



## 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».



# Кластерная Цифровая подстанция

ИТЦ Континуум  
Кириллов А.С., Сердцев А.А.

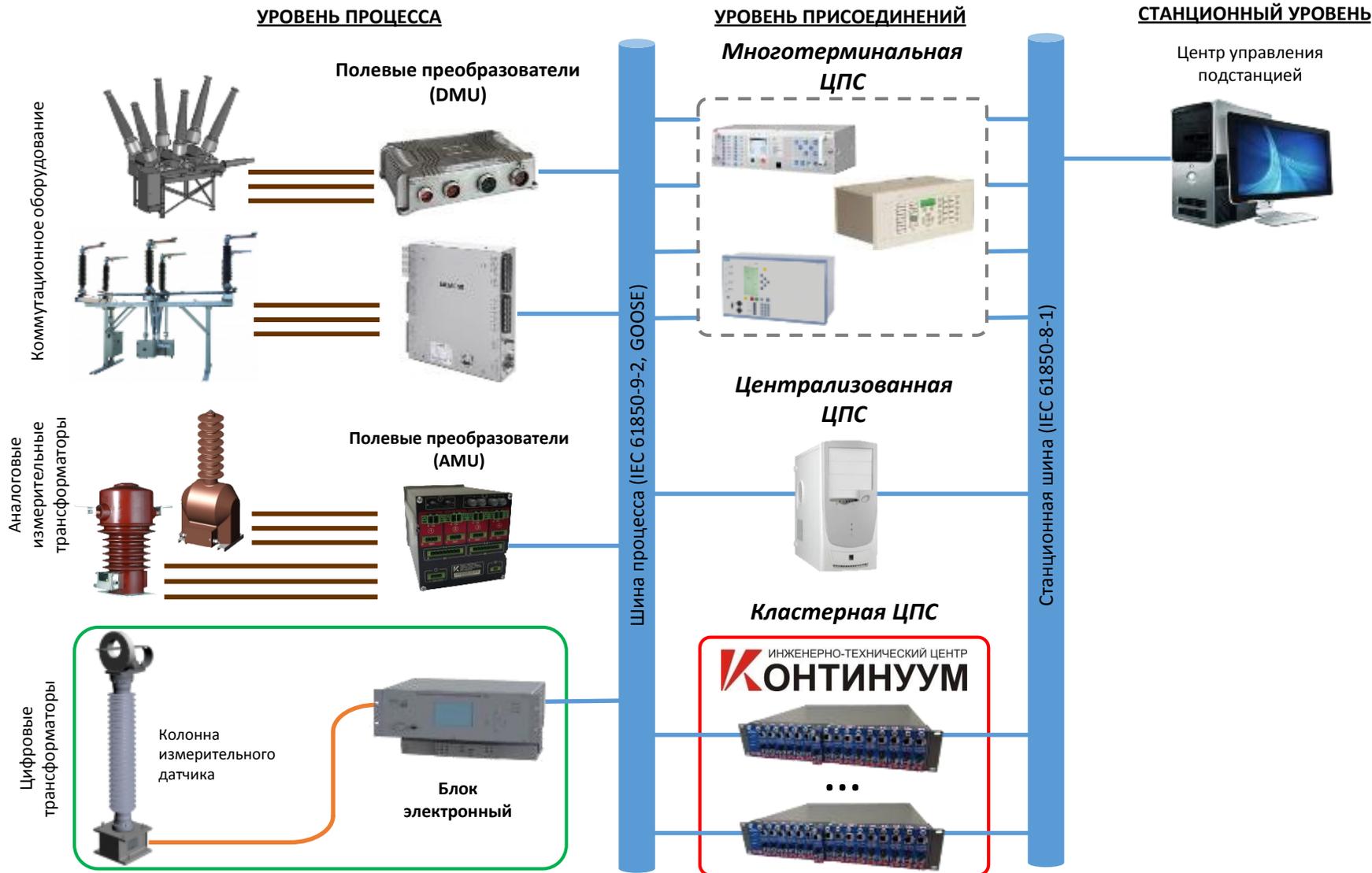
Информационный партнер



При поддержке



# Цифровая подстанция



## АРХИТЕКТУРА ЦПС

### УРОВЕНЬ ПРОЦЕССА:

Преобразование аналоговых и дискретных сигналов в цифровой формат в соответствии с IEC 61850. Данный уровень одинаков для всех архитектур построения ЦПС.

