



Техническое совещание  
Концептуальные вопросы развития релейной защиты и автоматики в рамках реализации национального проекта «Разработка и внедрение цифровых электрических подстанций и станций на вновь строящихся и реконструируемых объектах энергетики».



## Технические решения применительно к технологии ЦПС

Название компании: АО «НИПОМ»,  
НГТУ им. Р.Е. Алексеева  
Докладчики: Зинин В.М., Куликов А.Л.

Информационный партнер



НГТУ им. Р.Е. Алексеева  
Институт электроэнергетики  
(ИНЭЛ)

При поддержке



# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ» (ЦПС)

- ❑ Термины и определения технологии «Цифровая подстанция» (ЦПС)
- ❑ Технические проблемы, которые могут быть эффективно решены с применением технологии ЦПС.
- ❑ Технические проблемы, сдерживающие широкое внедрение технологии ЦПС
- ❑ Предпочтительные/перспективные решения по построению ЛВС для «шины процесса»/«шины станции»
- ❑ Инструменты/программно-технические средства, необходимые специалистам на стадии проектирования ЦПС, при наладке технических комплексов управления и в процессе их эксплуатации

## Термины и определения технологии «Цифровая подстанция» (ЦПС).

**Цифровая подстанция (ЦПС) – это термин, применяемый к ПС, управляемым с помощью интеллектуальных электронных устройств (IED), связанных между собой сетью коммуникаций.**

Стандарт МЭК 61850 унифицировал коммуникации и измерения на цифровой подстанции и заложил основу взаимодействия между собой оборудования и программного обеспечения различных производителей, что является положительным для развития технологии ЦПС. В дальнейшем в докладе будут рассматриваться вопросы с учетом применения МЭК 61850 в составе ЦПС.

Стандарт МЭК 61850 достаточно полно определяет основную базовую терминологию ЦПС, которой не следует давать национальной и прочей трактовки.

# Технические проблемы, которые могут быть эффективно решены с применением технологии ЦПС.

## Шина процесса ЦПС позволяет обеспечить:

- Повышение безопасности за счет снижения риска поражения электрическим током, благодаря полной изоляции от процесса
- Интеграция ЦИТТ и ЦИТН с цифровыми интерфейсами (SV) и отсутствием в них масла и снижением/исключением объема SF6
- Снижение времени простоев (т.к. основной объем работ по монтажу оборудования выполняется на заводе)
- Повышение эффективности обслуживания за счет расширения возможностей диагностики (точная информация о месте и характере неисправности) и уменьшения времени на замену/обновление оборудования
- Ускорение сроков реализации проектов, т.к. используется меньшее количество кабелей, что сокращает время ПНР
- Стандартизация и типизация шкафов высокой заводской готовности
- Снижение требований к ТТ и ТН за счёт снижения нагрузки на вторичные обмотки и уменьшения числа вторичных обмоток
- Возможность «безболезненного» внесения изменений на поздних стадиях проекта (все связи цифровые, построены на МЭК 61850, который является единым источником информации для всех программно-определяемых функций управления)

# Технические проблемы, которые могут быть эффективно решены с применением технологии ЦПС.

## Использование ВОЛС вместо медных кабелей и МЭК 61850 позволяет достичь:

- ❑ Сокращения использования меди за счет замены кабелей с ОРУ, перевода горизонтальных связей между ИЭУ с медных на цифровые (GOOSE), что, в свою очередь, уменьшает число подключений между первичным и вторичным оборудованием
- ❑ Существенного снижения веса материалов, т.к. вес оптического волокна существенно меньше веса заменяемых медных кабелей, а замена традиционных ТТ на ЦИТТ позволяет получить еще уменьшение массы
- ❑ Сокращение времени монтажа для новых объектов за счет уменьшения количества панелей и связей между ними, снижение времени простоев для реконструируемых вторичных систем объектов (т.к. комплекс РЗА и АСУ ТП выполняется на заводе и поставляется в высокой заводской готовности)
- ❑ Уменьшения площади занимаемой РЗА за счет исключения плат ввода/вывода из состава ИЭУ и интеграции функций управления в различных ИЭУ, уменьшения площади РУ за счет применения выключателей Р/ЗН со встроенными оптическими ТТ

