

Цифровой двойник предприятия

Единая цифровая модель энергопредприятия: мониторинг оборудования и технологических процессов, аналитика, прогнозирование отказов и поддержка управленческих решений

20

функциональных модулей
системы

4

уровня архитектуры
диспетчеризации

100K → 1M+ 99,5%

тегов телеметрии после
масштабирования

99,5%

целевая доступность
серверной части



Резюме: единый контур данных замыкает мониторинг, прогноз отказов и управленческие решения

20 модулей · 4 уровня архитектуры · контур on-prem

01 Контур данных без разрывов — от датчика до дашборда

ПЛК, устройства РЗА, SCADA/АСУ ТП, MES и ERP сводятся в иерархическую модель предприятия; каждый объект получает паспорт из атрибутов и историю измерений.

02 Прогноз вместо реакции на аварию

Четырёхзвенная цепочка — телеметрия IIoT, агрегация, ML-модели (детекция аномалий, диагностика дефектов, расчёт RUL) — завершается автоматическим нарядом на работы в ERP/EAM.

03 Управляемое внедрение с измеримой приёмкой

Развёртывание on-prem, сегментация четырёх уровней диспетчеризации, доступность 99,5% и 15 формальных критериев приёмки фиксируют результат проекта.

KEY NUMBERS

20

функциональных модулей в архитектуре

100K → 1M+

тегов: первый этап → после масштабирования

99,5%

доступность серверной части (без плановых работ)

≥ 1 с

период обновления оперативных данных

Что это значит: ценность проекта концентрируется в контуре данных и ML-моделях — они задают точность прогнозов и доверие к системе.

Структура документа: от концепции и архитектуры — к аналитике, приёнке и следующим шагам

5 глав · 18 страниц · каждая глава отвечает на один вопрос о системе

01	Концепция и охват Зачем создаётся система и какие объекты входят в цифровую модель	с. 4–5
02	Архитектура и данные 20 модулей, op-prem контур, уровни диспетчеризации и ИБ	с. 6–9
03	Интеграции и мониторинг ПЛК, устройства РЗА и три контура наблюдения за предприятием	с. 10–11
04	Аналитика и управление Прогнозы, финансы, экология, персонал, роли и сценарии	с. 12–16
05	Технология и требования Технологический стек, нагрузка, доступность, масштабирование	с. 17–18

КАК ЧИТАТЬ СТРАНИЦЫ

- 1 Заголовок — готовый вывод
- 2 Схема — доказательство вывода
- 3 Нижняя плашка — что это значит для проекта

Источники · ПЛК · РЗА · ERP

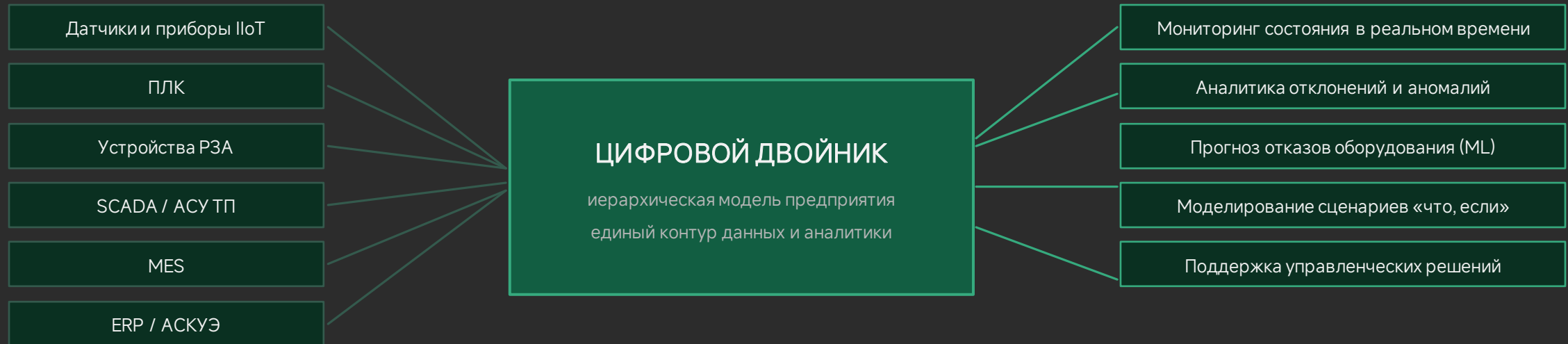
Цифровой двойник предприятия

Решения · прогнозы · бюджеты

Концепция: единый источник правды соединяет оборудование, процессы и управленческие решения

