



Объединяем технологии
в высокоэффективные
решения

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КОРРОЗИИ КА-СКОР

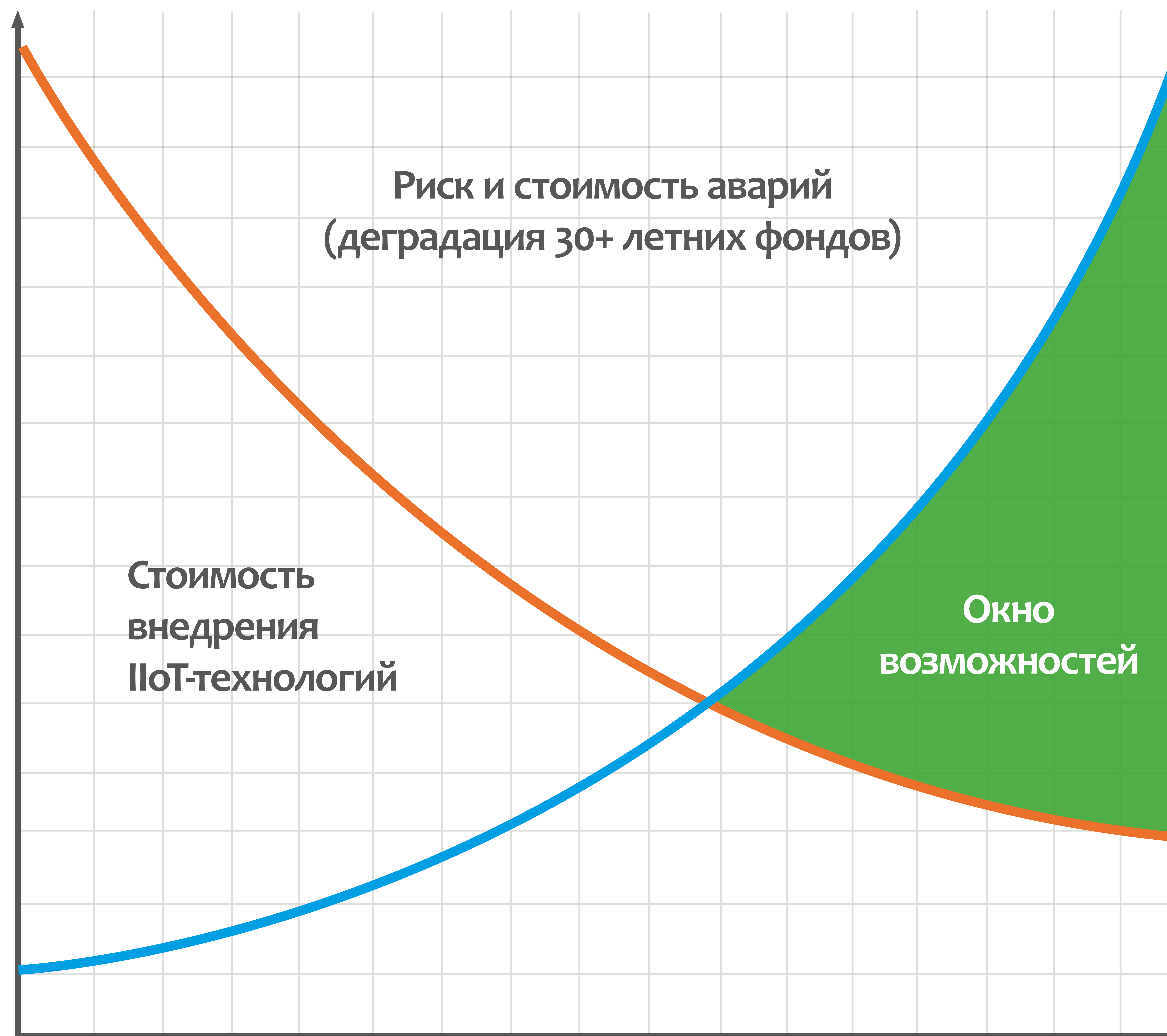
Инновационные ЭМАП-технологии
и предиктивная аналитика
для промышленных объектов

СКРЫТАЯ УГРОЗА

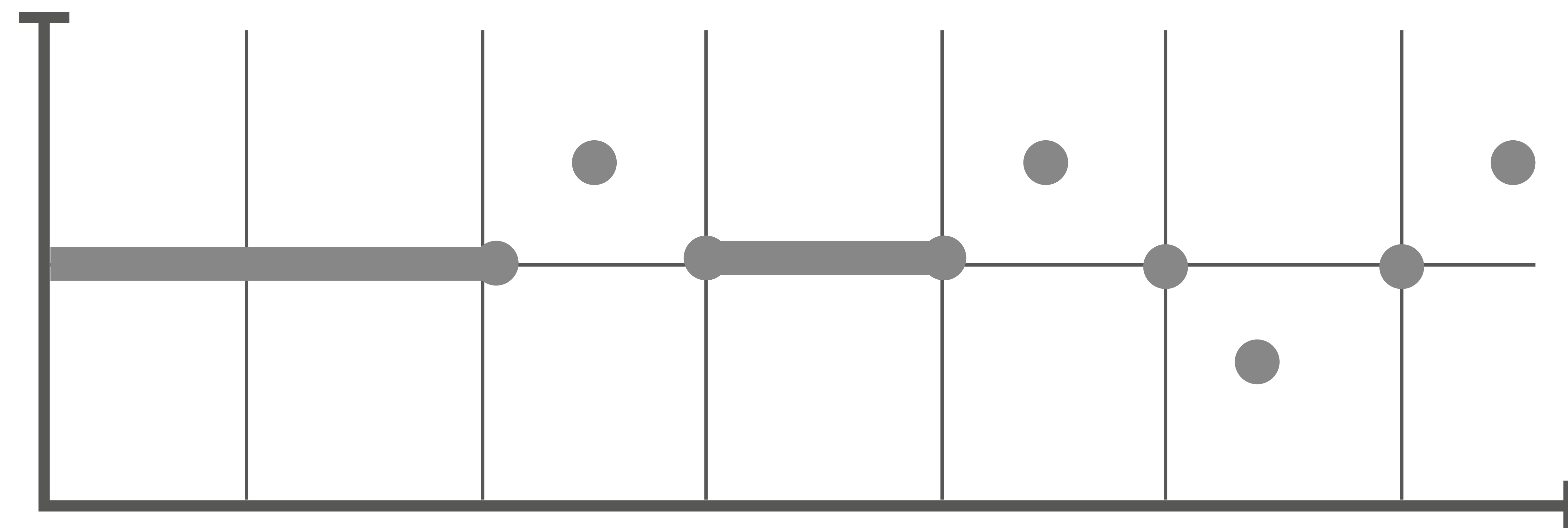
Значительная часть российской нефтегазовой инфраструктуры эксплуатируется **более 30 лет**.

Коррозия скрыта под изоляцией, а цена внезапной разгерметизации: экология, штрафы и простои – многократно превышает стоимость превентивного контроля.

Инфраструктура стареет,
но технологии контроля становятся доступнее.



ТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД: ПЕРИОДИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

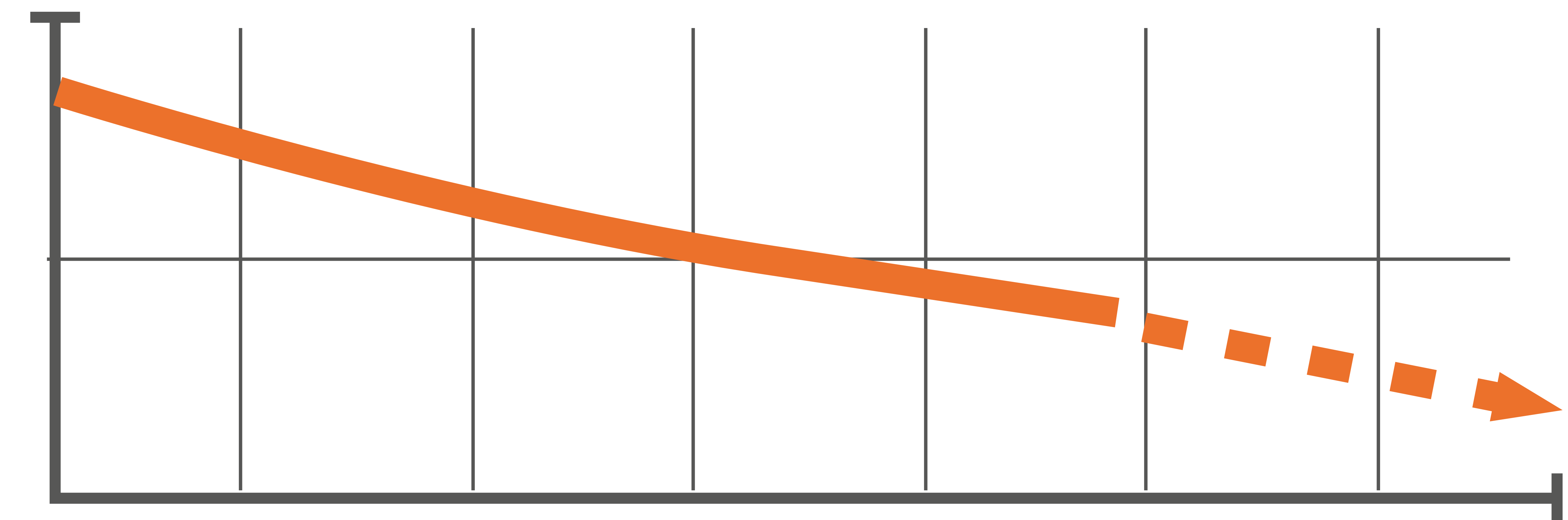


Остановка
оборудования

Человеческий
фактор

Данные раз
в полгода

НОВАЯ ПАРАДИГМА: НЕПРЕРЫВНЫЙ IOT- МОНИТОРИНГ



Данные в
реальном
времени

Предиктивная
аналитика

Работа на
горячем
процессе



Переход от фиксации уже случившегося износа к управлению остаточным ресурсом

Сварные швы

Структурная неоднородность, остаточные напряжения и микродефекты. Риск межкристаллитной коррозии.