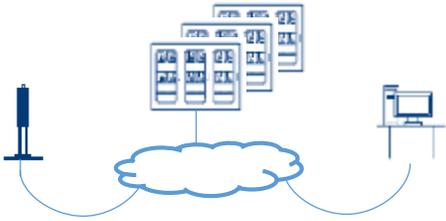
### СТАНЦИОННЫЙ УРОВЕНЬ:

Выполнение общеподстанционных задач, взаимодействие с персоналом и взаимосвязь с внешними объектами. Данный уровень одинаков для всех архитектур построения ЦПС.

### УРОВЕНЬ ПРИСОЕДИНЕНИЙ:

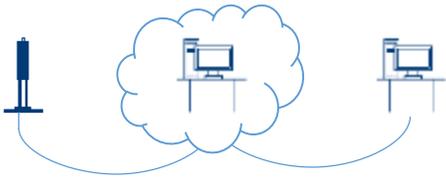
Обработка сигналов, принятие решений. Основные различия в архитектурах построения ЦПС сосредоточены именно на данном уровне.

## Архитектуры Цифровых подстанций



**Многотерминальная цифровая подстанция**

- ❌ **Большой** объем коммутаторов и кабелей связи.
- ✅ **Мультивендорное** решение.
- ✅ Выделенная среда исполнения функций (**без разделяемых ресурсов**).
- ❌ Масштабируемость – **добавлением терминалов**.
- ❌ Схема резервирования – **дублирование терминалов**.
- ❌ **Сложные** системы жизненного цикла (проектирование, конфигурирование, эксплуатации), включая высокую сложность обслуживания коммуникационной среды



**Централизованная цифровая подстанция**

- ✅ **Минимальный** объем коммутаторов и кабелей связи.
- ❌ **Моновендорное** решение.
- ❌ **Общая** среда исполнения функциональных задач разного уровня ответственности, общая память и машинное время.
- ❌ Масштабируемость – добавлением программ до исчерпания вычислительных возможностей, после **добавление еще одного ПК**.
- ❌ Схема резервирования – **дублирование ПК**.
- ❌ **Высокая** сложность эксплуатации, потребность в отключении целого ПК при выполнении обслуживания.



**Кластерная цифровая подстанция**

- ✅ **Унифицированные** аппаратные модули для всех типов функциональных задач.
- ✅ **Минимальный** объем коммутаторов и кабелей связи.
- ✅ **Мультивендорное** решение.
- ✅ Выделенная среда исполнения функций (**без разделяемых ресурсов**).
- ✅ Масштабируемость – добавлением терминала (**CIED устройства**).
- ✅ Схема резервирования – дублирование терминалов, **механизмы FDA** (функционально динамическая архитектура).
- ✅ **Простота** эксплуатации и модернизации.

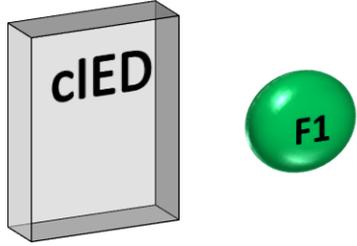
## Сложности реализации Централизованных цифровых подстанций

1. Конфликты при доступе к общим ресурсам (процессор, память, интерфейсы) – чем выше количество функций, требующих доступа к общему ресурсу, тем выше вероятность отказа.
2. Взаимозависимость функций – при увеличении количества функций/программ, работающих в одной вычислительной среде растут явные и скрытые связи между ними. Отсутствует гарантия, что после обновлении отдельной части ПО (например, модуля АСКУЭ), оно не повлияет на работоспособность уже работающих программных модулей других версий (например, РЗА).
3. Для централизованных устройств на базе операционных систем общего назначения велико влияние «непредсказуемых» системных процессов.
4. Централизованная ЦПС разрушает существующие подходы к эксплуатации и не позволяет разделить зоны ответственности, предусматривает вывод из эксплуатации всего сервера при работе с одним из программных модулей.