Назначение : сбор и объединение данных оборудования, ПЛК, устройств РЗА, SCADA/АСУ ТП, MES, ERP и других систем

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ



10 ЦЕЛЕЙ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ·

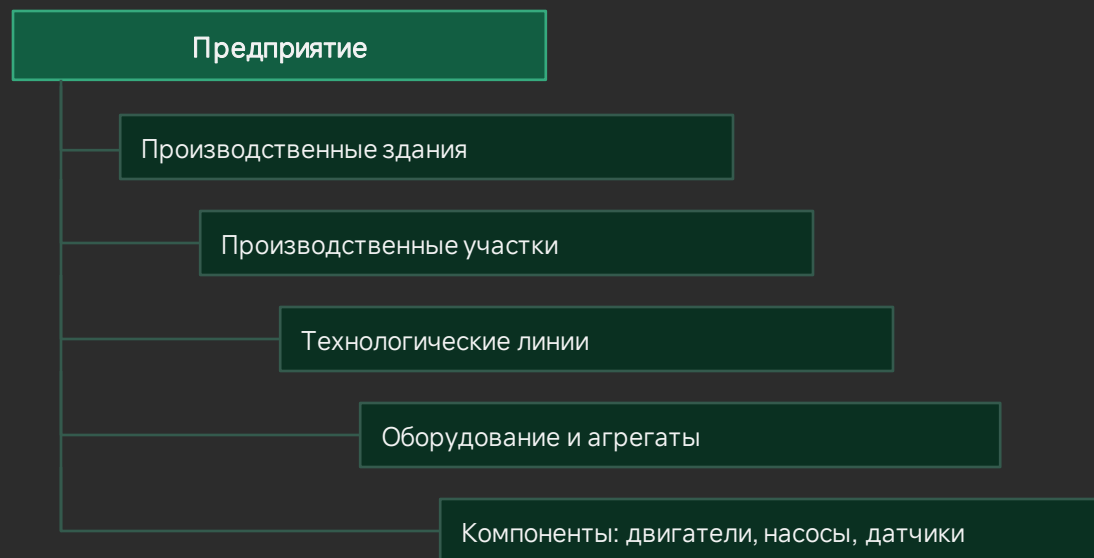
- 01 Единое цифровое представление 02 Актуальное состояние оборудования 03 Контроль производственных и энергопоказателей 04 Выявление отклонений режима 05 Прогноз отказов
- 06 Моделирование сценариев 07 Надёжность оборудования и электроснабжения 08 Снижение простоев и затрат 09 Эффективность ресурсов 10 Единый инструмент анализа

Что это значит: двойник — слой над существующим ландшафтом: источники данных остаются на месте, исчезают разрывы между ними.

Охват модели: от зданий и подстанций до датчиков — 20 типов объектов с масштабируемым составом

Объект автоматизации · иерархия задаёт навигацию от предприятия до единицы оборудования

ИЕРАРХИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ



Каждый уровень наследует паспорт объекта: идентификатор, характеристики, нормативы, историю и архив измерений. Пользователь проваливается от общего вида предприятия до конкретного агрегата.

ЧЕТЫРЕ ДОМЕНА ОБЪЕКТОВ · 20 ТИПОВ

Производство

участки · технологические линии · оборудование и агрегаты · электродвигатели · насосы · компрессоры

Электроэнергетика

трансформаторы · распределительные устройства · электрические сети · подстанции · устройства РЗА

