



ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

**Распределённый синхронизированный мониторинг
для пространственно-временного анализа системных
возмущений в сетях 500/220 кВ**

1. ЗАДАЧА И ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЗУЛЬТАТ

Задача

При системном возмущении требуется сопоставить изменение параметров электрической сети в нескольких территориально разнесённых точках по общей временной шкале. Ключевой вопрос — где зарегистрировано наиболее раннее изменение, как затем менялись I/U, перетоки и режим соседних узлов и в какой последовательности развивалось событие.

Что добавляет Synaptec DES

DES формирует дополнительный распределённый слой синхронизированных измерений токов и напряжений, включая waveform, частоту, фазовые соотношения и диагностический гармонический состав. Данные предназначены для инженерной реконструкции события совместно с существующими источниками, а не для автоматического определения первопричины.

Практический результат

Единая временная картина: доаварийный режим → первое зарегистрированное изменение → распространение возмущения → реакция соседних узлов и автоматики → послеаварийный режим.

Основной принцип анализа

Измерения из разных точек должны быть сопоставимы по одной временной шкале. В фокусе не «система сама определила причину», а инженерно подтверждаемая последовательность: где произошло первое зарегистрированное изменение, как оно распространилось по сети и как на него отреагировали соседние узлы и автоматика.

Результат для КДЦ

- единая временная картина события;
- сопоставление I/U, P/Q, частоты и фазовых соотношений;
- отделение первичного зарегистрированного изменения от вторичного распространения процесса.

2. НОРМАТИВНАЯ БАЗА И БАЗОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ

КДЦ «Энергия» / ОЭС Центральной Азии

В опубликованных нормативно-технических материалах используются данные о частоте, напряжении, активной и реактивной мощности, межсистемных перетоках, телеизмерениях и телесигнализации; определяются точки измерения и состав передаваемой телеинформации.

Узбекистан

Действующие Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей предусматривают эксплуатационный контроль электрических режимов, РЗА и противоаварийной автоматики, регистрацию и анализ технологических нарушений.

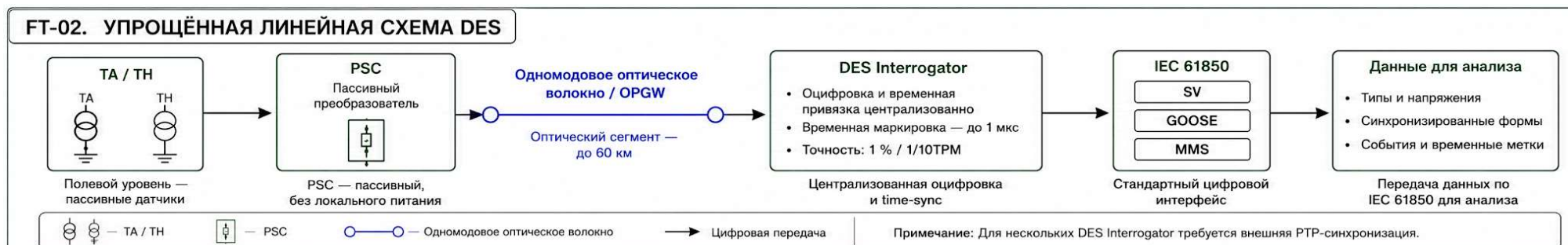
Казахстан

Для ПС 500–1150 кВ требуется регистрация доаварийного и аварийного режимов и последовательности событий; для ВЛ — цифровая регистрация переходных процессов при КЗ с записью доаварийного режима и последовательности событий. Для ПС 220/500/1150 кВ предусмотрена передача телеметрической информации в диспетчерский центр по двум независимым направлениям.