Отводы и колена

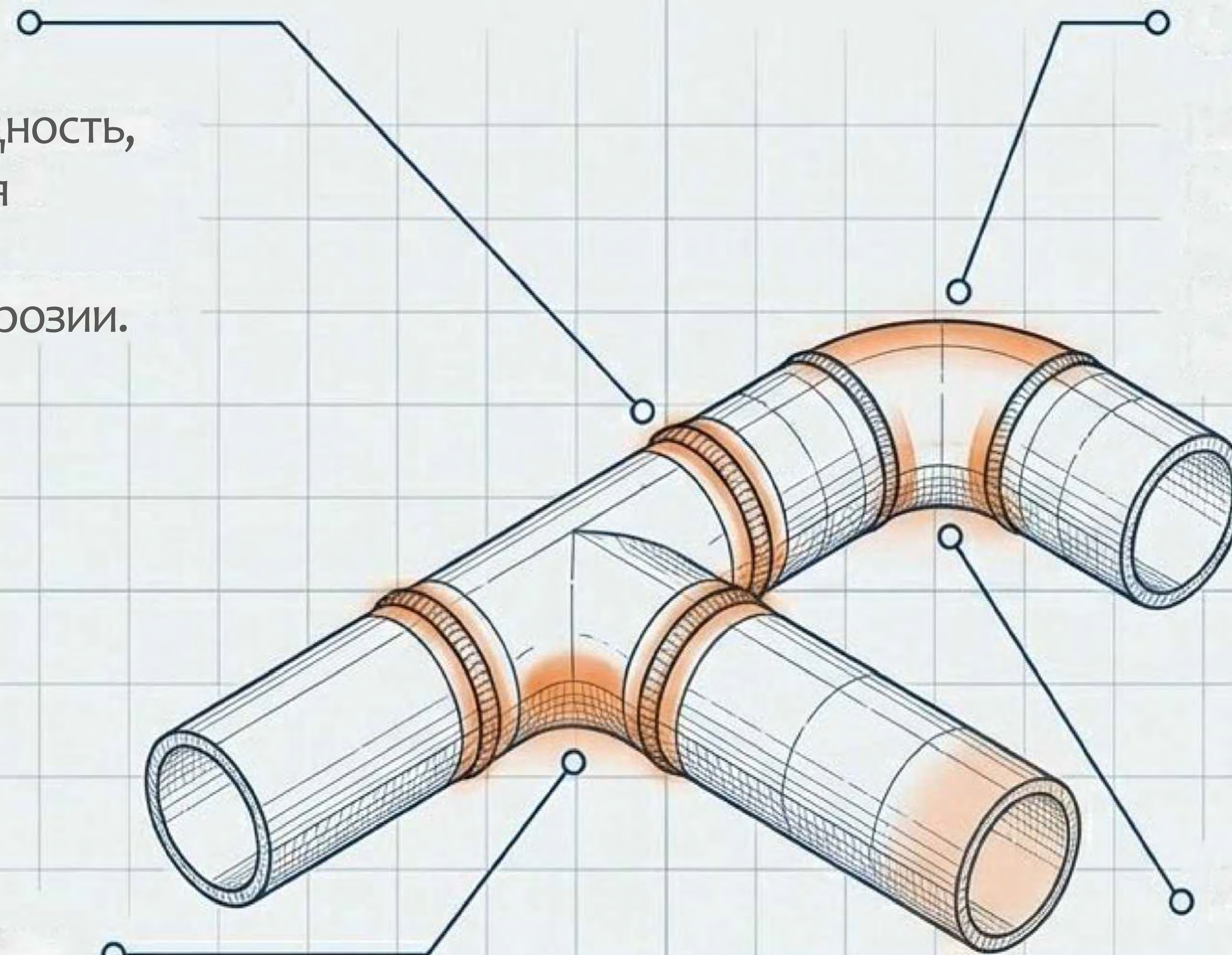
Изменение направления потока. Удар среды о стенку вызывает турбулентность и эрозионно-коррозионный износ.

Застойные зоны

Осаждение механических примесей и продуктов коррозии. Идеальная среда для локальной и микробиологической коррозии.

Зоны перепада температур

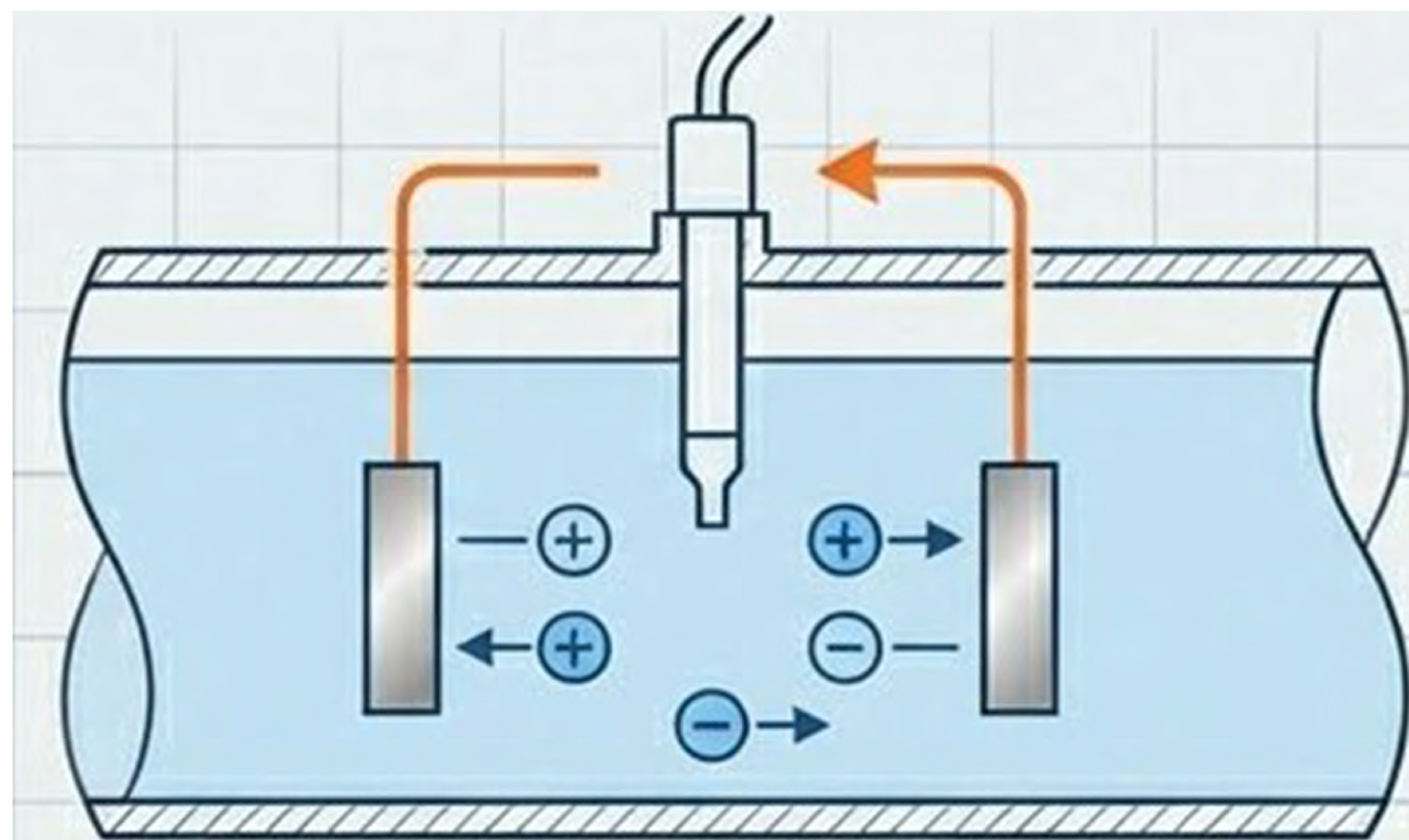
Образование конденсата (точка росы кислых газов), термические напряжения.



МАТРИЦА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЙ

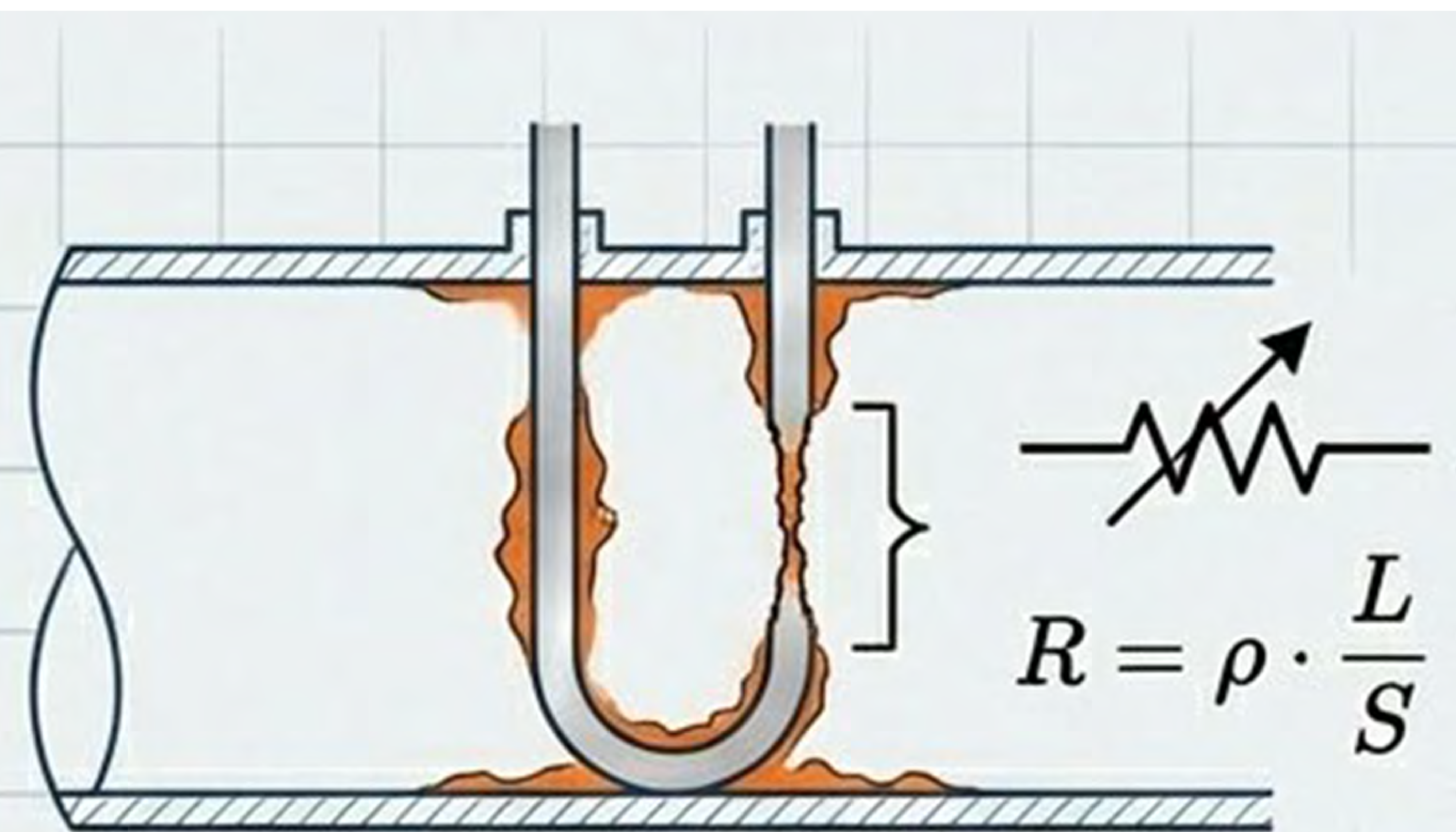
	УЗТ (Ультразвук)	LPR (Поляризация)	ER (Сопротивление)	Купоны (Масса)
Принцип	Отражение импульса	Электрохимия	Истончение проводника	Потеря массы
Время отклика	Непрерывно	Мгновенно	Часы / Сутки	Квартал / Полгода
Среда	Любая (снаружи трубы)	Только электролит (вода)	Любая фаза (газ/нефть)	Любая
Точность	Абсолютная толщина (до+0.01 мм)	Мгновенная скорость	Накопленная потеря	Усредненная скорость

ФИЗИКА В ДЕТАЛЯХ: ВНУТРИТРУБНЫЕ МЕТОДЫ



LPR: Электрохимическая реакция

Измеряет ток между анодом и катодом.
Требует проводящей среды (электролита).
Идеально для водных систем.



ER: Изменение электрического сопротивления

Сечение проводника истончается,
сопротивление растет. Работает в нефти,
газе и конденсате.



LPR показывает активность прямо сейчас. ER показывает фактическую потерю металла.

АРХИТЕКТУРА **IoT-МОНИТОРИНГА**



Автономные датчики

Сбор данных о толщине стенки (ЭМАП/УЗТ). Крепление без врезки.



Беспроводной шлюз

LoRa / NB-IoT. Передача сигнала на дистанцию до 2-3 км через промышленные помехи. До 200 датчиков на шлюз.



Сервер / Облако

Защищенная обработка данных в локальной сети предприятия (КА-СКОР100.X.X.X Ex).



Дашборд аналитики

Интерфейс для инженера (расчет скорости коррозии, система алертов).