Автоматика и КИПиА

шкафы автоматики · ПЛК · датчики и измерительные приборы

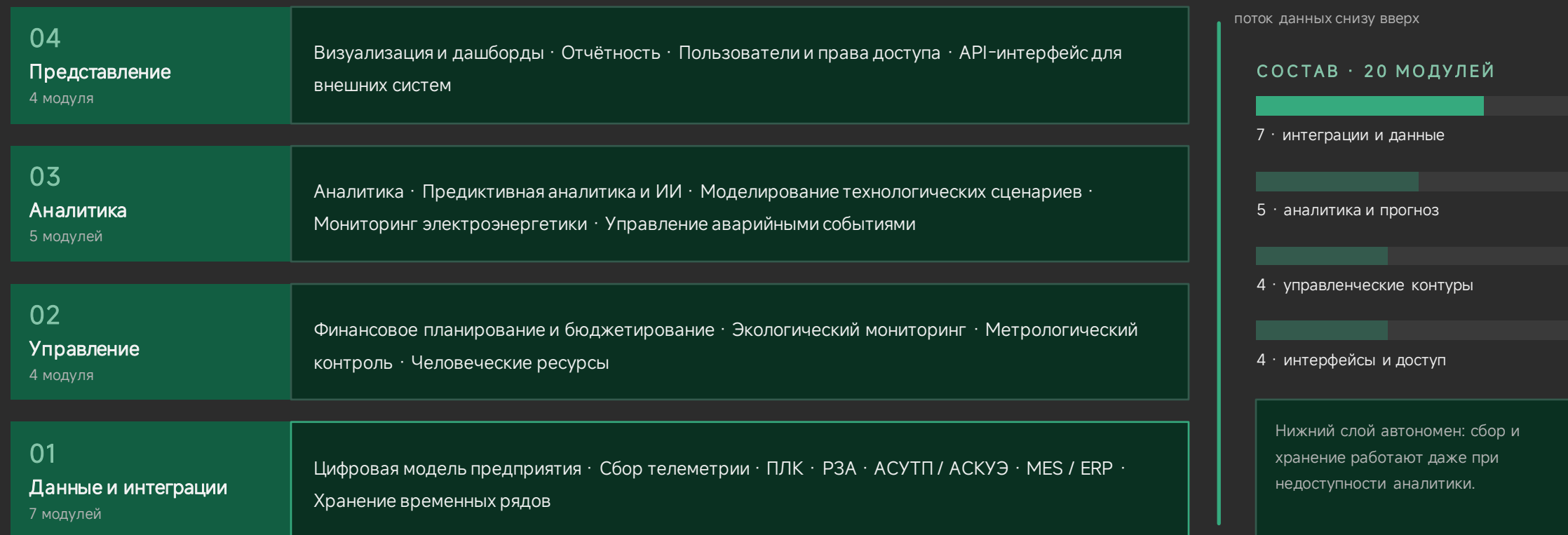
Инфраструктура и логистика

производственные здания · вентиляция и кондиционирование · водоснабжение · энергетическое оборудование · склады и логистические объекты

Что это значит: количество объектов масштабируемо — новые цеха, предприятия и типы оборудования добавляются без перестройки модели.

Функциональная архитектура: 20 модулей собраны в четыре слоя — от сбора данных к представлению

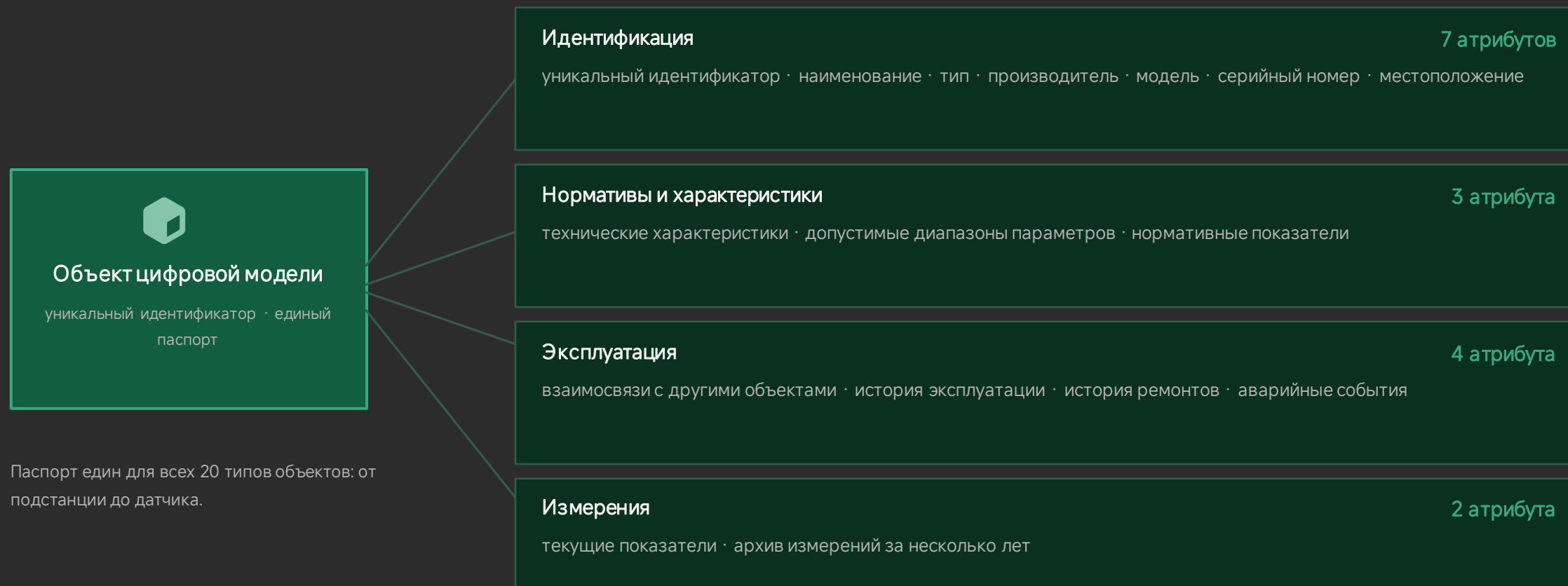
Состав подсистем · слои читаются снизу вверх: данные → управление → аналитика → интерфейсы