# Технические проблемы, которые могут быть эффективно решены с применением технологии ЦПС.

## Использование Цифровых измерительных трансформаторов тока позволяет:

- Измерять гармонические составляющие
- Обеспечить расширенный динамический и частотный диапазон
- Осуществлять синхронность измерений
- Снизить метрологические потери
- Исключить влияние электромагнитных эффектов (остаточная намагниченность, помехи и пр.)
- Добиться безопасности эксплуатации и простоты обслуживания
- Устранить феррорезонансные явления
- Повысить точность измерений (особенно при малых токах) и точность ОМП
- Обеспечить самодиагностику
- Упростить монтаж (за счет меньшего веса)
- Уменьшить стоимость (для класса напряжения 50-750 кВ)

**ЦПС обеспечивает новое качество измерений за счет отсутствия потерь во вторичных цепях при передаче информации, ее синхронности, неоднократного тиражирования и единожды выполненного АЦ преобразования.**

# Технические проблемы, сдерживающие широкое внедрение технологии ЦПС.

Среди основных проблем следует выделить несогласованность, неполноту и отставание стандартов, отраслевой нормативной базы, системы подготовки новых кадров и переподготовки эксплуатационного персонала.

От совещания главных инженеров предприятий электроэнергетики, которое проходило в конце марта 2018 г. в Сочи, были ожидания планов развертывания работы по внедрению цифровых подстанций в энергосистеме РФ. Но, к сожалению, они не оправдались.

Главной задачей и существенным преимуществом ЦПС является возможность интеграции функций технологического управления различных подсистем. ПАО «ФСК ЕЭС» направило на обсуждение 14 проектов стандартов, касающихся ЦПС. Следует отметить необходимость и важность этой работы, но, к сожалению, эти проекты документов описывают исполнение отдельных подсистем, игнорируя основные преимущества технологии ЦПС.

## Предпочтительные/перспективные решения по построению ЛВС для «шины процесса»/«шины станции».

Принципы и технологии построения отказоустойчивых высокопроизводительных вычислительных сетей давно отработаны в смежной отрасли связи (передачи данных) и при построении промышленных вычислительных сетей предприятий различных отраслей. Лучшие из этих практик следует брать в качестве типовых проектных решений проектным организациям в электроэнергетике для построения «шины процесса»/«шины станции» ЦПС.

На рынке представлено достаточное количество производителей активного сетевого оборудования, поддерживающего основные стандарты и протоколы (PRP, HSR, RSTP, RTP v.2 и т.д.), применяемые в технологии построения «шины процесса»/«шины станции» ЦПС, но следует констатировать, что большинство этих производителей являются импортными или «условно» российскими.

**Инструменты/программно-технические средства, необходимые специалистам на стадии проектирования ЦПС, при наладке технических комплексов управления и в процессе их эксплуатации.**

Методологические принципы проектирования ЦПС определены стандартом МЭК 61850 (SCL – язык конфигурирования подстанций). Программно-технические средства представленные на рынке сегодня обеспечивают минимальное удобство проектирования ЦПС. Появление типовых проектных решений даст толчок их развитию.

Например, у компании АО «НИПОМ» есть собственное специализированное ПО «Кодогенератор управляющего ПО ЦПС» – основной инструмент построения логики ИЭУ. Далее в докладе будет дана его краткая характеристика.

# ВОПРОСЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

- ❑ Актуальность перехода от «контроллерного» исполнения устройств РЗА к «компьютерному» исполнению (в краткосрочной, среднесрочной или долгосрочной перспективе).
- ❑ Актуальность перехода к кросс-платформенной программной реализации функций РЗА (в краткосрочной, среднесрочной или долгосрочной перспективе).
- ❑ Обоснование применения различных вариантов архитектуры комплекса РЗА ЦПС (децентрализованная, централизованная, смешанная, гибкая и др.).
- ❑ Вопросы интеграции систем РЗА и АСУ ТП при создании ЦПС.
- ❑ Необходимость пересмотра подходов к оценке надежности (проектной и эксплуатационной) комплексов РЗА, реализуемых по технологии ЦПС.
- ❑ Технические решения, обеспечивающие надежность комплексов РЗА ЦПС. Технические решения, влияющие на поток отказов и время восстановления.
- ❑ Мониторинг показателей надежности РЗА ЦПС. Перечень показателей надежности, необходимых для оценки функционально-интегрированных комплексов РЗА ЦПС.