## Преимущества Кластерной Цифровой подстанции

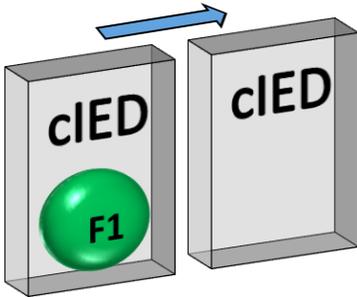
Цели	В сравнении с многотерминальной ЦПС	В сравнении с централизованной ЦПС
Повышение надежности	<ul style="list-style-type: none"> <li>Высокое качество аппаратуры, достигаемое при серийном производстве унифицированных устройств.</li> <li>сIED подключаются внутри шасси, что дает защищенные интерфейсы заводской готовности.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Отсутствие общих ресурсов и конфликтов, связанных с доступом к ним</li> <li>Отсутствие взаимозависимости</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Новые способы резервирования, базирующиеся на механизмах FDA.</li> </ul>	
Снижение CAPEX	<ul style="list-style-type: none"> <li>Меньшая площадь ОПУ, меньшее количество стоек.</li> <li>Меньше коммутаторов и кабелей связи.</li> <li>Ниже стоимость IED устройства.</li> <li>Дешевле проектирование, монтаж и пуско-наладка.</li> <li>Удешевление модернизации, возможность повторного использования аппаратуры.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Возможность поэтапного и частичного внедрения.</li> <li>Возможность выбора поставщика ПО на конкурентной основе.</li> </ul>
Снижение OPEX	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сокращение потребности в ЗИП.</li> <li>Снижение требований к квалификации оперативного персонала, обслуживающего систему.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Возможность обслуживать ЦПС, выводя из эксплуатации отдельные терминалы.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Свойство самовосстановления системы и снижение требований к оперативности устранения отказов.</li> </ul>	

## Идеология Кластерной Цифровой подстанции



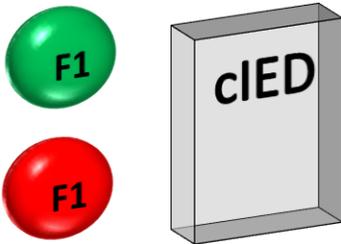
### РАЗДЕЛЕНИЕ АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аппаратное обеспечение – унифицированные вычислительные модули.  
Программное обеспечение (функция) не привязано к конкретному терминалу и может быть загружено на любое из унифицированных вычислительных устройств



### ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Функции могут перемещаться между терминалами в ответ на команды оператора или под влиянием внешних факторов, например отказ одного из терминалов, при этом система не содержит центрального узла, принимающего решения о перераспределении функций.



### ОТКРЫТАЯ АРХИТЕКТУРА

Для разработки функций предоставляется набор средств (SDK), позволяющий сторонним разработчикам реализовывать свои алгоритмы.  
Пользователю предоставляется выбор поставщика программных решений.

## Аппаратное исполнение Кластерной Цифровой подстанции

### Шасси кластерной ЦПС



- Компактность – 1 шасси на 12-16 устройств, 3-4 шасси на одну стойку, **1-2 стойки на подстанцию.**
- Резервирование электропитания и коммуникации для всех устройств в шасси.

### cIED

(compact Intellectual Electronics Device)  
Интеллектуальный терминал системы автоматизации подстанции



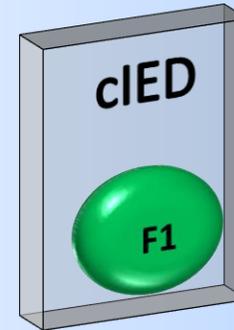
- Компактное IED устройство.
- Унифицированное аппаратное исполнение для всех задач.
- Низкая стоимость и высокое качество, достигаемое при массовом производстве одинаковых устройств.

## ВПО cIED

- Операционная система реального времени Cluster OS, оптимизированная под cIED.
- FDA агент – комплекс средств, обеспечивающий независимое функционирование FDA механизмов.

## softIED

реализация алгоритмов автоматизации подстанции



- Открытость для разработчиков.
- Совместимость со сторонними разработками.
- Большой объем реализованных рутинных задач.