Что это значит: слоистая структура позволяет внедрять систему поэтапно — сначала контур данных, затем аналитику и интерфейсы.

Паспорт объекта: 16 атрибутов в четырёх группах делают каждый узел модели адресуемым

Состав данных на объект · единообразно для оборудования, сетей, зданий и датчиков



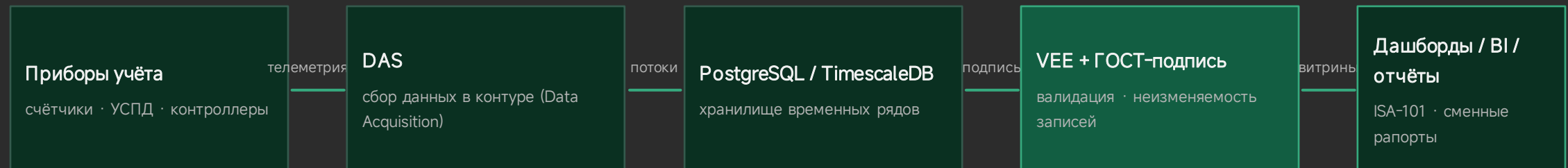
Паспорт един для всех 20 типов объектов: от подстанции до датчика.

Что это значит: единый паспорт связывает с объектом финансы, персонал и экологию — и позволяет найти любое оборудование за секунды.

Контур данных on-prem: от приборов учёта к отчётности — с валидацией и ГОСТ-подписью

