованы к применению авторами исследования в связи со сложностью организации эксплуатации данной архитектуры РЗА ЦПС. Наиболее перспективным решением для реализации являются комплексы РЗА ЦПС с гибридной архитектурой. Достоинством указанных комплексов РЗА ЦПС является высокая надежность их функционирования, соответствующая

требованиям НТД, при невысокой стоимости капитальных и эксплуатационных затрат.

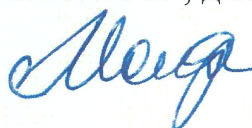
После завершения выполнения работ по настоящему НИОКР планируется проведение опытно-промышленной эксплуатации разработанных решений на ПС 110 кВ Мамулино (г. Тверь).

Совместное заседание секции «Проблемы надежности и эффективности релейной защиты и средств автоматического системного управления» и секции «Управления режимами энергосистем, РЗА» НП «НТС ЕЭС» **приняло следующее решение:**

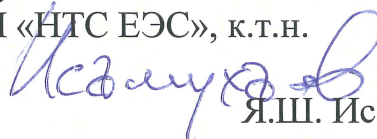
1. Одобрить итоговые результаты НИОКР Центра НТИ МЭИ по разработке и внедрению комплексов РЗА ЦПС с различными архитектурами (централизованная, децентрализованная, гибридная).

2. Рекомендовать проведение опытно-промышленной эксплуатации разработанных решений в пилотных проектах для подтверждения работоспособности предлагаемых решений на реальных электроэнергетических объектах, с вынесением результатов опытно-промышленной эксплуатации на заседание НТС.


Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

 В.В. Молодюк

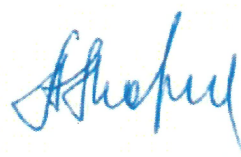
Ученый секретарь
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

 Я.И. Исамухамедов

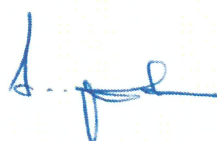
Председатель секции «Управление
режимами энергосистем, РЗА»
НП «НТС ЕЭС»

 А.Ф. Бондаренко

Ученый секретарь секции
«Управление режимами энергосистем,
РЗА» НП «НТС ЕЭС»

 А.Ф. Морозова

Председатель секции «Проблемы
надежности и эффективности
релейной защиты и средства
автоматического системного
управления в ЕЭС России» НП
«НТС ЕЭС», к.т.н.

 А.В. Жуков

Ученый секретарь секции «Проблемы
надежности и эффективности
релейной защиты и средства
автоматического системного
управления в ЕЭС России» НП «НТС
ЕЭС»

 А.И. Расщепляев

Приложение 1

	<p>Состав оборудования комплекса</p>	<p>САРЕХ*</p>	<p>ОРЕХ*</p>	<p>Оценка времени восстановления функции при отказе терминала</p>	<p>Оценка времени восстановления отказавшего терминала</p>	<p>Эксплуатация</p>	<p>Интеграция в АСУТП</p>
<p>Комплекс РЗА ЦПС с децентрализованной архитектурой</p>	<p>ПАС, ЦДС и терминалы РЗА. Состав терминалов РЗА аналогичен составу терминалов РЗА ПС с традиционной системой релейной защиты.</p>	<p>100 млн. руб.</p>	<p>7 млн. руб./г.</p>	<p>~ 100 ч.</p>	<p>~100 ч.</p>	<p>• Вопросы эксплуатации распределенных комплексов РЗА хорошо отработаны, но характеризуются большим объемом работ с связи с большим количеством устройств.</p>	<p>• Значительный объем работ по интеграции комплекса РЗА в комплекс АСУТП в связи с большим количеством микропроцессорного оборудования и реализуемых функций РЗА, а также большим числом цифровых связей между</p>

							оборудованим
Комплекс РЗА ЦПС с централизованной архитектурой	ПАС, ЦДС и терминалы РЗА. В состав терминалов РЗА входят два устройства РЗА на базе серверного оборудования, в каждом из которых выполняются все функции релейной защиты.	60 млн. руб.	30 млн. руб./г.	0 ч.	~ 400 ч.	<ul style="list-style-type: none"> • Вопросы эксплуатации комплексов РЗА с централизованной архитектурой на настоящий момент не проработаны; • Небольшое количество устройств по сравнению с комплексами РЗА ЦПС с децентрализованной архитектурой позволяет сократить время на проведение технического обслуживания, но, при этом, высокая степень 	<ul style="list-style-type: none"> • Большой объем работ по интеграции комплекса РЗА в комплекс АСУТП в связи с увеличением количества реализуемых функций РЗА, поскольку резервные функции, которые не дублировались ранее, при использовании данной архитектуры дублируются, и число сигналов, передаваемых в АСУТП, увеличивается

						<p>концентрации функций РЗА в одном устройстве значительно затрудняет замену терминала РЗ в случае его отказа</p>	<p>в 1.5 – 2 раза, что приводит к увеличению объема пуско-наладочных работ, а также к повышенной нагрузке на локально-вычислительную сеть.</p>
<p>Комплекс РЗА ЦСП с гибридной архитектурой</p>	<p>ПАС, ЦДС и терминалы РЗА с миграцией функций при отказе устройства РЗА, что позволяет сократить количество терминалов РЗА.</p>	<p>70 млн. руб.</p>	<p>5 млн. руб./г.</p>	<p>50-80 мс</p>	<p>не более 16 ч.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Вопросы эксплуатации комплексов РЗА с гибридной архитектурой на настоящий момент не проработаны. Требуется проведение опытно-промышленной эксплуатации • Относительно небольшое количество 	<ul style="list-style-type: none"> • Излишнего дублирования функций РЗА не происходит как при применении централизованной архитектуры, объем работ по интеграции комплекса РЗА в комплекса АСУТП не превышает объема работ по интеграции

						<p>оборудования по сравнению с комплексами РЗА ЦПС с децентрализованной архитектурой</p> <p>архитектурой позволяет сократить время на проведение технического обслуживания</p> <ul style="list-style-type: none"> • Алгоритм автоматического распределения функций позволяет отказаться от проведения испытаний функций РЗА после замены отказавшего терминала 	<p>в АСУТП РЗА ЦПС децентрализованной архитектуры.</p> <ul style="list-style-type: none"> • После отказа устройства не возникает необходимости проведения работ по перенастройке АСУТП, поскольку функции РЗА перераспределяются между исправными терминалами в неизменном виде.
--	--	--	--	--	--	---	---

*Оценочные данные приведены для ПС 220/110 кВ.