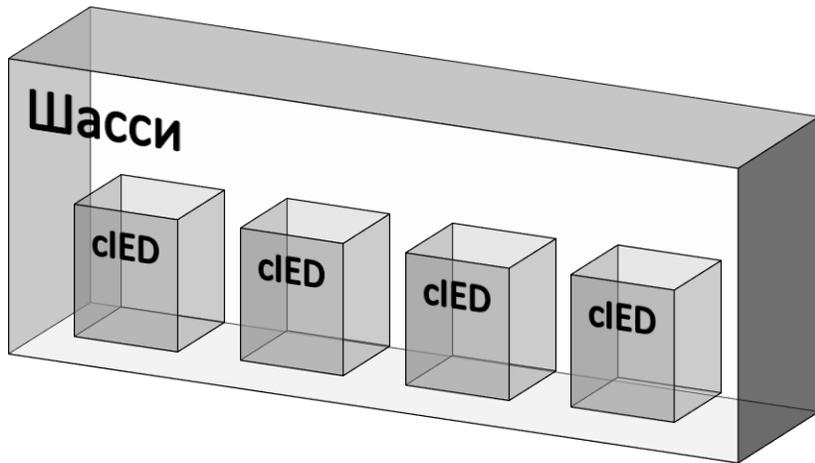
## ПО жизненного цикла

- SDK для разработчиков, стартовые наборы (Starter Kit).
- Cluster PAC Store – открытый рынок программных продуктов для Кластерной ЦПС.
- Программные продукты для пуско-наладки и эксплуатации.

## Унификация аппаратных средств

### РЕШЕНИЕ

Единое шасси, обеспечивающее питание модулей, защиту от внешних воздействий



Унифицированные аппаратные модули – одинаковые и взаимозаменяемые для всех функций АСУ ТП.

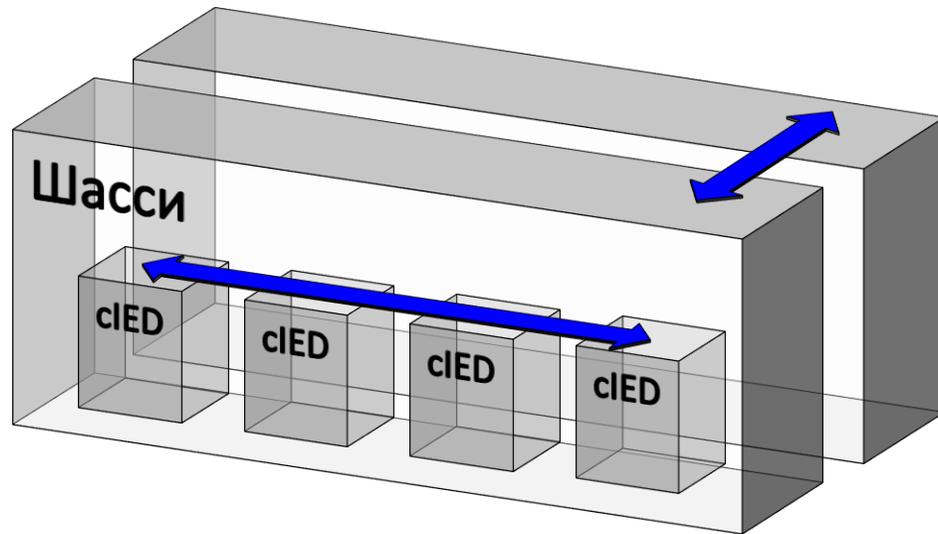
### ЭФФЕКТ

1. Снижение стоимости аппаратных средств за счет унификации, повышения серийности выпускаемой продукции.
2. Меньшая стоимость модульного решения: стоимость шасси разделяется между всеми модулями и вклад шасси в их стоимость намного меньше, чем оснащение каждого модуля собственной системой электропитания и корпусом.
3. Взаимозаменяемость аппаратных модулей позволяет снизить размер и стоимость ЗИП, снизить затраты на модернизацию.

## Интегрированное коммуникационное решение

### РЕШЕНИЕ

Встроенное в шасси коммуникационное решение, выполняющее функции коммутатора, связывающего все модули



Возможность стекировать шасси, создавая единое коммуникационное пространство.