Архитектура · все компоненты разворачиваются на внутренних серверах предприятия

ЦЕПОЧКА ДАННЫХ



ЧТО ХРАНИТ АРХИВ



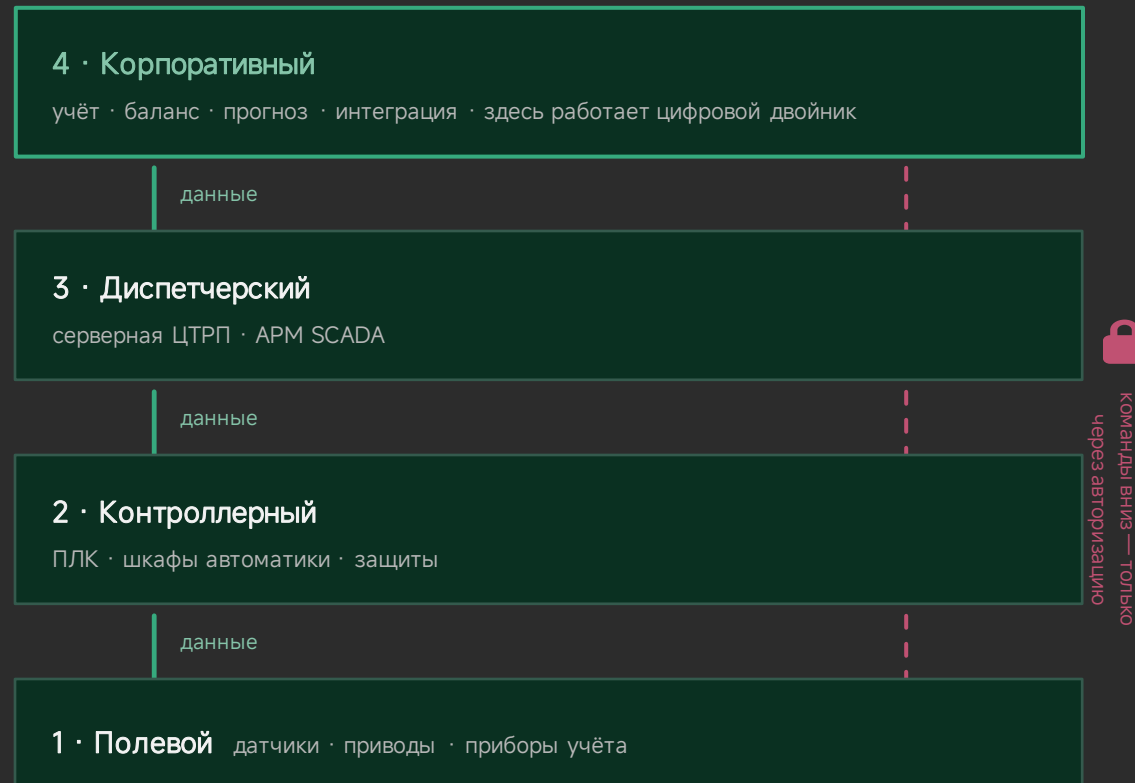
Архив поддерживает хранение данных за несколько лет с возможностью масштабирования; объектное хранилище — для файлов, осциллограмм и документов.

Что это значит: валидация и подпись на входе делают архив доказательным — данным BI и отчётности можно доверять без перепроверки.

Четыре уровня диспетчеризации с сегментацией: двойник не управляет оборудованием напрямую

Архитектура диспетчеризации · требования промышленной ИБ

УРОВНИ АРХИТЕКТУРЫ · ДАННЫЕ ВВЕРХ, КОМАНДЫ — ЧЕРЕЗ ЗАЩИТУ



РОЛЕВАЯ МОДЕЛЬ ДОСТУПА · 9 РОЛЕЙ

Администратор	Руководитель	Инженер
Энергетик	Механик	Диспетчер
Оператор	Аналитик	Наблюдатель

МЕРЫ ЗАЩИТЫ

- аутентификация и авторизация пользователей
- разграничение доступа по ролям
- журналирование и аудит действий
- шифрование передачи данных
- защита API и контроль прав
- запрет прямого влияния на критическое оборудование без авторизации и подтверждения операции

Что это значит: данные движутся вверх свободно; команды вниз — только через защищённый механизм с авторизацией и подтверждением.

Интеграции: семь промышленных протоколов для ПЛК и полный контур РЗА

— ОТ ТОКОВ ДО ОСЦИЛЛОГРАММ

· система читает контур управления: изменение программы ПЛК — только через защищённый механизм

ПЛК · ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

OPC UA	OPC DA · при необходимости
Modbus TCP	Modbus RTU
MQTT	Profinet
EtherNet/IP	+ другие через шлюз

ПАСПОРТ СИГНАЛА · 9 ПОЛЕЙ

идентификатор · название · источник · тип данных
единица измерения · частота обновления · допустимый диапазон
время получения · **качество данных**

 Программа ПЛК не изменяется без специально предусмотренного и защищённого механизма управления.

РЗА · ЧТО ПОПАДАЕТ В ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК

Электрические параметры

токи · напряжения · частота · активная и реактивная мощность · параметры режимов электрооборудования

Состояния коммутации

состояния выключателей · состояния разъединителей · положения автоматики

События и защиты

срабатывания защит · аварийные сигналы · предупреждения · аварийные отключения · журналы событий · осциллограммы (при наличии интерфейса)

Источники: микропроцессорные терминалы РЗА · цифровые подстанции · устройства измерения · автоматика · системы АСУ ТП.

 Двойник визуализирует электрическую схему предприятия с текущим состоянием её элементов.

Что это значит: единый паспорт сигнала для всех протоколов снимает зависимость от вендоров оборудования и упрощает расширение контура.