Принцип измерения

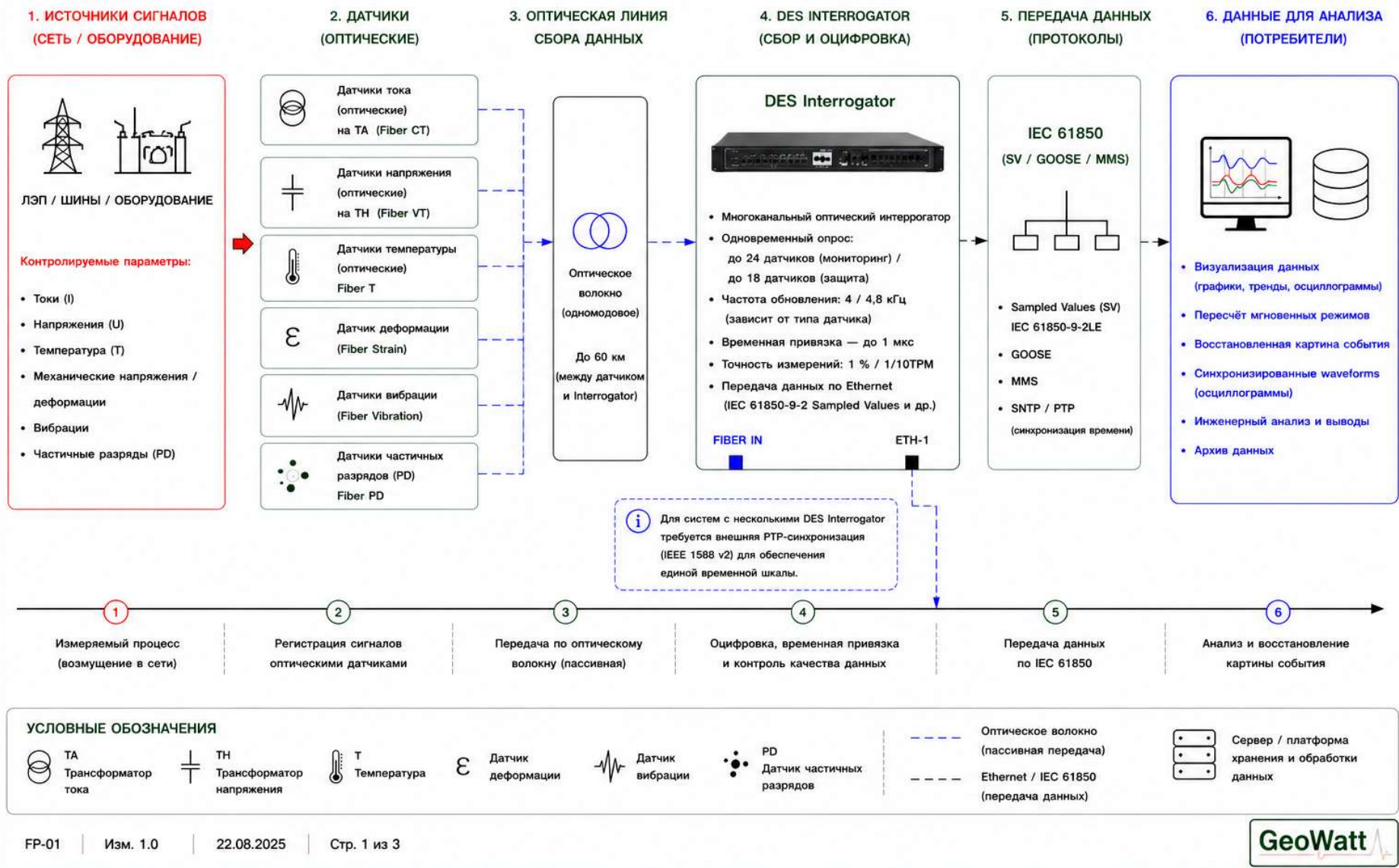
TA / TH → Passive Secondary Converter (PSC) → одномодовое оптическое волокно / OPGW → DES Interrogator → синхронизированные цифровые измерения.

Удалённый PSC пассивный: без локального питания и активной электроники; оцифровка и временная привязка выполняются централизованно.