## Актуальность перехода от «контроллерного» исполнения устройств РЗА к «компьютерному» исполнению (в краткосрочной, среднесрочной или долгосрочной перспективе) и кроссплатформенной программной реализации функций РЗА.

При разработке собственной технологии РЗА АО «НИПОМ» изначально выбрал вариант «компьютерного» исполнения, таким образом для нас вопрос актуальности перехода был решён в 2013 году.

В середине марта 2018 года мы закончили функциональные испытания РЗА ЛЭП 110-220 кВ в АО «НТЦ ФСК ЕЭС», которые наряду с опытно-промышленной эксплуатацией подтвердили соответствие нашей РЗА отраслевым требованиям. В этом году мы аттестуем РЗА подстанционного оборудования 110-220 кВ и терминалы РЗА для 6-35 кВ. Таким образом, АО «НИПОМ» готов предложить кроссплатформенные РЗА «компьютерного» исполнения на напряжение 6-220 кВ, которые соответствуют действующей нормативной базе ПАО «Россети» и будущим требованиям ЦПС.

## Обоснование применения различных вариантов архитектуры комплекса РЗА ЦПС (децентрализованная, централизованная, смешанная, гибкая и др.).

Ответом на этот вопрос во многом является результат работы, проводимой в МЭИ по тематике «Функционально-интегрированные комплексы РЗА с гибкой структурой». Перспективным техническим решением ЦПС (и РЗА, как важнейшей ее подсистем) является централизованное, но переход к этой технологии должен происходить эволюционно с ее апробацией на тупиковых наименее ответственных ПС, постепенно объединяя функции децентрализованной ЦПС. Конечной целью этой большой работы АО «НИПОМ» видит переход на необслуживаемые ПС.

На сегодняшний день применение различных вариантов архитектуры комплекса РЗА определяется не только и не столько нормативной базой, сколько технологическими особенностями РЗА различных производителей. Некоторые производители в принципе не поддерживают возможность централизованного исполнения РЗА.

Архитектура распределенного кроссплатформенного ИЭУ (терминала РЗА) на стандартизованных «компьютерных» компонентах АО «НИПОМ» позволяет применять его в составе ЦПС любой архитектуры, в т.ч. и описанной в работах МЭИ.

## Вопросы интеграции систем РЗА и АСУ ТП при создании ЦПС.

При проектировании подсистемы АСУ ТП ЦПС в качестве протокола используется МЭК 61850 8-1 (MMS). Его возможностей достаточно для решения задач технологического управления ПС и обмена информацией с ЦУС (и т.д.), а большинство производителей РЗА его поддерживают.

Ранее неоднократно на различных отраслевых совещаниях подчеркивалось, что переход на единый протокол обмена (MMS) с уровнем АСУ ТП снижает трудозатраты на эту составляющую работ. Таким образом ответ очевиден.

# Необходимость пересмотра подходов к оценке надежности (проектной и эксплуатационной) комплексов РЗА, реализуемых по технологии ЦПС.

Надежность элементов ЦПС является важнейшей задачей. Считаем необходимым отметить:

- Расчет надежности ЦПС не имеет устоявшихся общепризнанных методик
- Из-за отсутствия опыта эксплуатации ЦПС , а также радикальных инновационных решений новая технология требует понятной для инженеров-электриков единой (!) методики расчета показателей надежности
- В настоящее время отсутствие таких расчетов надежности влияет на уверенность персонала при решении задачи внедрения ЦПС

**Предлагаем создать рабочую группу под руководством специалистов ПАО "РОССЕТИ" для разработки единой методики оценки показателей надежности ЦПС. Оценке надежности в первую очередь должна подлежать система управления. В дальнейшем считаем необходимым ввести обязательное требование по сопровождению каждого варианта проектного решения ЦПС расчетами надежности технических решений.**

## Технические решения, обеспечивающие надежность комплексов РЗА ЦПС. Технические решения, влияющие на поток отказов и время восстановления.

Говоря о технических решениях, обеспечивающих надежность комплексов РЗА ЦПС, следует отметить, что рассматривать этот вопрос нужно в комплексе с надежностью ЦПС в целом. Но, поскольку устоявшихся общепризнанных методик расчета надежности ЦПС нет, обсуждать технические решения преждевременно.