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ЭМАП

Механизм:

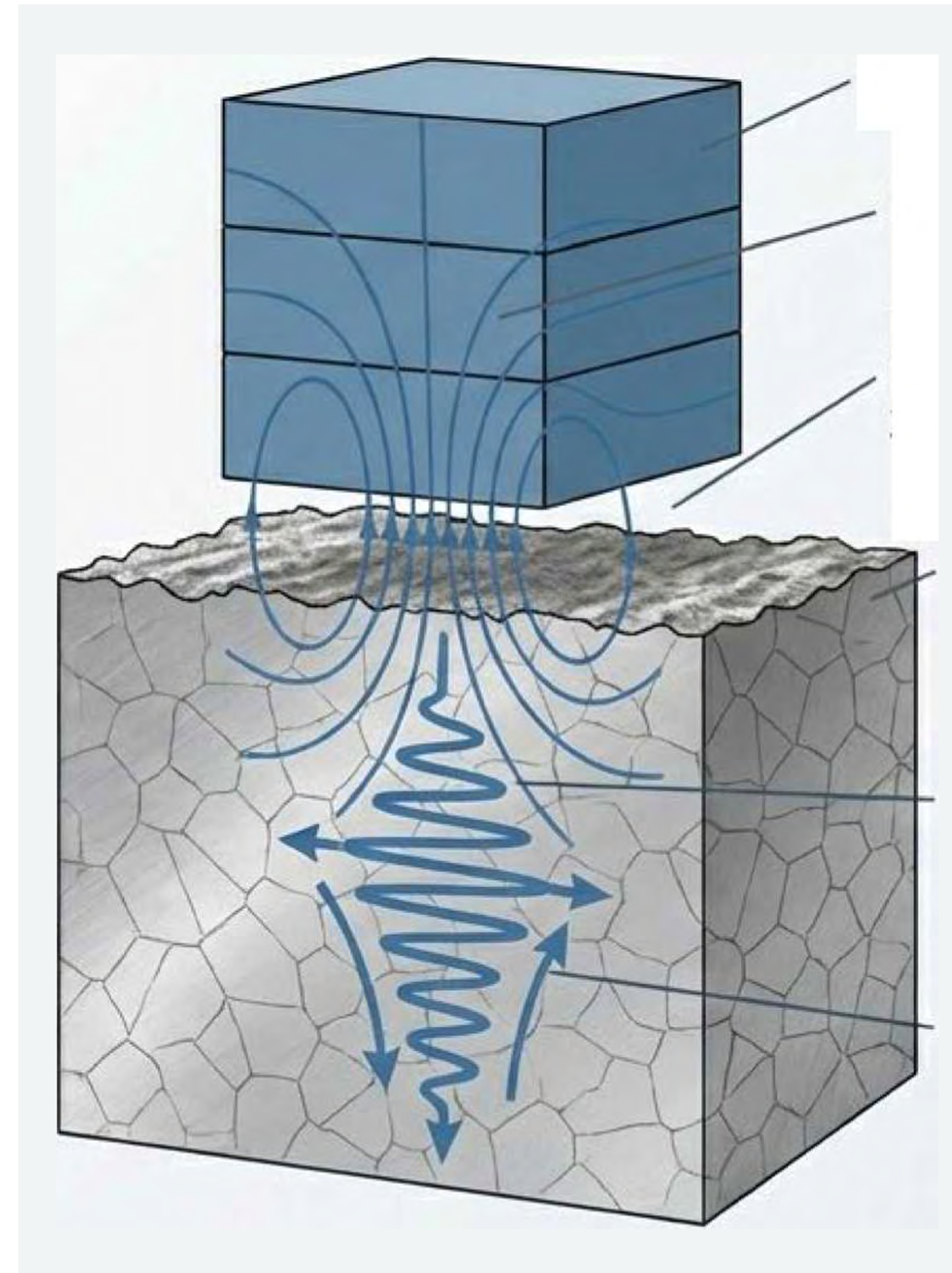
Возбуждение электромагнитно-акустической ультразвуковой волны сдвига (поперечной волны) с помощью постоянного магнита.

Принцип:

Колебания частиц среды происходят перпендикулярно направлению распространения волны, генерируясь внутри самого проводникового материала (углеродистая, нержавеющая, легированная сталь, алюминий).

Метрологические характеристики:

- Диапазон измерения: 1,5-75,0 мм.
- Точность: + 0,01 мм.
- Минимальное видимое разрешение: 0,001 мм.



Постоянный магнит

Магнитное поле

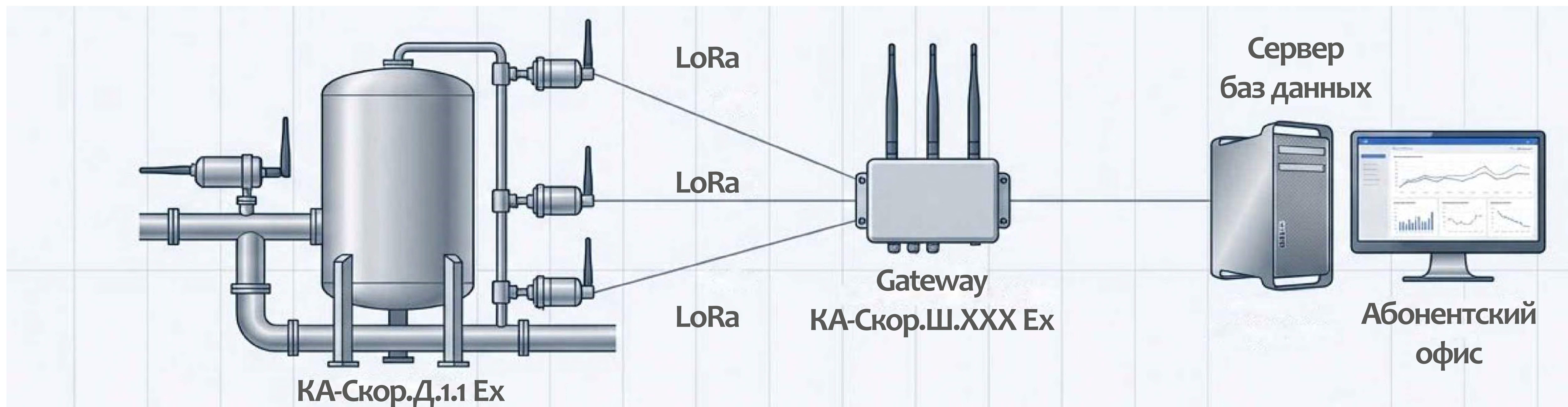
Воздушный зазор
(без контактной
жидкости)

Шероховатая
металлическая
поверхность

Сдвиговая
акустическая волна
(поперечная волна)

Распространение
волны внутри
материала

АРХИТЕКТУРА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ КА-СКОР



Сбор данных

Автономные датчики
КА-СКОР.Д.1.1 Ex
(питание от батарей,
срок службы 3-5 лет).

Беспроводная передача (LoRa)

Шлюз Ка-Скор.Ш.Х.Х.Х Ex.
Высокая помехозащищенность,
дальность связи до 2-3 км.
Один шлюз поддерживает до 200
измерительных точек

Централизация

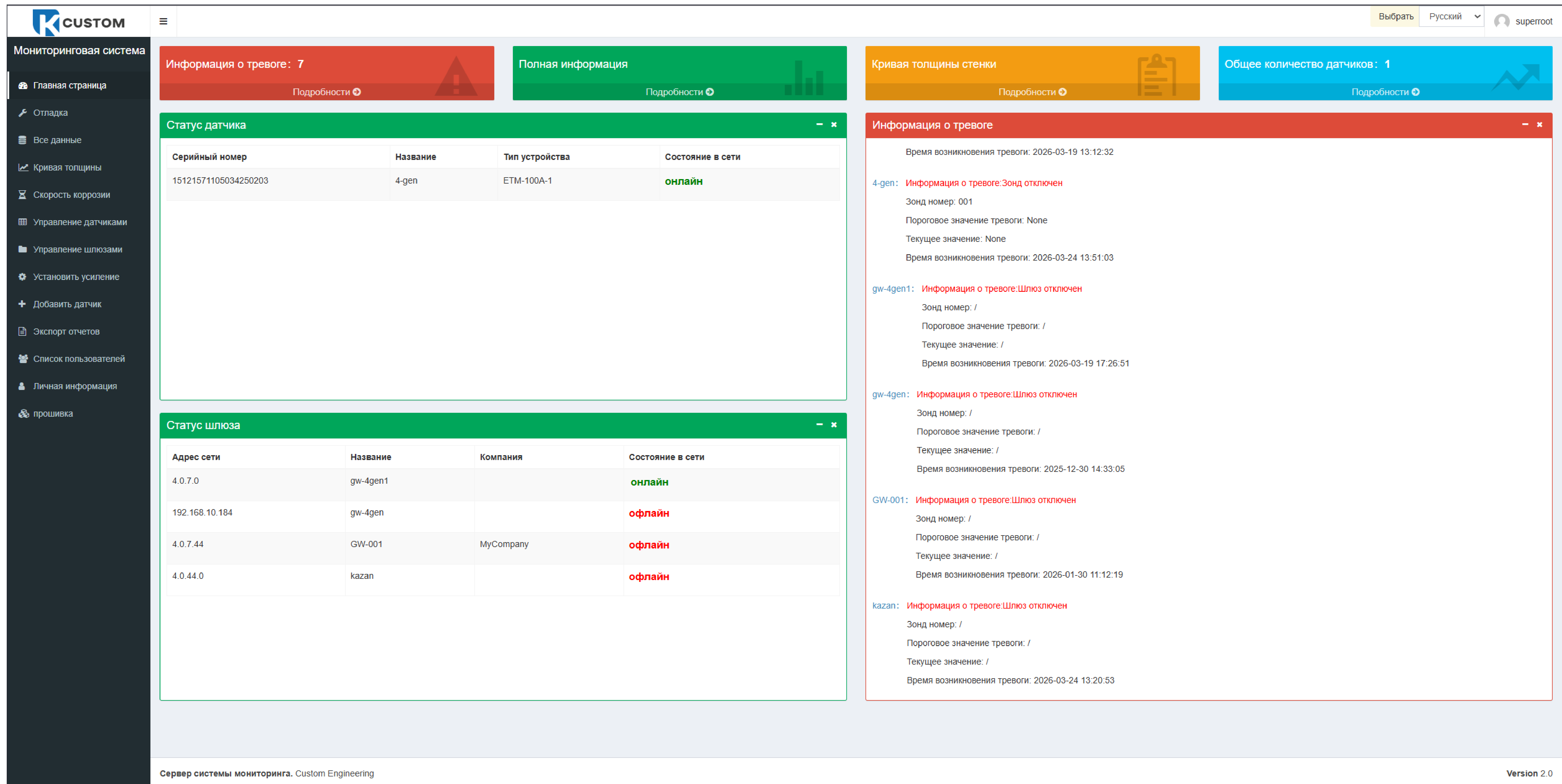
Локальный или облачный
сервер баз данных.
Расчет скорости коррозии,
архивирование и интеграция
с АСУТП (стандарт OPC).

АППАРАТНАЯ НАДЕЖНОСТЬ И ВЗРЫВОЗАЩИТА

- ✓ **Уровень взрывозащиты:** 1 Ex db IIC T6 Gb
(Сертифицировано для работы во взрывоопасных зонах).
- ✓ **Степень защиты корпуса:** IP68 (гарантированная работа при погружении в воду на 1,5 м до 1,5 ч).
- ✓ **Температура окружающей среды:**
от -40°C до +85°C (расширение до -60°C при использовании термочехлов).
- ✓ **Автономность:** Батарейный блок обеспечивает срок службы 3-5 лет (режим опроса – 2 раза в сутки)



ОТ СЫРЫХ ДАННЫХ К ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКЕ



Сырые данные
Ежедневная фиксация остаточной толщины стенки (до сотых долей мм).



Аналитика
Автоматический расчет фактической скорости коррозии (мм/год).