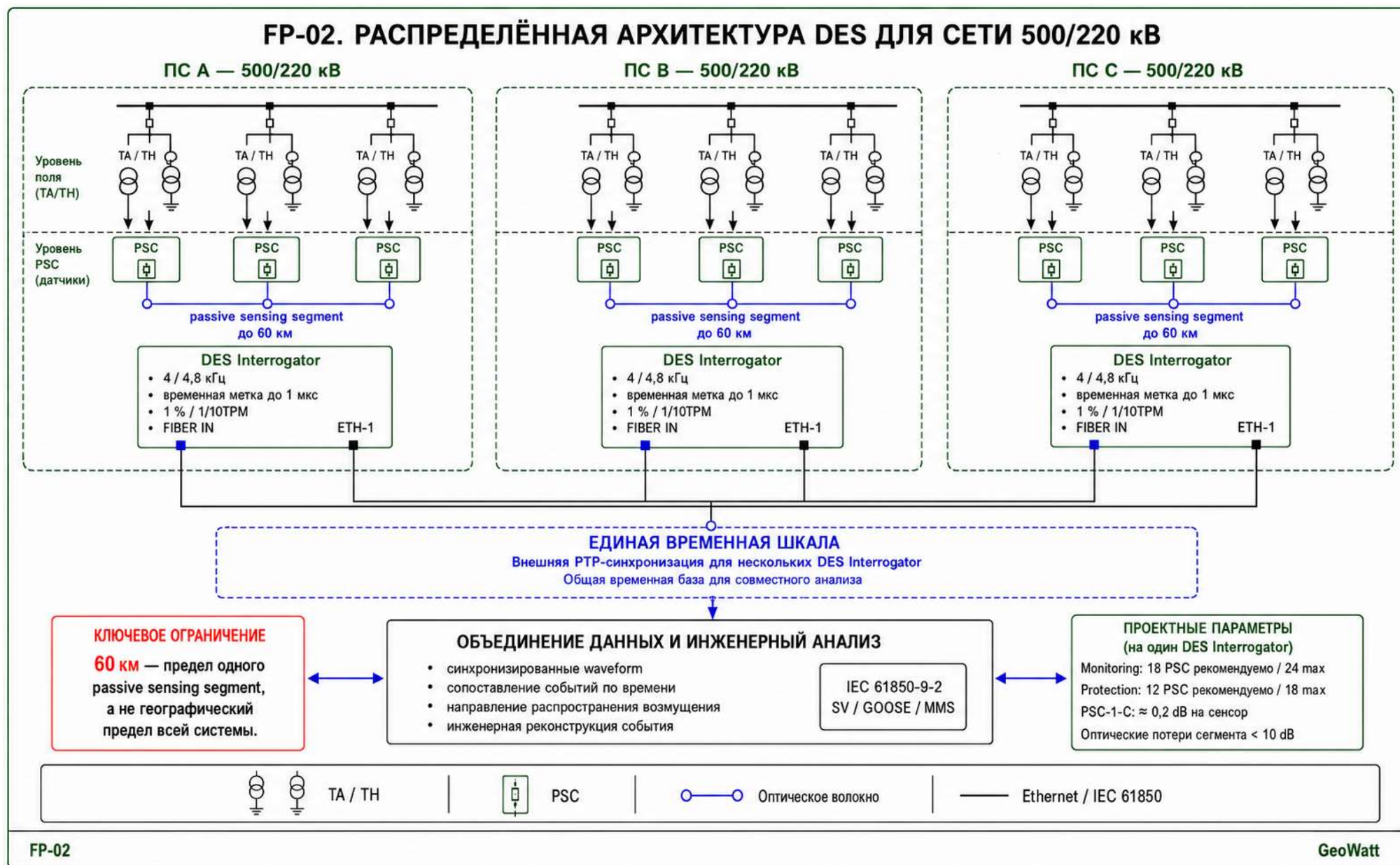


3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА DES

FP-01. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ



4. РАСПРЕДЕЛЁННАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ СЕТИ 500/220 кВ