Относительно поставленного вопроса сегодня можно утверждать, что использование стандартных серверов в качестве комплексов РЗА является ошибочным решением.

Следует отметить, что в работах МЭИ по тематике «Функционально-интегрированные комплексы РЗА с гибкой структурой», в том числе уделяется большое внимание вопросам надежности.

- ❑ Достаточность стандарта МЭК 61850 для разработки и внедрения технологии ЦПС. Технические вопросы, требующие дополнительной стандартизации.
- ❑ Оценка в части предпочтительности/перспективности решения передачи данных по протоколу МЭК 61850-9-2 (LE) (Sampled Values), МЭК 61850-8-1 (GOOSE).
- ❑ Развитие АСУ ТП при внедрении технологий ЦПС. Возможности/сервисы/модели, описанные в стандарте МЭК 61850, необходимые для использования в АСУ ТП.

## Достаточность стандарта МЭК 61850 для разработки и внедрения технологии ЦПС. Технические вопросы, требующие дополнительной стандартизации.

МЭК 61850 является достаточным для разработки и внедрения технологии ЦПС. Разработка «Российского» профиля МЭК 61850 не дает никаких преимуществ, в качестве пояснения уместным будет привести пример с шириной рельсов на железной дороге в России и в Европе, где до сих пор железнодорожные составы при пересечении границы должны «переобуваться». С точки зрения реализации экспортного потенциала отечественных производителей «Российский» профиль просто вреден.

Сегодня разработка национальных отраслевых стандартов для ЦПС фактически ведется на базе существующих технических решений отдельных производителей. Так ли это должно быть? Производители оборудования или эксплуатирующие организации должны задавать вектор (направление) перспективного развития энергосистемы РФ? Главный недостаток такого подхода связан с тем, что производитель имеет узкий производственный взгляд на технические решения. При этом теряется суть технологии ЦПС - интеграция различных функций. Именно от этого достигается наибольший эффект ЦПС. Сейчас отдельно рассматриваются подсистемы РЗА, АСУ ТП, учета электроэнергии и т.д.

Работу по стандартизации в части ЦПС должны в обязательном порядке вести эксплуатирующие организации. т.е. ПАО «РОССЕТИ», чтобы избежать ситуации «телеги, которая управляет лошадью».

## Оценка в части предпочтительности/перспективности решения передачи данных по протоколу МЭК 61850-9-2 (LE) (Sampled Values), МЭК 61850-8-1 (GOOSE).

Использование GOOSE вопросов не вызывает, он удовлетворяет в полной мере возложенным на него функциям. 9-2 LE стандартизует передачу мгновенных значений токов и напряжений, но является избыточным в ряде случаев, как по содержанию, так и по частоте дискретизации. Кроме того, если необходимо в ЦПС передавать мгновенные значения не токов и напряжений, а производных величин, например, сопротивления или мощности, то с помощью 9-2 LE это реализовать невозможно.

В развитии технологии ЦПС с учетом ее максимальной гибкости и возможности использования распределенных вычислений перспективным может быть использование полноценного 9-2, что усложнит задачу стандартизации, но позволит снизить утилизацию вычислительной сети ЦПС. Особенно привлекательным это выглядит при реализации функций ЦПС (РЗА) программным методом.

- ❑ Требования по обеспечению кибербезопасности, которые необходимо предъявлять к внедряемой технологии ЦПС.
- ❑ Решения по обеспечению кибербезопасности функционирования технических комплексов управления ЦПС.

# Требования по обеспечению кибербезопасности, которые необходимо предъявлять к внедряемой технологии ЦПС.

## ➤ Необходимый минимум требований по обеспечению кибербезопасности в технологии ЦПС:

контроль целостности (имитовставку) GOOSE в ИЭУ (УСО, МУ, терминалах РЗА и т.д.);

TLS-шифрование применительно к протоколу MMS между ИЭУ шины процесса и АСУ ТП ЦПС (включая АРМ эксплуатационного и оперативного персонала);

двухфакторную аутентификацию на всех УСО, МУ, терминалах РЗА и АРМ эксплуатационного и оперативного персонала;

ролевой доступ к элементам подсистем управления ЦПС в зависимости от функциональных обязанностей эксплуатационного персонала;

протоколирование событий безопасности на уровне подстанции и ЦУС.