Прогнозирование
Расчет остаточного ресурса трубы и система алертов при превышении безопасных лимитов.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИИ

Гравиметрия	Эталонный метод, но требует длительной экспозиции образцов и высокой трудоемкости
LPR (Linear Polarization Resistance)	Измеряет мгновенную электрохимическую скорость, но требует наличия жидкого электролита
ER (Electrical Resistance)	Интегральное измерение утонения, но не раскрывает механизм
UT (Ультразвуковой контроль)	Контактный метод, требует подготовки поверхности (зачистки) и применения контактной жидкости
EMAT (ЭМАП - Ка-Скор)	Бесконтактный метод. Генерирует волны непосредственно в металле. Ключевые преимущества: работает через защитные покрытия, на шероховатых поверхностях без зачистки, устойчив к высоким температурам

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ:

- ✓

Температурный барьер
Деградация пьезоэлементов классических UT-датчиков при температурах до 600°C, Потеря акустического контакта из-за теплового расширения труб и релаксации прижимного усилия.
- ✓

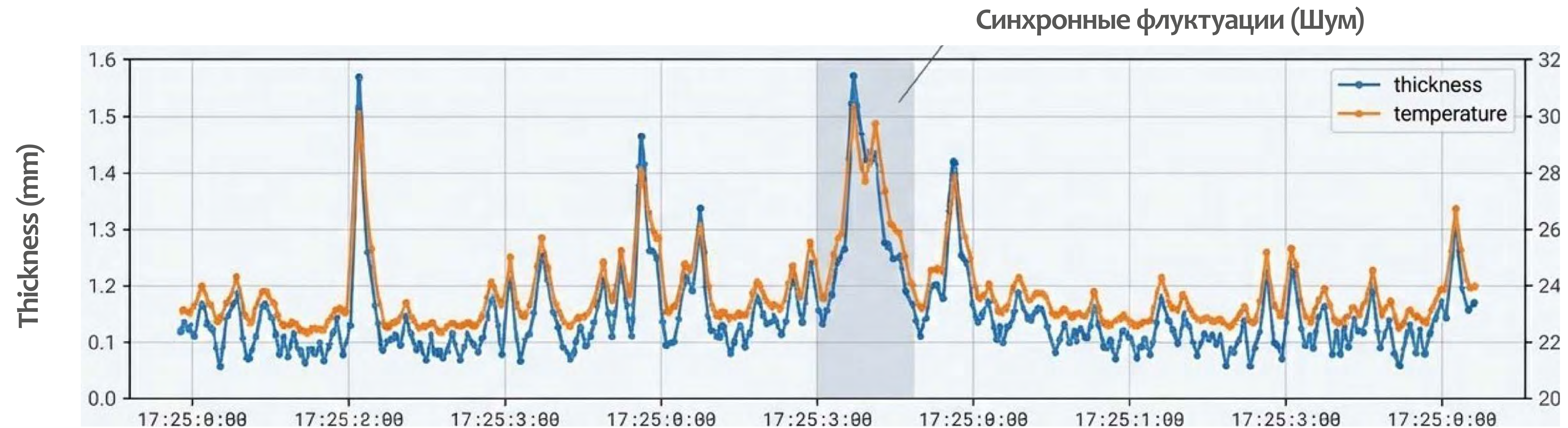
Барьер проводимости среды
Невозможность использования электрохимических методов (LPR) в неэлектролитах, углеводородах с низкой обводненностью и сухих газах
- ✓

Эксплуатационный барьер
Жесткая необходимость снятия антикоррозионного покрытия (АКП) и теплоизоляции для проведения замеров традиционными контактными методами

Существующие аналоги

Системы Emerson и Cosasco предлагают качественный мониторинг, но сталкиваются с фундаментальными физическими ограничениями в сложных средах.

ФИЗИКА ПРОЦЕССА: ВЛИЯНИЕ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ



Тепловой эффект

При точности в сотые доли миллиметра температурные перепады (в десятки и сотни градусов) вызывают изменение линейных размеров стальной стенки.

Акустическое искажение

Температура напрямую влияет на скорость распространения ультразвуковых сдвиговых волн в металле, создаваемых ЭМАП

Проблема «Шума»

На сырых данных скачки толщины синхронизированы с колебаниями температуры. Без компенсации эти флуктуации маскируют истинную скорость коррозии.

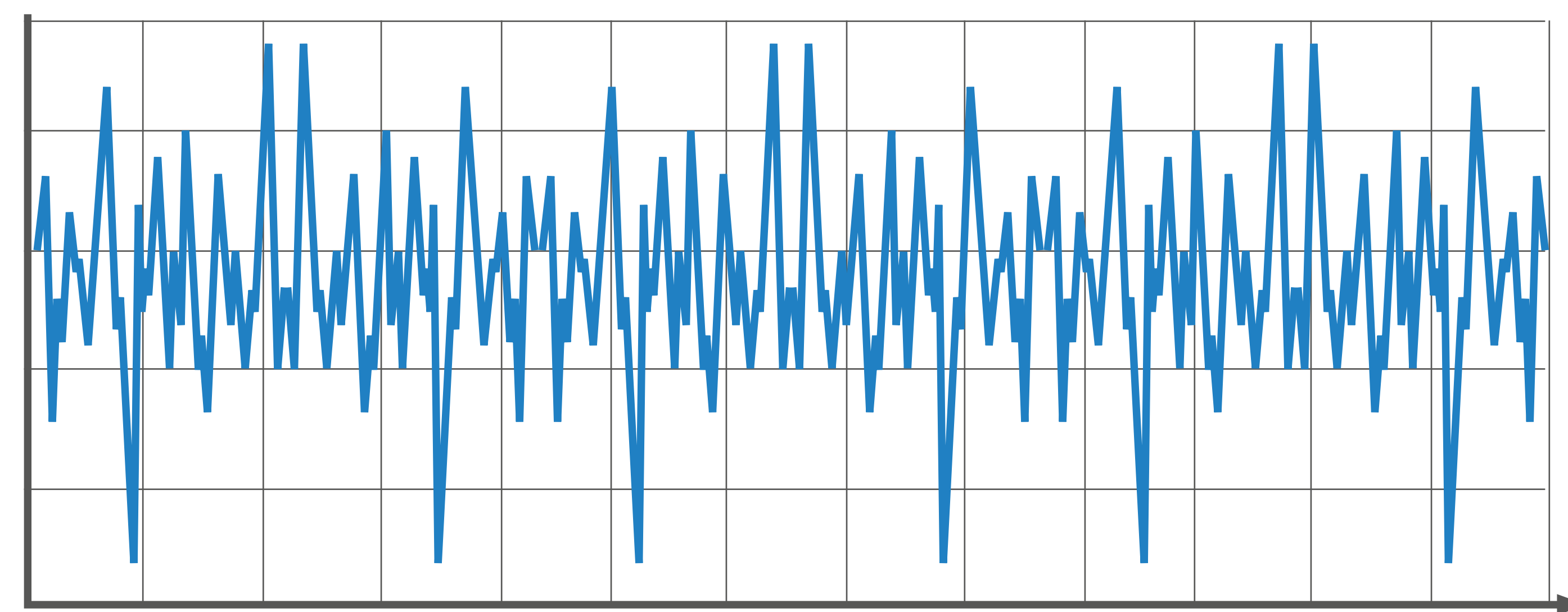
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ЯДРО: МНОГОФАКТОРНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМОВ

Физическая проблема:

При росте температуры происходит изменение упругих свойств стенки трубы и времени пробега УЗ-сигнала. Это приводит к фиктивному «занижению» показаний толщины, не связанному с потерей металла. Стандартные поправки бессильны

Сырые данные УЗ
(Искаженные)

Локальная температура
поверхности



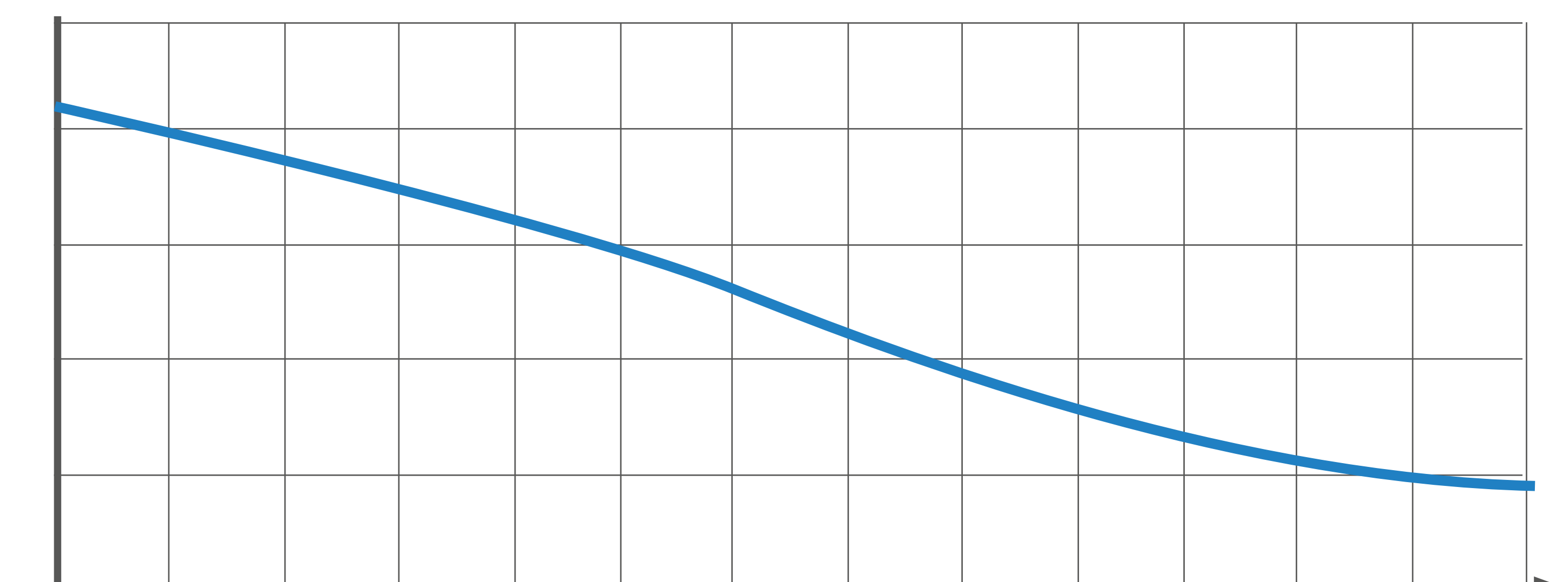
Математическое Ядро Сервера

Интегрированная
термокомпенсация

Многофакторная
регрессионная модель

$$f(x, T) = a(T) + \beta(x) + \gamma \cdot \log(t) + \epsilon$$

Очищенный тренд
скорости коррозии



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ЯДРО: МНОГОФАКТОРНАЯ РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ

$$\text{thickness} = a + b_T \cdot T + b_s \cdot \text{Sound_T_difference} + b_\tau \cdot t$$

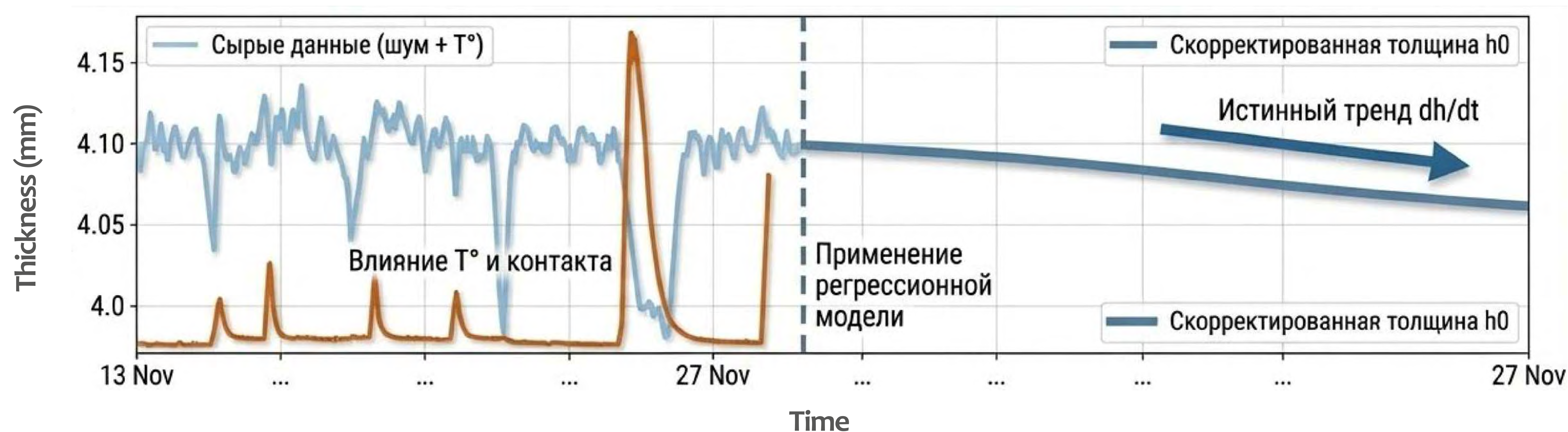
T: Температура стенки (°C) -
компенсация теплового
расширения металла

Sound_T: Изменение акустических
условий - автоматическая
корректировка скорости звука
при высоких температурах

t: Время от базового измерения -
изоляция фактического фактора
коррозионного утонения.