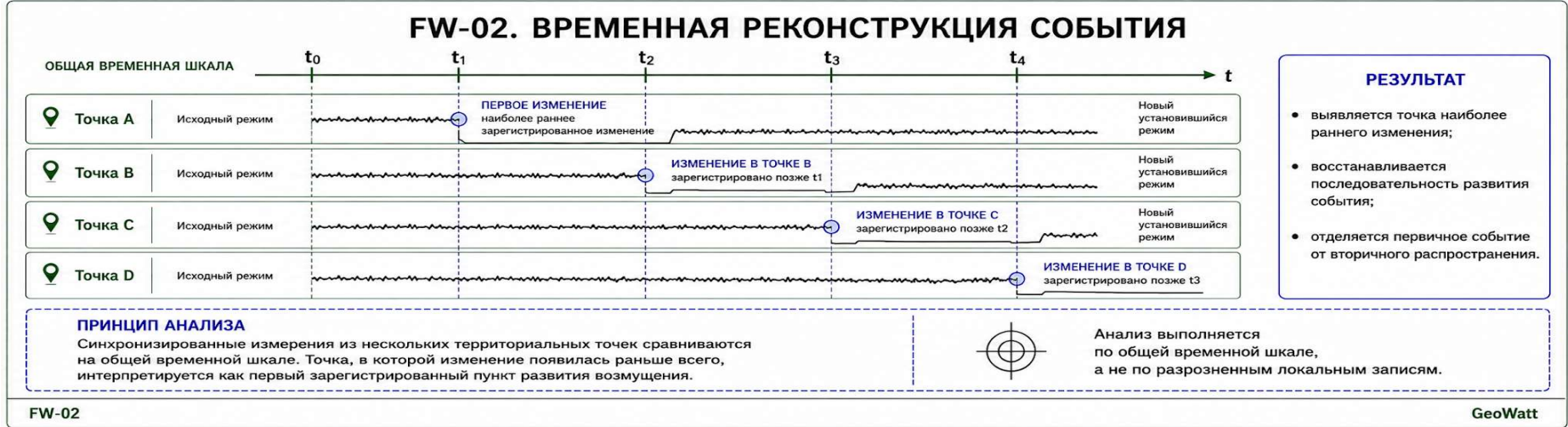
5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ДЛЯ КДЦ «ЭНЕРГИЯ»

Синхронизированный массив DES-измерений должен помогать отвечать на инженерные вопросы по последовательности развития события, а не подменять диспетчерское заключение.

Инженерный вопрос	Что определяется
Первое изменение	Наиболее раннее зарегистрированное изменение на общей временной шкале.
Изменение режима	Изменение I/U, P/Q, частоты и фазовых соотношений в связанных узлах.
Пространственная локализация	Участок или точка, где зарегистрировано наиболее раннее изменение режима.
Единая последовательность события	Сопоставление удалённых измерений непосредственно по развитию переходного процесса.
Сопоставление с РЗА/ПА	Момент и последовательность работы защит и противоаварийной автоматики.
Послеаварийная картина	Состояние оставшихся межсистемных связей после развития события.

Диаграмма временной реконструкции события

FW-02 показывает, как первое зарегистрированное изменение в одной точке сопоставляется с более поздними изменениями в других точках на общей временной шкале.