# Решения по обеспечению кибербезопасности функционирования технических комплексов управления ЦПС.

➤ Сформулируем основные требования к аппаратно-программной платформе ЦПС в кибербезащищенном исполнении. Она должна:

создаваться на российской доверенной аппаратно-программной платформе, ключевые компоненты которой (операционная система, микропроцессор, контроллер периферийных интерфейсов, базовая система ввода-вывода, прикладное ПО) разработаны в РФ, силами российских специалистов и имеют полную конструкторскую документацию;

учитывать положения стандартов, разработанных группой IEC TC57: IEC 61850, IEC60870, IEC 62351 в части безопасности коммуникационных протоколов, а также требования стандарта INL Cyber Security Procurement Language 2008, серии стандартов ISO/IEC 27000 в части общих принципов обеспечения безопасности цифровых систем управления и ГОСТ-Р МЭК 62443-3-2013;

использовать Российские ГОСТ-ированные алгоритмы шифрования и криптозащиты, которые встраиваются в каждое IED, УСО, МУ, терминалы РЗА, АСУ ТП;

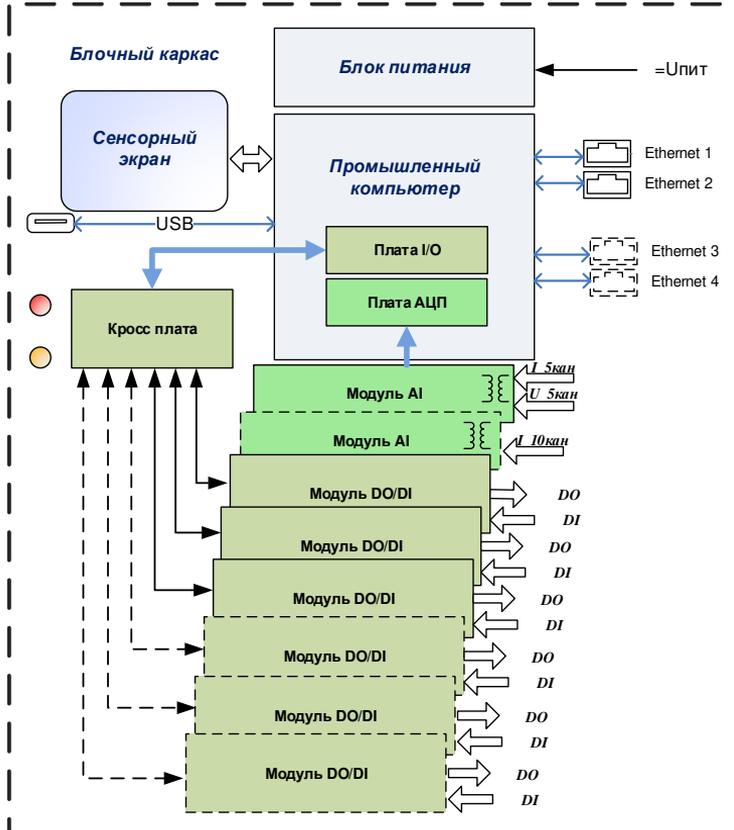
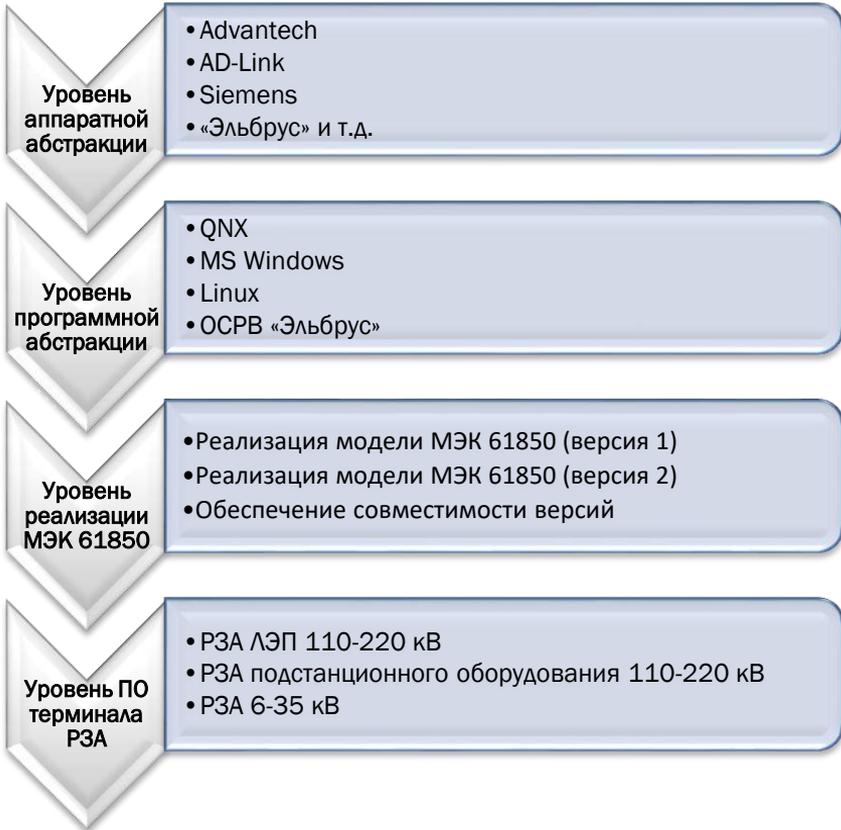
обладать экспортным потенциалом.