Алгоритм математически отделяет обратимые температурные
флуктуации от необратимой физической потери металла

РЕЗУЛЬТАТ: ИЗОЛЯЦИЯ ИСТИННОГО ТРЕНДА КОРРОЗИИ



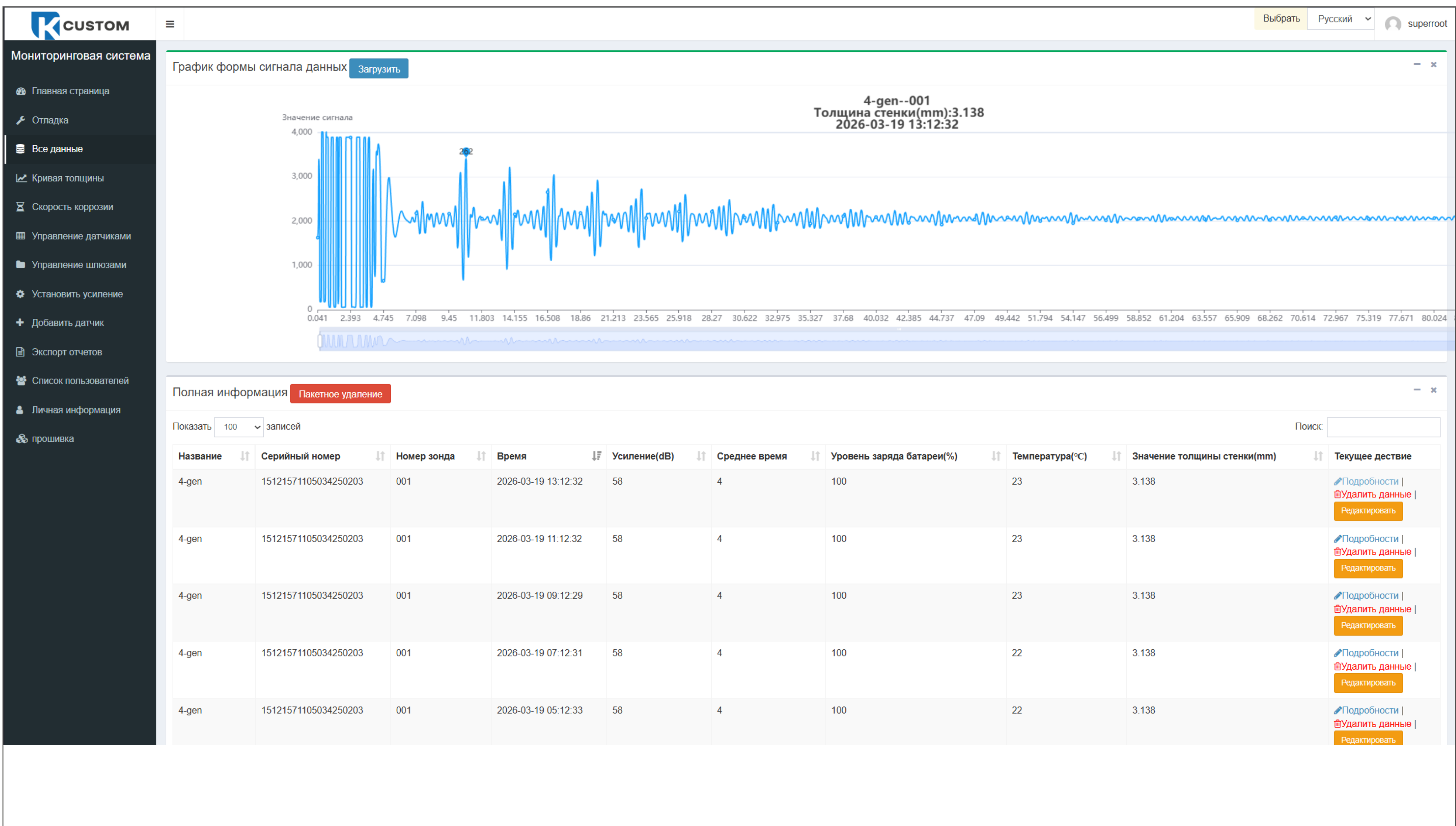
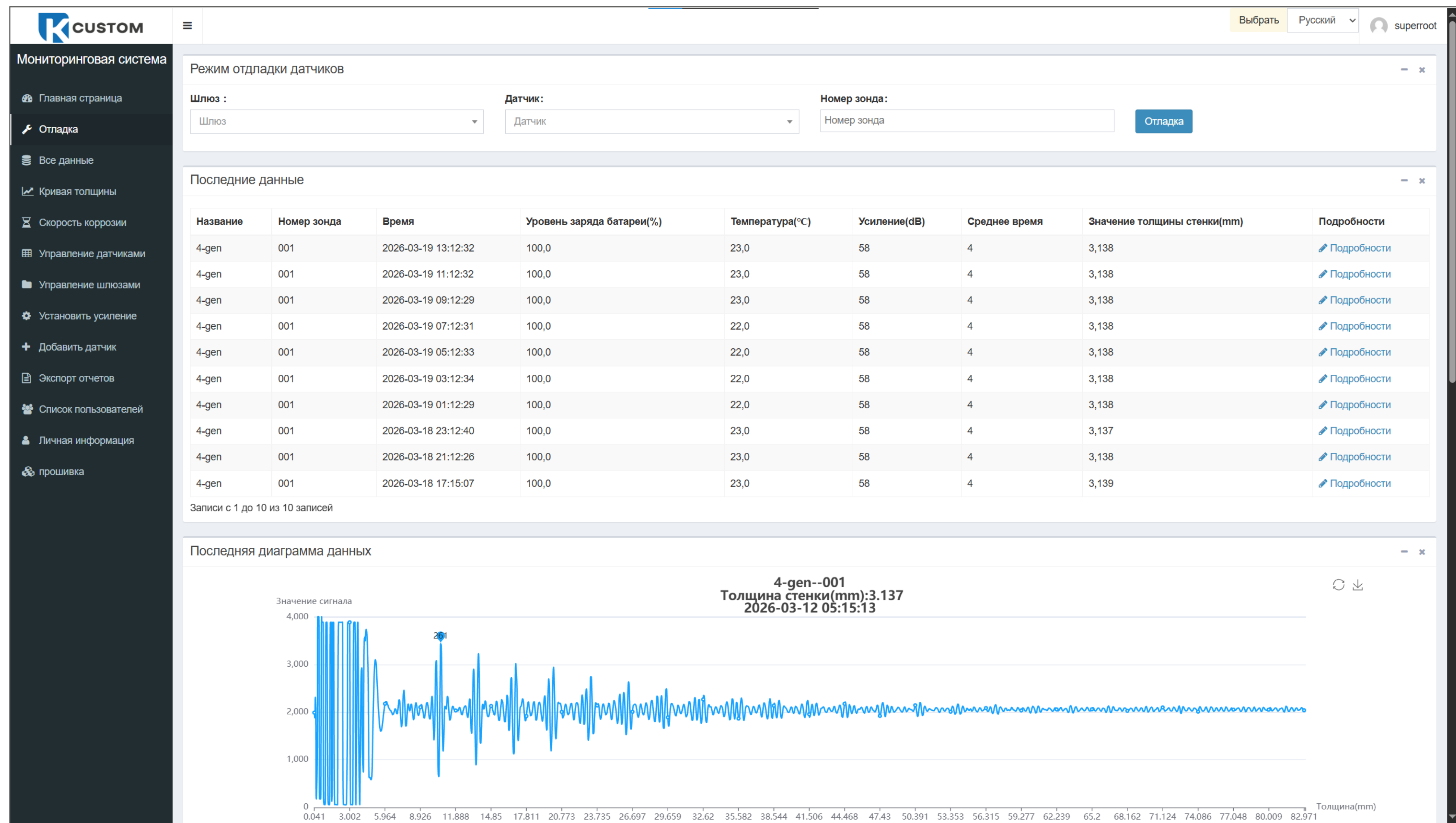
Регрессионная модель формирует значение h_0 (скорректированная толщина).

Алгоритм полностью компенсирует нестабильный акустический контакт и температурное расширение.

Итоговое значение скорости коррозии dh/dt рассчитывается исключительно по отфильтрованному тренду h_0 , исключая влияние шума.

Это исключает ложные срабатывания тревог и позволяет точно выявлять участки с утонением (вплоть до сотых долей мм/год).

ВЫГРУЗКА ЕЖЕДНЕВНЫХ ОТЧЕТОВ С ДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТРИКАМИ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ И СТАТИСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ИЗМЕРЕНИЙ