Три контура мониторинга: оборудование, техпроцесс и энергетика — с проваливанием до каждой единицы

· режим, близкий к реальному времени · навигация от общего вида предприятия к конкретному объекту



Оборудование

текущее состояние и режим работы
основные параметры и нагрузка
температура · вибрация (при датчиках)
потребление энергии
количество запусков · наработка
аварии и предупреждения
история обслуживания

11 параметров на каждую единицу



Технологический процесс

технологические схемы и мнемосхемы
состояние оборудования на схеме
движение материальных потоков
производительность и нагрузка
технологические параметры
отклонения от заданных значений

drill-down: предприятие → агрегат



Энергетика

потребление и генерация
активная и реактивная мощность
напряжение · ток · частота
коэффициент мощности
нагрузка трансформаторов и линий
потери электроэнергии

11 контролируемых величин

ФОРМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТЧЁТНОСТИ

Суточный энергобаланс

Напряжение по узлам

Журнал диспетчера

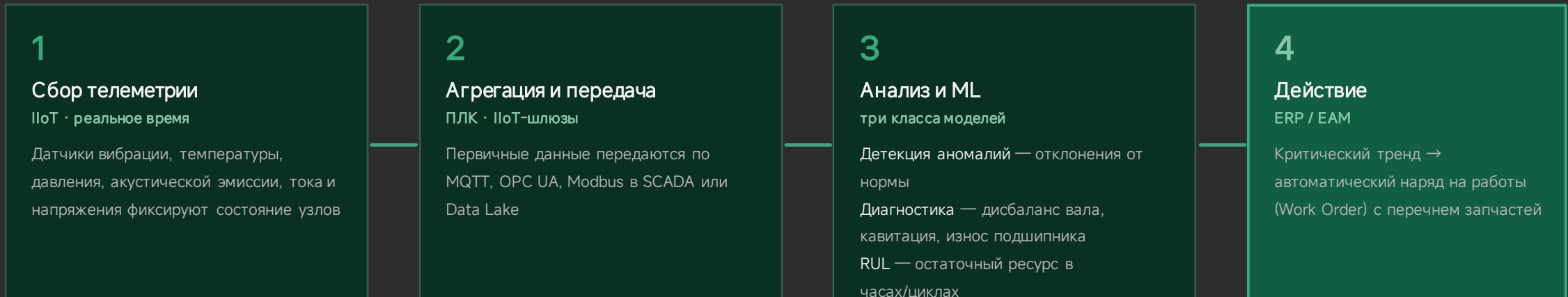
Подстанции и РП/ТП

Небаланс фидеров

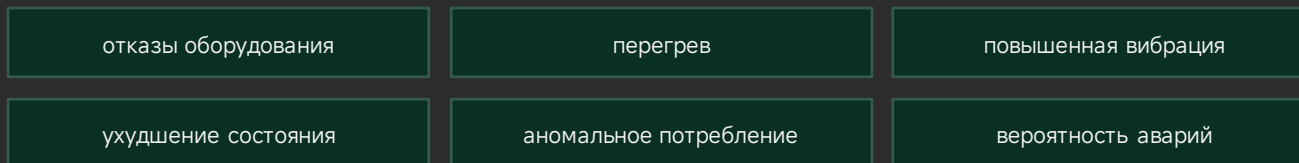
Что это значит: один экран отвечает на вопрос «что происходит сейчас» — и позволяет дойти до конкретного выключателя в три клика.

Предиктивная цепочка: телеметрия IIoT → машинное обучение → автоматический наряд в ERP/EAM

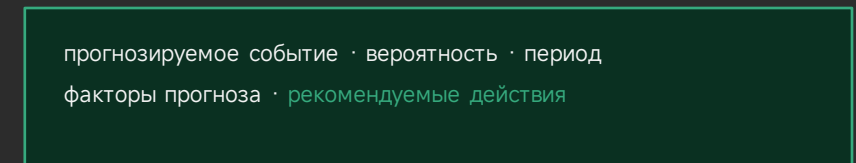
· четырёхзвенная цепочка · ML применяется при достаточном объеме исторических данных



ЧТО ПРОГНОЗИРУЕТ СИСТЕМА



КАРТОЧКА ПРОГНОЗА · 5 ПОЛЕЙ



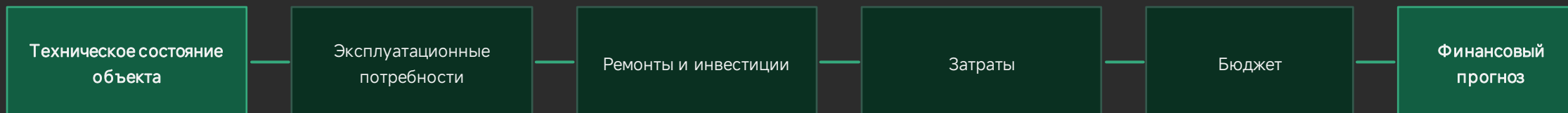
Для каждого отклонения формируется карточка события: время, объект, параметр, фактическое и нормативное значения, критичность, причина, действие.