## Технология полного цикла создания ЦПС. Подход АО «НИПОМ»

АО «НИПОМ» предлагает технологию полного цикла создания ЦПС, состоящую из:

- Комплексной закрытой подстанции (КЗПС) высокой заводской готовности напряжением 110/35/10 кВ.
- Системы технологического управления КЗПС, построенной с применением МЭК 61850, с использованием кроссплатформенных ИЭУ «компьютерного» исполнения.
- Применения кибербезопасных ИЭУ в составе ЦПС, в том числе на отечественном микропроцессоре «Эльбрус».
- Использования МЭК 61850 не только для коммуникаций между ИЭУ, но и внутри ИЭУ.

# Отличительные особенности кроссплатформенного «компьютерного» исполнения РЗА АО «НИПОМ».



# Архитектура распределенного ИЭУ АО «НИПОМ».

Использование МЭК 61850 внутри ИЭУ формирует основу для:

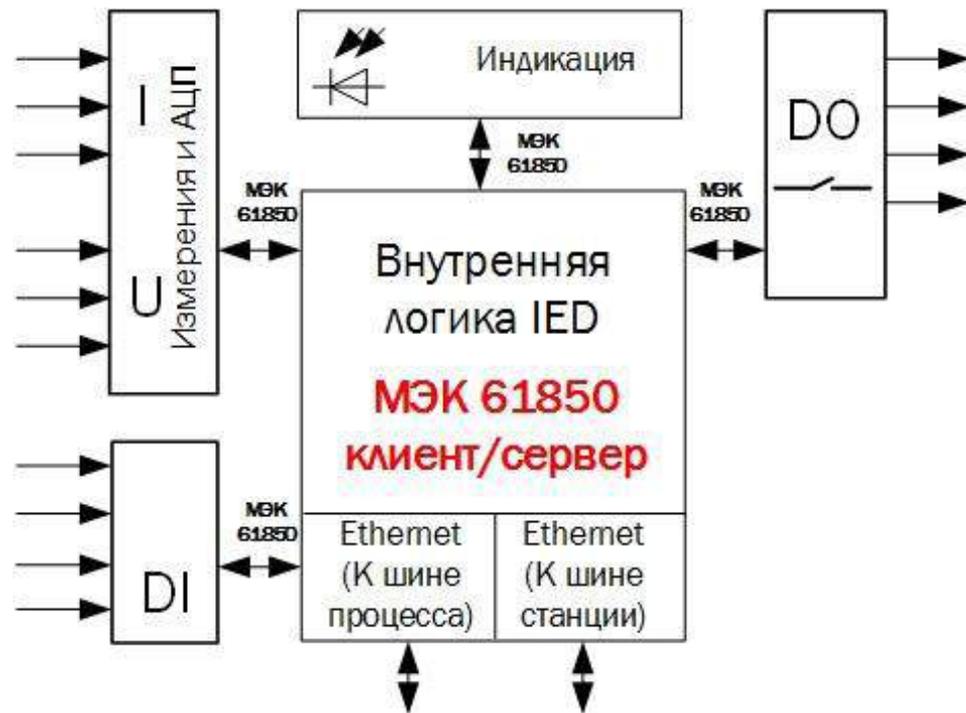
дальнейшей стандартизации типовых элементов замены ИЭУ;