Редактировать данные

Идентификатор датчика *
151215110003426203

Адрес сети *
4.0.7.2

Приоритет
Обычный

Регион

Имя датчика *
4-gen

Количество зондов *
ETM-100A-1

Тип датчика
Обычный

Местонахождение

Ширина *
0.0

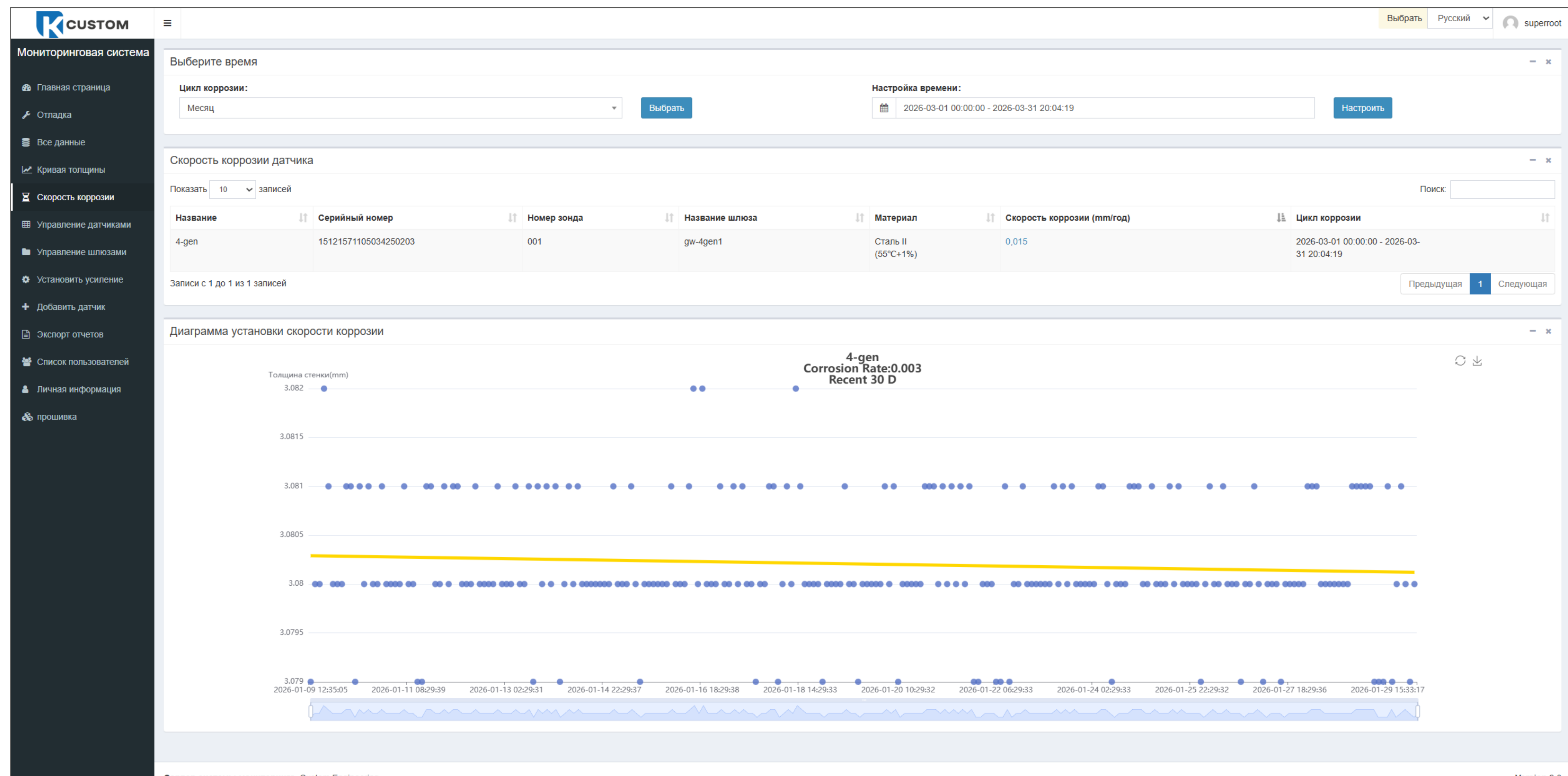
Датчик *
0.0

Дата установки
2025-12-30 09:38:15.320038+00:00

Описание

Интервал опроса датчика (обязательный параметр)*
и: 0 м: 0

Настроить условия заряда



Детальная информация о датчике

Название: 4-gen

Состояние в сети: онлайн

Серийный номер: 151215110003426203

Адрес сети: 4.0.7.2

Тип: ETM-100A-1

Количество зондов: 1

Приоритет: Обычный

Датчик: 0.0

Регион: ---

Местонахождение: ---

Настроенный объект данных: 474

Привязка к сети: 4-gen-1

Время установки: 2025-12-30

Время интервала опроса: 2 h

Разрешение датчика: 0.01 мм

Описание: ---

Основное сведение о зонде	Номер труборазвода	Среднее	Материал	Скорость коррозии	Время последнего опроса данных
Номер зонда: 001	---	---	Сталь 11 (B5C+1%)	3249.0	2026-03-19 13:12:32
Толщина стенки - номинальное значение(мм): 10.0	Толщина стенки - фактическое значение(мм): 3.138	Толщина стенки - фактическое значение(мм): 8.0	Начальная температура(°C): 15.0	Текущая температура(°C): 23.0	Аварийное значение температуры(°C): 310.0
Текущий уровень заряда батареи(%) 100.0	Аварийный уровень заряда батареи(%) 50.0	Скорость коррозии за последние 30 дней (мм/год): 0.0	Аварийное значение скорости коррозии (мм/год): 0.0		

Параметры датчика

Номер зонда: 001

Толщина стенки: 2

Усиление(дБ): 72

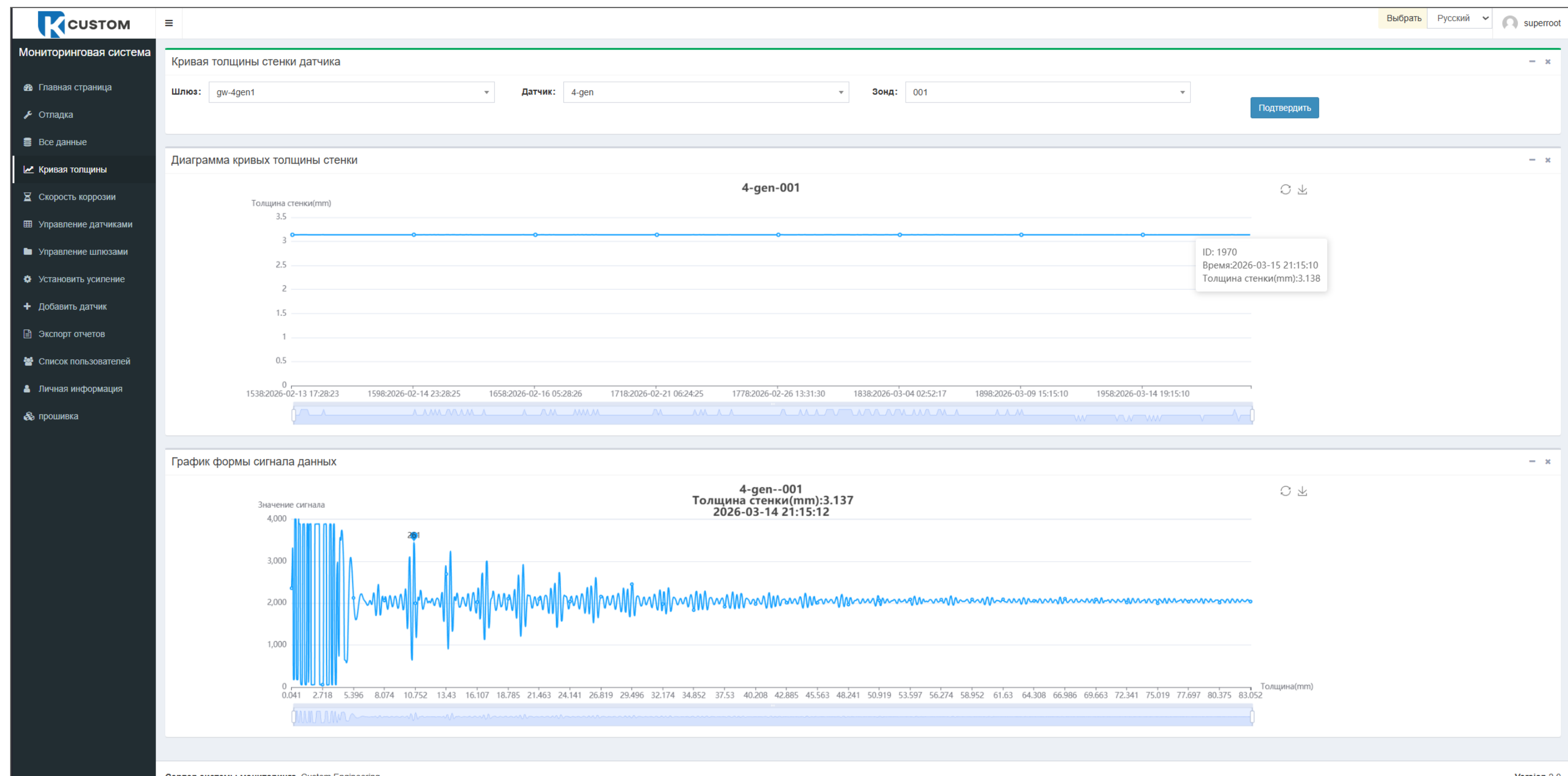
Среднее время: 4

Частота: 4

AD Частота опроса: 4000000

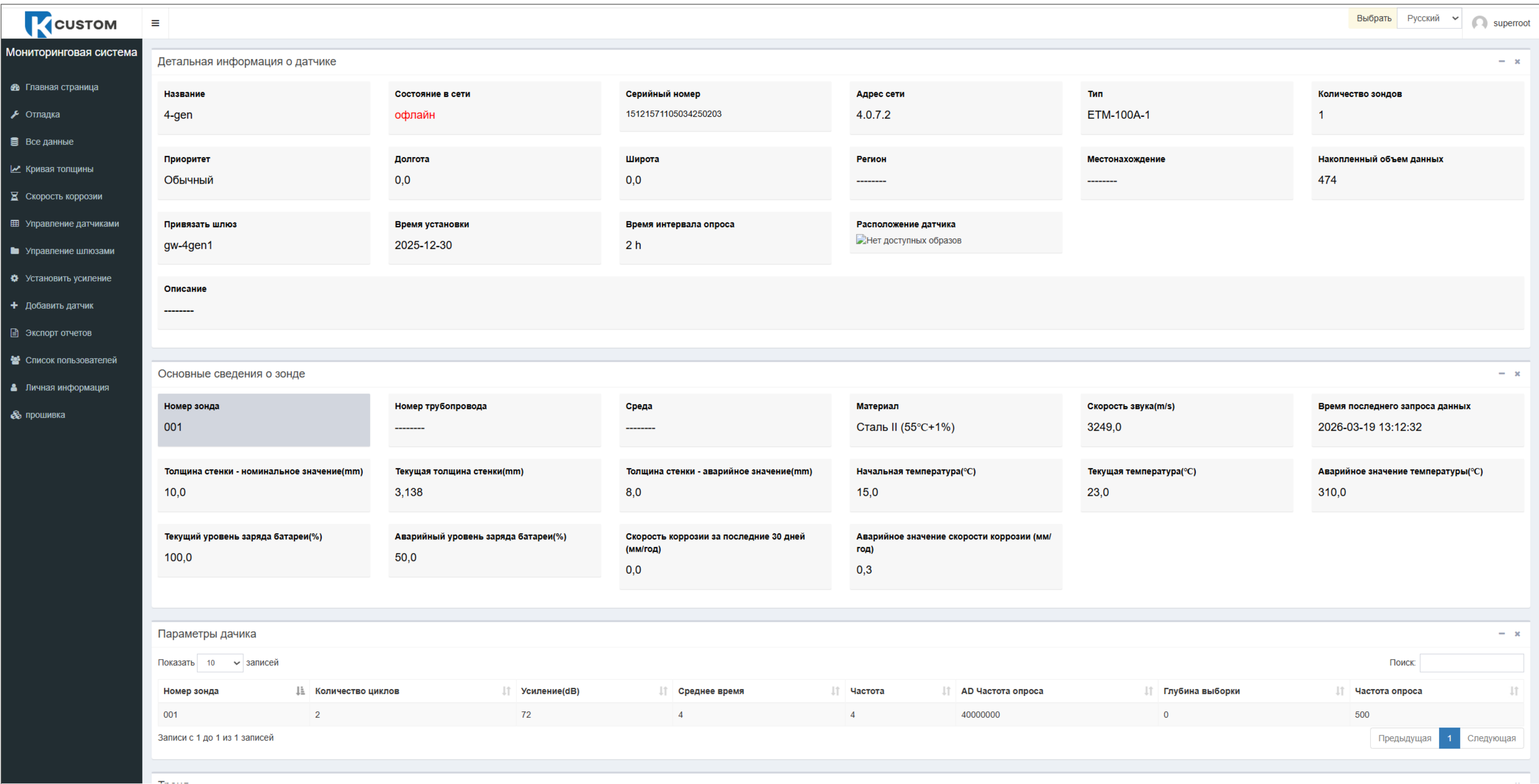
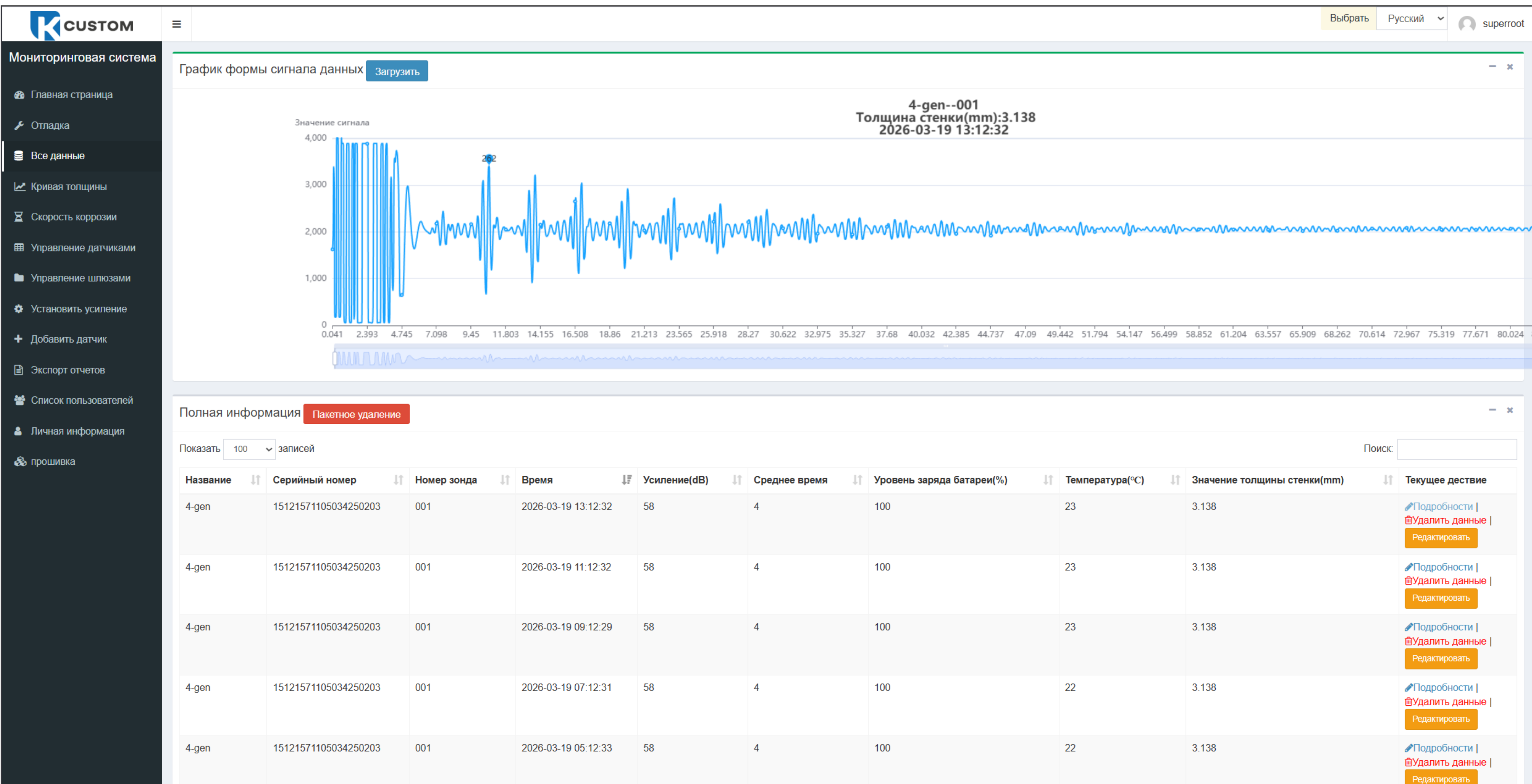
Глубина выборки: 0