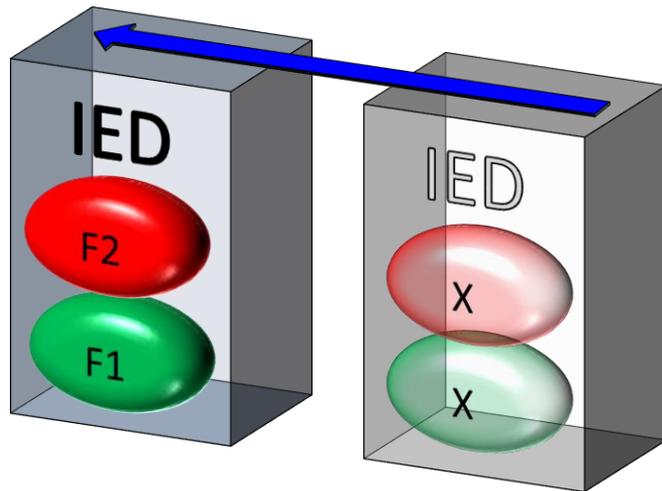
### ЭФФЕКТ

1. Сокращение стоимости коммуникационного оборудования: встроенное в шасси специализированное решение оптимизировано по стоимости в сравнении с коммутаторами общего назначения и позволяет отказаться от большей части коммутаторов в ЦПС.
2. Повышение надежности коммуникаций: переход от внешних кабельных связей между модулями к внутренней шине заводской готовности повышает качество и надежность коммуникаций.
3. Снижение стоимости решения за счет минимизации оптических компонентов: решение предусматривает значительно меньшее количество оптических кабелей и интерфейсов.

# Функционально-динамическая архитектура (FDA)

## РЕШЕНИЕ

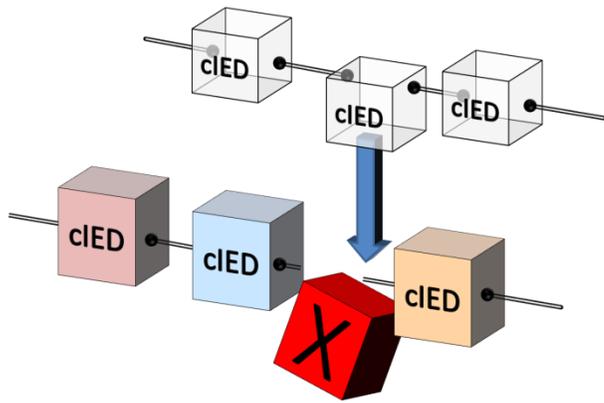
Специальные технические и программные решения, позволяющие оперативно перемещать функции (программы) между модулями/устройствами по требованию пользователя, либо под воздействием внешних факторов.



## ЭФФЕКТ

1. Повышение надежности и гибкости: Реализация FDA позволит использовать новые экономичные решения по повышению надежности.
2. Снижение стоимости резервирования, возможность резервирования менее ответственных функций.
3. Свойство самовосстановления системы.

## Новые механизмы резервирования



### Скользящий резерв

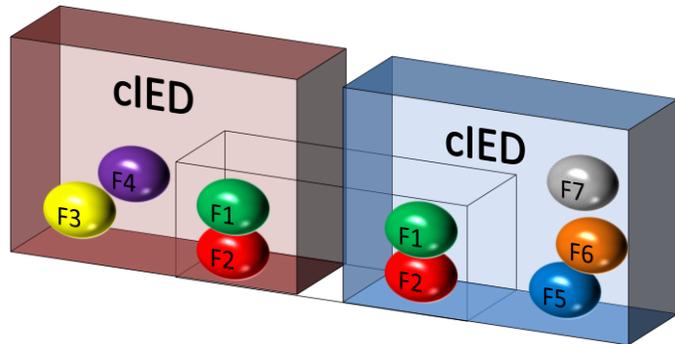
Один cIED резервирует группу других и автоматически подхватывает функции отказавших устройств.

**Эффект:** значительное сокращение стоимости резервирования и повышение надежности всей системы.

### Вытесняющее резервирование

Сохранение работоспособности жизненно важных функций даже при массовых сбоях.