унификации элементов логических схем построения защит;

типизации подходов к кибербезопасности ЦПС;

применения децентрализованных и централизованных ИЭУ в составе ЦПС;

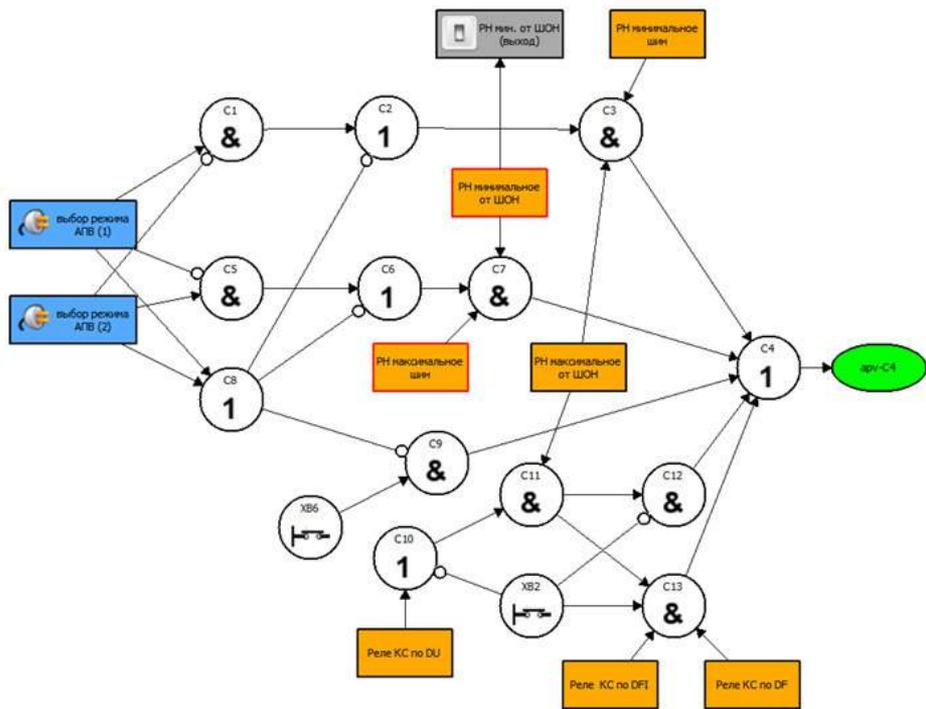
использования других подсистем ЦПС (например, контроллеров присоединений, АСУ ТП) для резервирования функций РЗА, повышая надежность системы в целом



Архитектура распределенного ИЭУ (терминала РЗА) на стандартизованных «компьютерных» компонентах АО «НИПОМ» позволяет применять его в составе ЦПС любой архитектуры.

# Специализированное ПО «Кодогенератор управляющего ПО ЦПС»

АО «НИПОМ»



Специализированное ПО собственной разработки АО «НИПОМ» «Кодогенератор управляющего ПО ЦПС» – основной инструмент построения логики ИЭУ. Он позволяет в режиме WYSIWYG создать функциональную логическую схему ИЭУ, проверить ее корректность, взаимодействие с другими ИЭУ ЦПС, сгенерировать программный код на языке «Си» и конфигурационные файлы стандарта МЭК 61850 и скомпилировать выполняемый модуль ИЭУ. Среди возможностей кодогенератора следует отметить поддержку распределенных вычислений и независимость генерируемого программного кода от операционной системы и процессора, применяемого в ИЭУ. В частности, это позволяет применять кодогенератор при создании функционально интегрированных систем РЗА (ФИС РЗА), как одного из важнейших элементов ЦПС, используя оптимизационные методы.

# Спасибо за внимание!

## Авторы доклада:

Зинин Владимир Михайлович - Директор управления перспективных разработок АО «НИПОМ»

Куликов Александр Леонидович – д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева

## Контакты

**Адрес:** 603140, Нижегородская обл., г. Н. Новгород,  
пр. Ленина, 20

**Телефон:** +7 800 100-43-44 (многоканальный)

**e-mail:** [office@nipom.ru](mailto:office@nipom.ru)

**http:** [www.nipom.ru](http://www.nipom.ru)