Частота опроса: 800



СЕРВЕРНОЕ ПО И ИНТЕГРАЦИЯ В АСУ ТП

- ✓ **Веб-интерфейс:** Онлайн-мониторинг толщины, отображение формы волны (A-scan), расчетной скорости коррозии и статуса батарей
- ✓ **Автоматизация:** Система автоматических предупреждений (аварийная информация) при критическом утонении
- ✓ **Интеграция:** Передача обычных данных, архивов и событий/тревог в существующие существующие системы SCADA/АСУ ТП предприятия с использованием промышленного стандарта обмена данными OPC и Modbus TCP



ПЕРЕХОД К ПРЕДИКТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ИНФРАСТРУКТУРОЙ



Непревзойденная аппаратная база

Бесконтактный контроль до 600°C с погрешностью $\pm 0,01$ мм без остановки технологических процессов



Системность данных

Возможность бесшовной интеграции данных ЭМАП с кинетическими показателями электрохимических методов (LPR)



Достоверная аналитика

Математическая фильтрация термоакустических шумов для точного расчета истинной скорости коррозии



Итог: Абсолютный, научно обоснованный контроль над критически важным производственным оборудованием



КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД: СИНЕРГИЯ ЭМАП И LPR

Объединение двух фундаментальных методов для полного контроля коррозионных процессов.

LPR-датчики (Причина)

Обеспечивают мгновенную оценку скорости электрохимической коррозии в жидких электролитах. Идеально для оперативного контроля эффективности ингибирования.

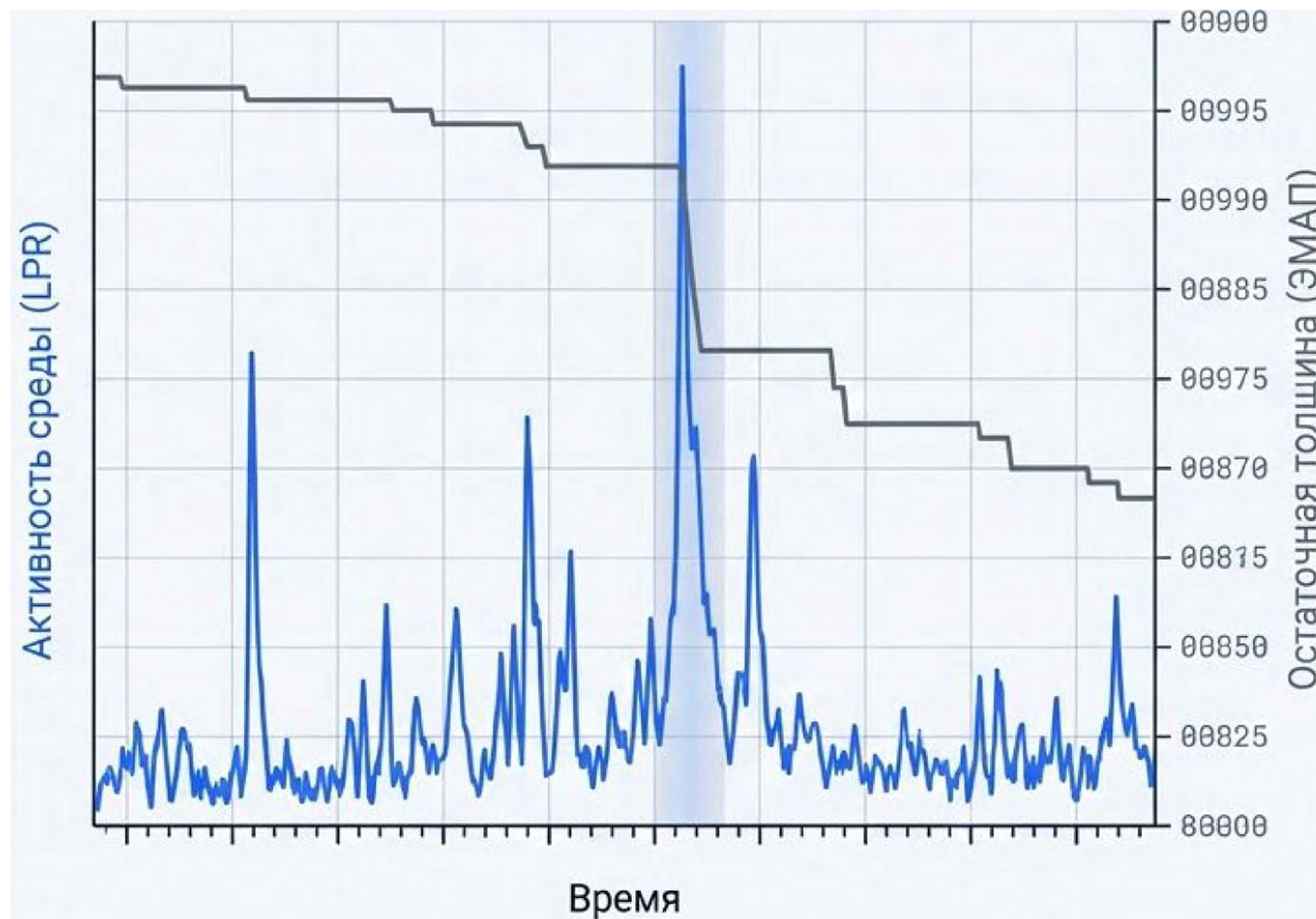
ЭМАП КА-СКОР (Следствие)

Обеспечивает абсолютный физический контроль фактического утонения стенки металла в любых средах (включая газовые и углеводородные фазы).



Результат: Синергия мгновенной кинетики (LPR) и долгосрочного абсолютного контроля потери металла (ЭМАП) позволяет точно калибровать системы дозировки ингибиторов и прогнозировать остаточный ресурс.

СИНЕРГИЯ МЕТОДОВ: КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ЭМАП И LPR



LPR-мониторинг (Мгновенная кинетика)

Фиксирует сиюминутную электрохимическую активность. Идеален для мгновенной оценки эффективности подачи ингибиторов коррозии в водной среде



ЭМАП КА-СКОР (Остаточный ресурс)

Измеряет фактическое, необратимое физическое утонение стенки металла во времени



Комплексный анализ

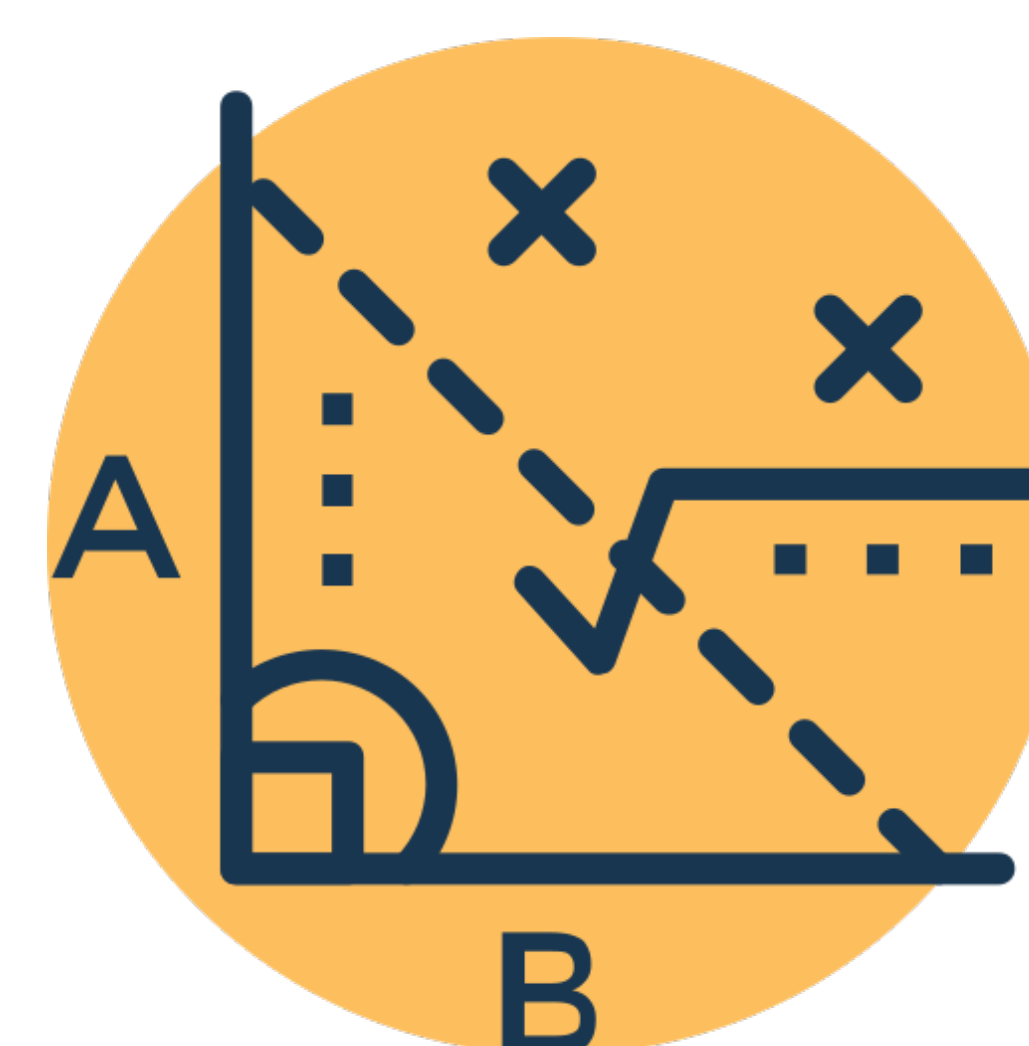
Наложение пиков LPR (агрессивность среды) на тренды ЭМАП (потеря металла) исключает ложные срабатывания и дает исчерпывающую картину состояния трубопровода (причина + следствие)