6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ВЫБОР ТОЧЕК ИЗМЕРЕНИЯ

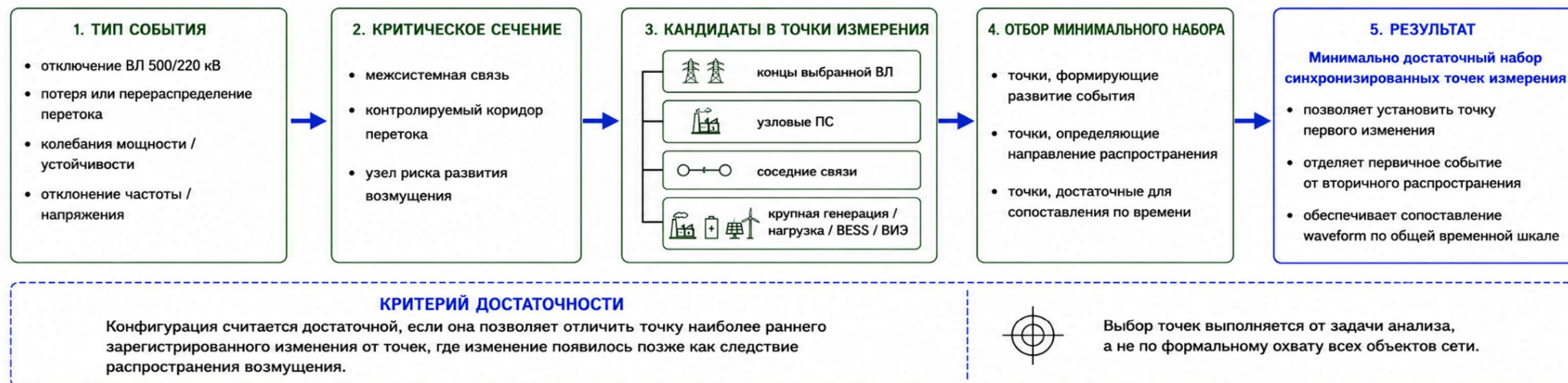
Основные параметры проектной постановки приведены ниже. Финальная конфигурация подтверждается Synaptec по исходным данным конкретного объекта.

Параметр	Значение / характеристика
Измерения	ток, напряжение, синхронизированные waveform; частота; фазовые соотношения; диагностический гармонический состав
Публикация waveform	4 / 4,8 кГц
Временная маркировка	до 1 мкс
Passive sensing segment	до 60 км; это предел одного пассивного сегмента, не всей системы
Оптический бюджет сегмента	<10 dB от первого до последнего сенсора
Ориентир потерь PSC	≈0,2 dB/сенсор для PSC-1-C
Monitoring PSC	18 рекомендуется / 24 max на один Interrogator
Protection PSC	12 рекомендуется / 18 max на один Interrogator
Интерфейсы	IEC 61850-9-2 SV; GOOSE; MMS
DES Interrogator	19", 3U; 447 × 425 × 132 мм; 8,3 кг; до 90 W; -25... +55 °C; IP20

Выбор измерительных точек

Принцип: тип события → критическое электрическое сечение → необходимые параметры → минимальный набор точек. Набор считается достаточным, если позволяет отличить наиболее раннее зарегистрированное изменение от последующих изменений, связанных с распространением возмущения.