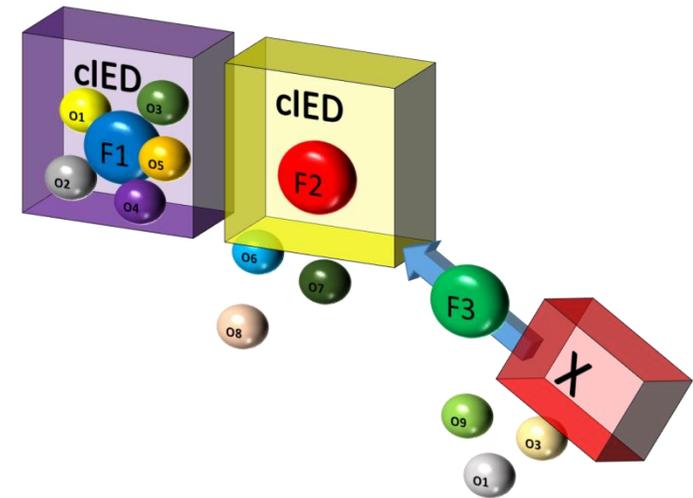
**Эффект:** сохранение жизненно важной функциональности при потере большинства устройств.



### Резервирование алгоритмов

Свобода в реализации функционального наполнения cIED позволяет дублировать ответственные функции реализациями от разных разработчиков.

**Эффект:** защита от алгоритмических ошибок.

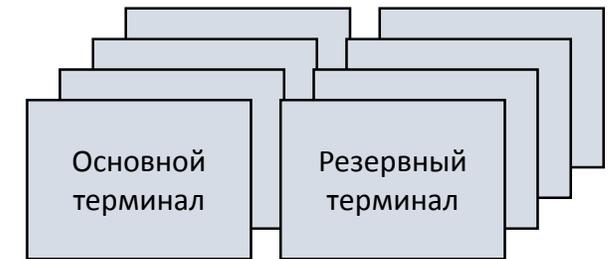


## Новые механизмы резервирования

### Традиционная схема резервирования - дублирование



Количество терминалов =  
 $2 * \text{Количество присоединений}$



### Дублирование через FDA со «скользящим» резервом



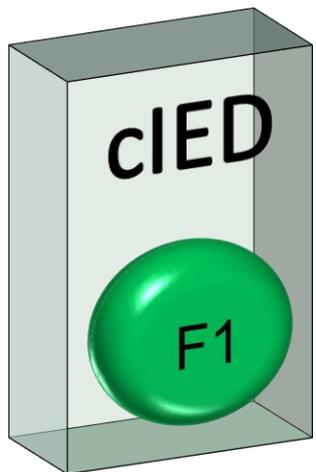
Количество терминалов =  
 $2 * \text{Количество присоединений} + 1$