Что это значит: ключевой выход — не график, а наряд на работы: прогноз сразу превращается в действие обслуживающего персонала.

Финансовый контур: техническое состояние объектов напрямую связано с бюджетом и прогнозом

· финансовые данные привязаны к объектам цифровой модели · формирование отчётности с учётом МСФО

ЦЕПОЧКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ



Планирование · 8 направлений

- годовой и среднесрочный финансовый план
- бюджеты предприятия, подразделений и филиалов
- OPEX и CAPEX
- затраты на техническое обслуживание и ремонт
- закупки материалов и оборудования
- затраты на персонал
- электроэнергия и энергоресурсы

Анализ и контроль · 7 функций

- план-фактный анализ и отклонения бюджета
- прогнозирование финансовых показателей
- моделирование финансовых сценариев
- оценка эффективности инвестпроектов
- финансовые последствия технических рисков
- управленческая отчётность (МСФО)
- интеграция с ERP, EAM/CMMS

Что это значит: бюджет перестаёт быть оторванным от производства — каждая статья затрат прослеживается до конкретного объекта модели.

Экология, метрология и персонал опираются на те же объекты модели — без параллельных реестров

· управленческие контуры, связанные с цифровой моделью предприятия



Экологический мониторинг

фактические выбросы и сбросы vs нормативы
концентрации и кратности ПДК
карта постов и шлейфов рассеивания — модель Гаусса
параметры и скорости ветра — роза ветров
экологические риски и прогноз показателей
финансовые и операционные последствия рисков

источник воздействия → объект модели



Метрологический контроль

учёт средств измерений (СИ)
прослеживаемость измерений
техническая документация
контроль и планирование состояния СИ
анализ пригодности измерительного контура

3 контура данных по каждому СИ



Человеческие ресурсы

реестр сотрудников и оргструктура
квалификации, допуски, контроль сроков
обучение и аттестация
сменный персонал и графики работ
учёт рабочего времени, командировки
затраты на персонал и HR-аналитика

21 функция · связь сотрудник — объект

Что это значит: связь «сотрудник — объект» замыкает ответственность: у каждого узла модели есть владелец, допуски и бюджет.

Один главный экран и четыре ролевых дашборда: каждая роль видит свой контур ответственности

· главный экран — карта предприятия с живым состоянием всех контуров

ГЛАВНЫЙ ЭКРАН · СОСТАВ

Карта предприятия	Электросеть	Теплоэнергетика	Водоканал
Экомониторинг	Предиктивная аналитика	Лаборатория	Диспетчерский центр

Поверх карты: состояние оборудования · аварии · предупреждения · производственные и энергетические параметры · текущая загрузка · критические события

Роль	Фокус внимания	Ключевые показатели дашборда
Руководитель	Производство и KPI	объём производства · производительность · простои · энергозатраты · аварийность · ключевые KPI
Главный энергетик	Электросеть предприятия	состояние сети · нагрузки · трансформаторы · выключатели · РЗА · аварийные события · энергопотребление
Главный механик	Оборудование и ремонты	состояние оборудования · наработка · неисправности · ремонты · прогноз отказов
Диспетчер	Техпроцесс в реальном времени	состояние процесса · текущие аварии · предупреждения · параметры оборудования · события в реальном времени

Что это значит: ролевая модель не разделяет данные — она подаёт один и тот же контур под разными углами для каждой роли.