FW-01. ВЫБОР ТОЧЕК ИЗМЕРЕНИЯ



FW-01

GeoWatt

7. ИНТЕГРАЦИЯ И ИНЖЕНЕРНЫЕ ГРАНИЦЫ

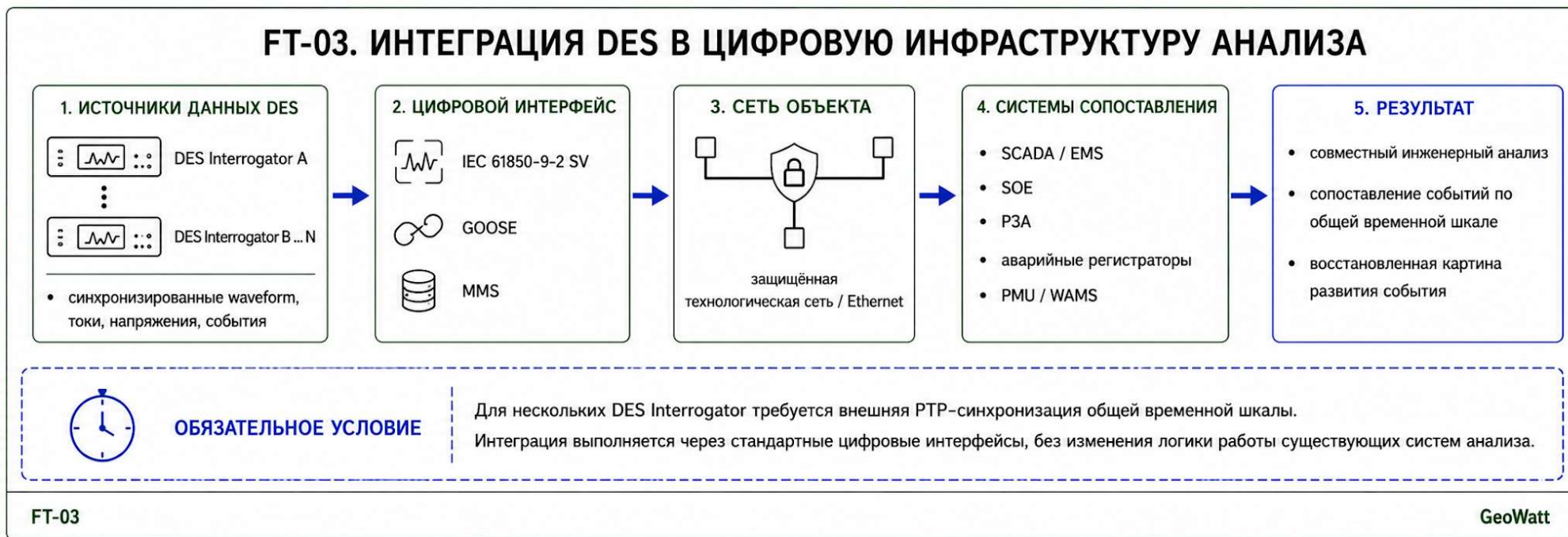
DES не заменяет действующие SCADA/EMS, PMU/WAMS, РЗА/ПА, аварийные регистраторы и оперативно-диспетчерские процедуры. Он добавляет синхронизированный измерительный слой I/U и waveform в выбранных точках и стандартный цифровой интерфейс для дальнейшего сопоставления данных.

Граница / функция	Содержание
DES добавляет	Синхронизированные I/U, waveform и дополнительный диагностический слой в выбранных точках.
DES не заменяет	SCADA/EMS, PMU/WAMS, РЗА/ПА, аварийные регистраторы и оперативно-диспетчерские процедуры.
60 км	Предел одного passive sensing segment; распределённая система строится из нескольких сегментов/Interrogator.
Общая временная шкала	Для нескольких Interrogator требуется общий внешний источник времени, например PTP.
Метрология КЭ	Waveform/harmonic content — диагностический слой; соответствие метрологическим требованиям КЭ подтверждается отдельно.

Функциональный маршрут данных

контролируемый актив → TA/TH → PSC → одномодовая ВОЛС / OPGW → DES Interrogator → IEC 61850-9-2 SV / GOOSE / MMS → действующая цифровая инфраструктура → инженерный анализ.

Для нескольких DES Interrogator требуется общая внешняя временная синхронизация, например PTP. Архитектура хранения и передачи определяется требованиями объекта по ИБ и эксплуатации; облачная схема не является обязательной.



8. ДАЛЬНЕЙШАЯ ПРОРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Дальнейшая проработка

Если подход представляет интерес: выбранное сечение → характерный тип события → необходимые параметры → точки измерения → оптическая инфраструктура → общий time-sync → подтверждённая конфигурация Synaptec → сопоставление с доступными данными КДЦ.

9. ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ НОРМАТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

- КДЦ «Энергия» / ОЭС Центральной Азии;
- Постановление КМ РУз №609 от 18.10.2022;
- Закон РК «Об электроэнергетике»;
- ПТЭ РК, приказ №247 от 30.03.2015;
- Электросетевые правила РК;
- Правила по предотвращению аварийных нарушений ЕЭС РК, приказ №58 от 02.02.2015;
- ПУЭ РК; ГОСТ 32144-2013; ГОСТ 30804.4.7-2013; ГОСТ 30804.4.30-2013; ГОСТ 33073-2014; IEC 61850-9-2; IEC 61850 GOOSE/MMS;
- Synaptec MA-010 Rev.19; документация PSC; официальное разъяснение Aneesh Chandran от 19.08.2026.