КА-СКОР: СТАНДАРТ СОВРЕМЕННОГО КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА



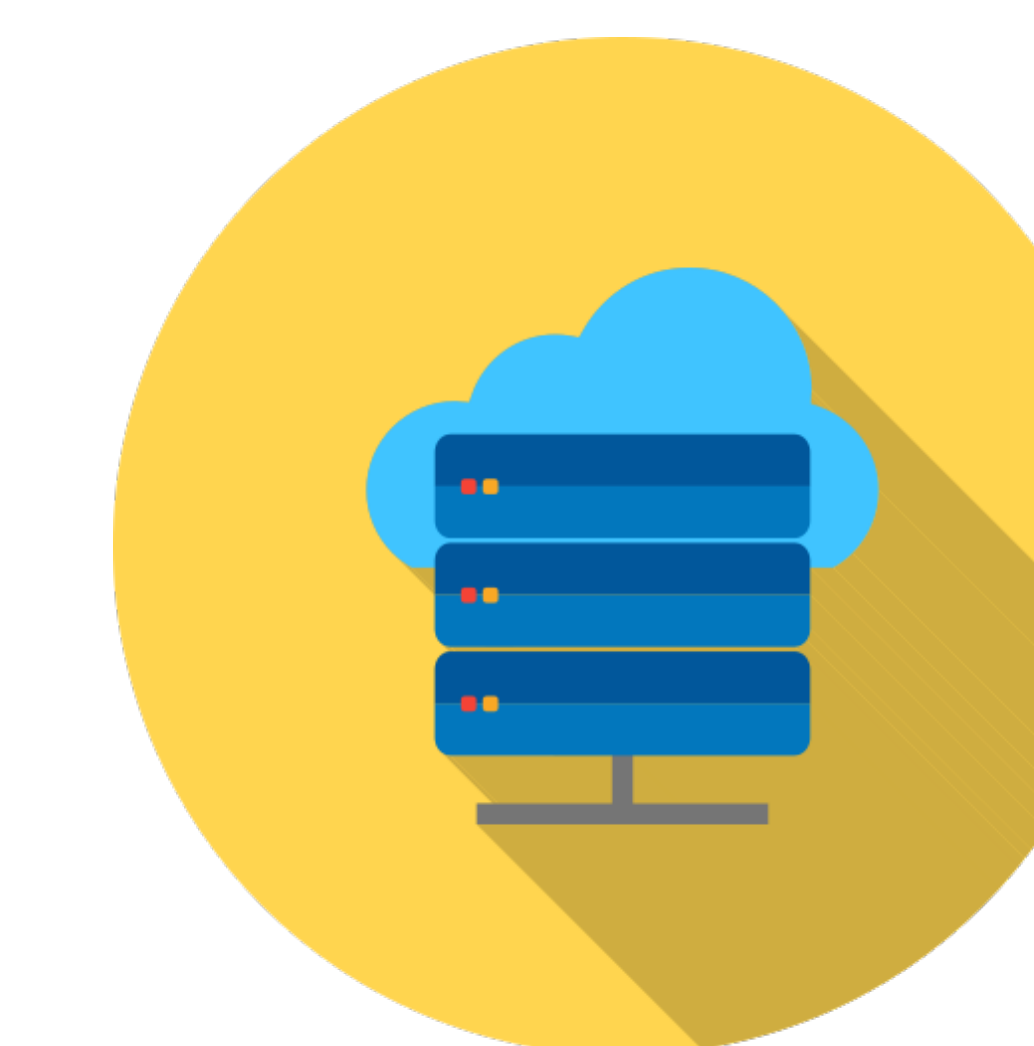
Абсолютный бесконтактный контроль

ЭМАП технология
позволяет вести точные
измерения через покрытия
и при **высоких температурах**
(до 600°C) без зачистки
поверхности



Математическая достоверность

Встроенная регрессионная
модель предиктивной аналитики
полностью исключает влияние
температурных колебаний
на расчет скорости
коррозии



Масштабируемая инфраструктура

Взрывозащищенное исполнение
(1 Ex db ПС Тб Gb) в сочетании с
гибкими протоколами **LoRa**
и **NB-IoT** обеспечивает
интеграцию в АСУ ТП на объектах
любой сложности

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ (ROI)



Предотвращение инцидентов

Исключение штрафов, экологического ущерба и колоссальных затрат на ликвидацию последствий внезапных порывов и разгерметизации.



Умный ТОиР

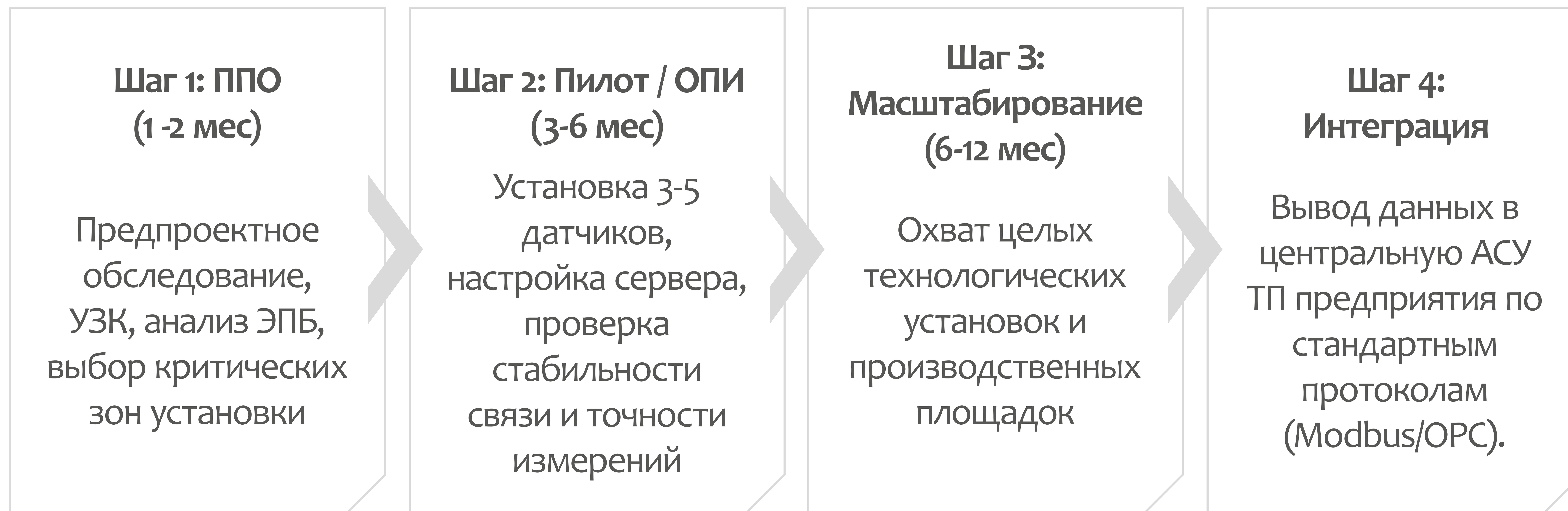
Переход от жестких календарных ремонтов к ремонтам по фактическому состоянию.
Обоснованное продление ресурса и сокращение простоев.



Оптимизация химизации

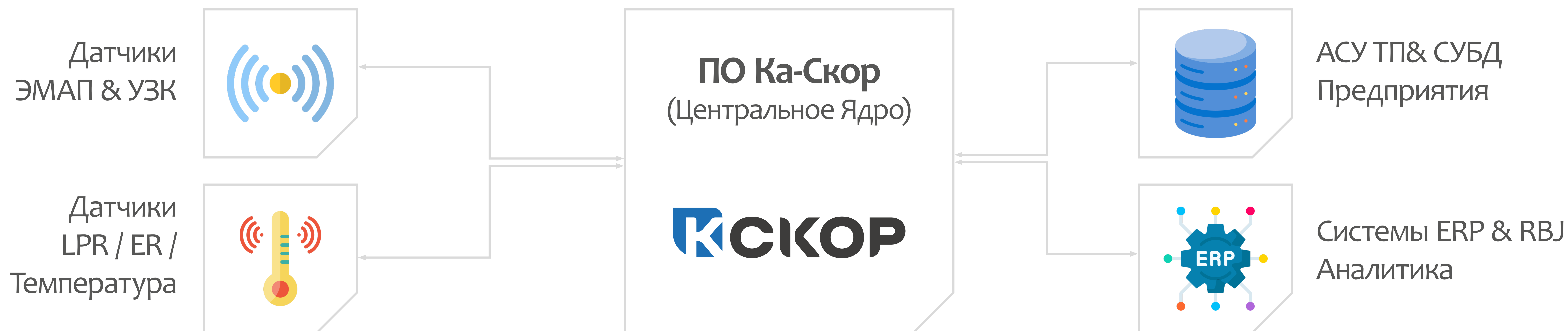
Динамическое дозирование дорогостоящих ингибиторов коррозии на основе реальной потребности потока.
Экономия реагентов до 15-20%.

ДОРОЖНАЯ КАРТА ВНЕДРЕНИЯ



Минимальный риск: Система доказывает свою эффективность на пилотном участке до принятия решений о масштабных инвестициях.

ЕДИНАЯ ЭКОСИСТЕМА ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ



Гибкость архитектуры

Кастомизация расчетных модулей и форматов интеграции под строгие требования корпоративной IT-инфраструктуры заказчика

Открытый стандарт

Агрегация данных с датчиков различных принципов действия (физика + электрохимия + вибрация) в едином цифровом окне

Бизнес-результат

Стратегический переход от реактивного устранения аварий к проактивному управлению эффективностью активов (APM)

**Система Ка-Скор
обеспечивает
инструментальный
базис для нулевой
аварийности**

ГОРИЗОНТ РАЗВИТИЯ: ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА И RBI



Big Data и Искусственный Интеллект

Переход от сбора к машинному обучению. Анализ массивов данных: толщина стенки температура, химический состав среды



Risk-Based Inspection (RBI)

Интеграция ПО Ка-Скор с международной методологией контроля оборудования на основе комплексной оценки промышленных рисков



Автоматизация ТОиР

Прогнозирование остаточного ресурса (Remaining Useful Life). Автоматизированное смещение графиков ремонтов на основе реального физического износа, а не календарных планов



КАСТОМ

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

ОБЪЕДИНЯЕМ ТЕХНОЛОГИИ
В ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ
РЕШЕНИЯ