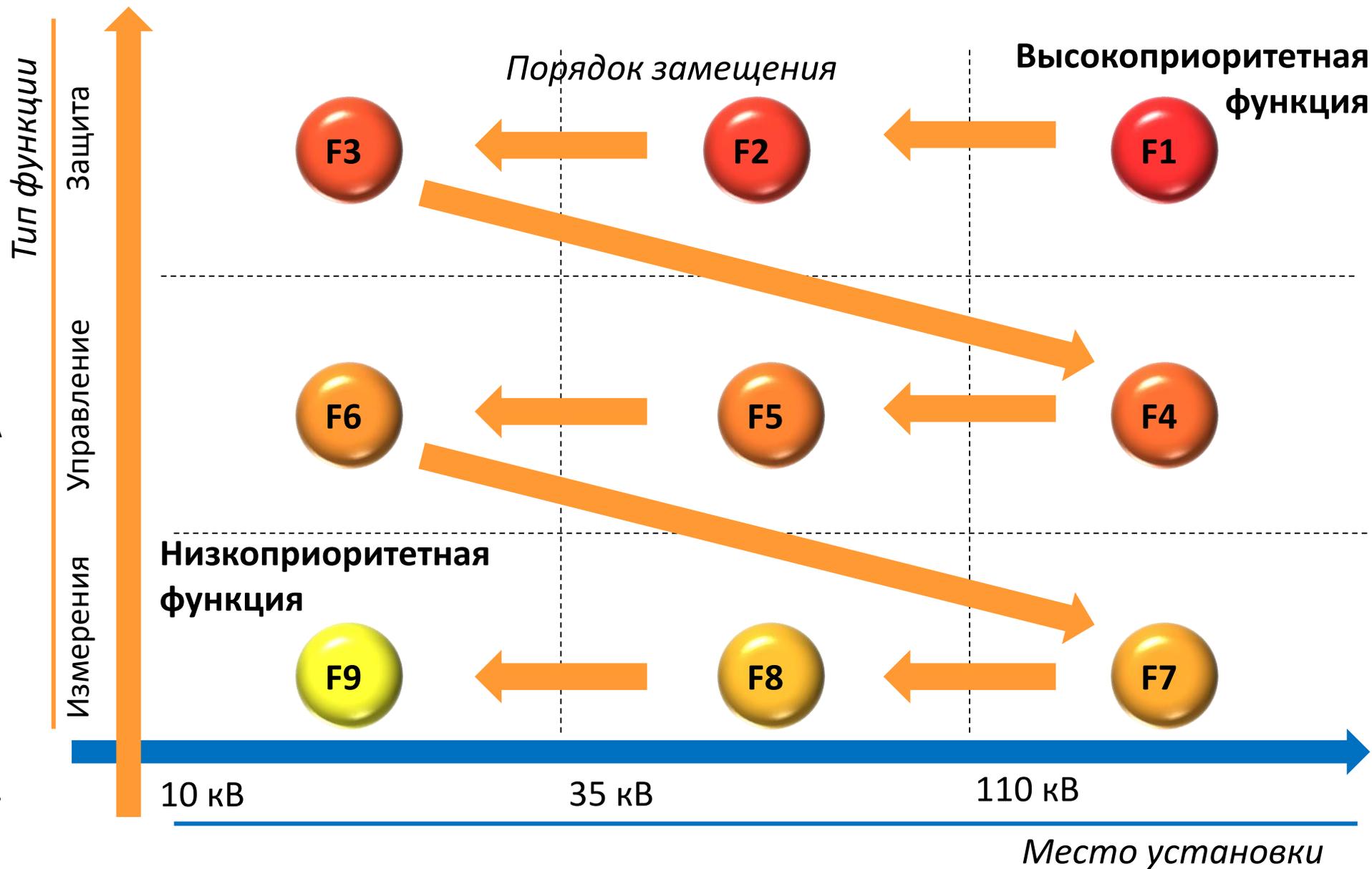
## Новые механизмы резервирования

Проблема	Решение	FDA реализация
Ложные срабатывания РЗА	Переход к системе мажорирования, например, «2 из 3».	Меньшая стоимость сIED позволяет реализовать экономически эффективную систему мажорирования.
Высокая стоимость дублирования РЗА среднего напряжения и АСУ ТП	Рассмотреть иные способы резервирования.	Резервирование с минимальным временем восстановления (скользящий или вытесняющий резерв).
Необходимость в снижении стоимости эксплуатации ЦПС	Использование систем не требующих высокой квалификации персонала и не требующих высокой оперативности устранения отказов.	FDA система обладает свойством самовосстановления.

## «Вытесняющий» резерв - приоритеты функций



В рамках технологии FDA предусматривается, что каждый функциональный блок (softIED) имеет назначенный проектировщиком или обслуживающим персоналом приоритет, определяющий его поведение в рамках FDA.



## Текущее состояние

Реализован аппаратный прототип шасси и компактного унифицированного cIED устройства. Разработана значимая часть системного программного обеспечения, включая элементы FDA.



Разработаны элементы системного ПО, часть алгоритмического обеспечения. Выполнен комплекс исследований и натурных испытаний, подтверждающих достижимость целевых технических характеристик.

Специализированная модификация комплекса поставлена в рамках реализации российского вклада в международный проект ИТЭР - международный проект по созданию управляемого термоядерного реактора. Комплекс применяется в составе системы управления электропитанием высоковольтных линий постоянного тока (HVDC).



ОДНО устройство – ОДНА функция

## СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

ИТЦ Континуум

[www.ec-continuum.ru](http://www.ec-continuum.ru), [continuum@ec-continuum.ru](mailto:continuum@ec-continuum.ru)

Тел: (4852) 31-38-84/85

Факс: (4852) 31-38-91