Сценарии моделируются без риска для производства; события регистрируются автоматически

· виртуальные эксперименты не воздействуют на реальное оборудование

СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ · ЧТО ПРОВЕРЯЕМ

- рост производительности на 10–20%
- отключение оборудования
- отказ отдельного агрегата
- изменение графика работы
- изменение нагрузки
- отключение трансформатора
- конфигурация электроснабжения
- параметры технологического процесса

ВХОД · 8 типовых сценариев

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ · расчёт без воздействия на реальное оборудование

производительность · энергопотребление · загрузка оборудования
потенциальные ограничения · риски · прогнозируемые аварийные ситуации
экономические показатели сценария

РЕЗУЛЬТАТ · 7 групп показателей

АВАРИЙНЫЕ СОБЫТИЯ · 8 КАТЕГОРИЙ

Авария

Предупреждение

Отказ

Отключение

Превышение параметра

Потеря связи

Срабатывание РЗА

Остановка оборудования



Регистрация событий — автоматическая, с журналом

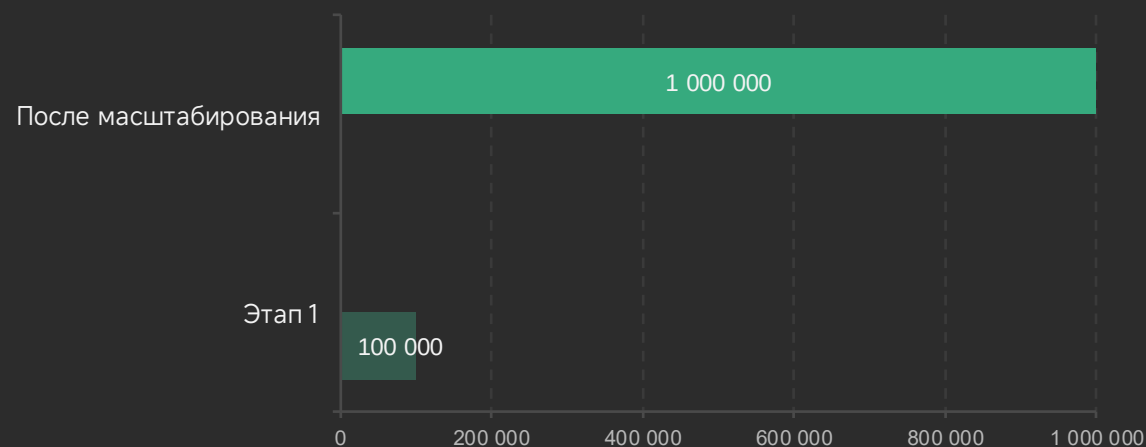
Что это значит: сценарий отвечает на вопрос «что, если», журнал событий — на вопрос «что случилось»; вместе они закрывают цикл управления.

NON-FUNCTIONAL

Рамка производительности: 100 тыс. тегов на старте, 1 млн+ после масштабирования, доступность 99,5%

· целевые показатели серверной части без учёта плановых технических работ

ЁМКОСТЬ КОНТУРА · ТЕГОВ ТЕЛЕМЕТРИИ



Значения подписаны у столбцов · запас ёмкости ×10

≥ 1 с

период обновления оперативных данных —
зависит от типа сигнала

99,5%

целевая доступность серверной части, без
плановых работ

ЧТО ДОБАВЛЯЕТСЯ БЕЗ ПЕРЕСТРОЙКИ АРХИТЕКТУРЫ

Новые цеха и производственные участки

Новые предприятия группы

Новые типы оборудования

Новые промышленные протоколы

Новые аналитические и ML-модели

Что это значит: десятикратный запас по тегам означает, что второй этап программы не потребует смены платформы.

Технологический стек: распространённые компоненты и промышленные протоколы, развёртывание on-prem

· микросервисная или модульная архитектура · без жёсткой привязки к вендору

Слой	Технологии	Назначение в системе
Backend	Python / Java / C# / Go · REST API	микросервисная или модульная архитектура
Frontend	React / Vue · WebSocket	оперативные данные, интерактивные схемы и графики
Данные	PostgreSQL · TimescaleDB · объектное хранилище	временные ряды, файлы, осциллограммы и архивы
Интеграция	OPC UA · MQTT · Modbus · REST API	Kafka / RabbitMQ — при необходимости шины событий
Аналитика	Python · ML-модели · статистический анализ	прогнозирование временных рядов и отказов

On-prem: внутренние серверы предприятия

PostgreSQL / TimescaleDB вместо Oracle

Отчётность и дашборды по ISA-101

Что это значит: стек собран из распространённых компонентов — найм и сопровождение не упираются в редкие компетенции.