

PREDICTIVE MAINTENANCE · IIOT · ML

Предиктивная аналитика ТОиР

Платформа предотвращения внеплановых простоев
оборудования: дефекты выявляются за 2–6 недель до
отказа

ВИБРАЦИЯ · ТЕРМОГРАФИЯ · АНАЛИЗ МАСЕЛ · MCSA · RUL

EXEC SUMMARY

Executive summary: переход от ремонта «по календарю» к прогнозу отказов сокращает простои на 30–50%

Три ключевых тезиса о платформе · целевые показатели · формат пилотного внедрения за 30 дней

01

Ремонт по фактическому состоянию, а не по календарю

Переход от реактивного ТОиР и жёсткого ППР к CBM/PdM: дефект выявляется на стадии зарождения по паттернам телеметрии датчиков.

КЛЮЧЕВЫЕ ЦИФРЫ · ЦЕЛИ ПИЛОТА

–30...–50%

внеплановые простои · диапазон эффекта PdM

02

Остаточный ресурс (RUL) рассчитывает ML-модель

Прогноз времени до отказа в часах и циклах превращает надёжность в планируемый параметр: ремонт ставится в график заранее, с запчастями на складе.

2–6 нед.

от обнаружения дефекта до отказа узла

03

Наряд на работы создаётся автоматически

При критическом тренде платформа генерирует Work Order с перечнем запчастей в EAM/ERP-контуре предприятия — 1C:ТОиР, SAP EAM, MES.

30 дней

пилот на 2–3 критических узлах оборудования

Вывод: начните с 2–3 критических узлов — именно там концентрируется максимальный финансовый ущерб от остановок производства.

PROBLEM

Проблема: реактивный ремонт и ППР теряют деньги с двух сторон — аварийные простои и замена исправных узлов

Три системных источника потерь в классических стратегиях обслуживания оборудования

01 Стоимость внепланового простоя

Остановка критического агрегата останавливает всю технологическую цепочку: ущерб от недовыпуска продукции растёт с каждым часом простоя.

02 Избыточность планово-предупредительных ремонтов

ППР по наработке и моточасам приводит к замене исправных деталей «по регламенту»: ресурс узлов недоиспользуется, бюджет расходуется на лишние запчасти и работы.

03 Цепочка вторичных повреждений

Реактивный ремонт «после поломки»: дефект одного узла успевает разрушить смежные — вал, подшипниковые опоры, уплотнения, — и ремонткратно дорожает.



Термографический контроль электродвигателя — один из каналов раннего обнаружения дефектов. Иллюстрация: AI.

Что это значит: без прогноза состояния предприятие вынуждено выбирать между риском аварии и гарантированной переплатой за регламент.

STRATEGY COMPARISON

Сравнение стратегий ТОиР: только предиктивная сочетает минимальный риск простоя и минимальные совокупные затраты

Четыре стратегии обслуживания × четыре параметра · целевая стратегия выделена зелёным

Параметр	Реактивное (аварийное)	Планово-предупредительное (ППР)	По состоянию (CBM)	Предиктивное (PdM)
Принцип	Ремонт после поломки	Ремонт по расписанию (наработка, моточасы)	Ремонт при выходе за порог норматива	Прогноз остаточного ресурса на базе ML
Риск простоя	Высокий	Средний · риск избыточного ремонта	Умеренный	Минимальный
Затраты	Максимальные аварийные	Высокие · замена исправных деталей	Оптимальные операционные	Минимальные совокупные (ТСО)
Горизонт планирования	Отсутствует	Фиксированный	Краткосрочный · дни	Долгосрочный · недели и месяцы

Нюанс: PdM не отменяет регламент полностью — ППР остаётся для некритичных активов, критичное оборудование переводится на прогноз.

SOLUTION ARCHITECTURE

Архитектура платформы: четыре звена от датчика до автоматического наряда в EAM/ERP

Сквозной конвейер данных · промышленные протоколы · развёртывание без остановки производства

01 · СБОР ТЕЛЕМЕТРИИ IIoT

Датчики вибрации, температуры, давления, акустической эмиссии, тока и напряжения.

Физическое состояние узлов фиксируется в реальном времени.

02 · АГРЕГАЦИЯ И ПЕРЕДАЧА

Промышленные контроллеры (PLC) и IIoT-шлюзы передают первичные данные.

Протоколы MQTT, OPC UA, Modbus → SCADA или Data Lake.

03 · ML-АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ RUL

Детекция аномалий, классификация дефектов, расчёт остаточного ресурса.

Модели Isolation Forest, Autoencoders, RUL-прогноз в часах и циклах.

04 · ИНТЕГРАЦИЯ EAM / ERP

При критическом тренде система сама генерирует наряд на работы (Work Order).

1C:ТОИР, SAP EAM — с перечнем необходимых запчастей.

СКВОЗНОЙ КОНТУР ДАННЫХ

Датчики → MQTT / OPC UA / Modbus → SCADA · Data Lake → ML-модели → 1C:ТОИР · SAP EAM · MES

ML-ядро: от детекции аномалий до прогноза остаточного ресурса (RUL) в часах и циклах

Три класса моделей · комбинация ML и физики процессов снижает ложные срабатывания

Детекция аномалий

ISOLATION FOREST · AUTOENCODERS

Модели выявляют отклонения от нормального режима работы — без предварительной разметки всех типов дефектов.

Диагностика дефектов

КЛАССИФИКАТОРЫ ТИПА НЕИСПРАВНОСТИ

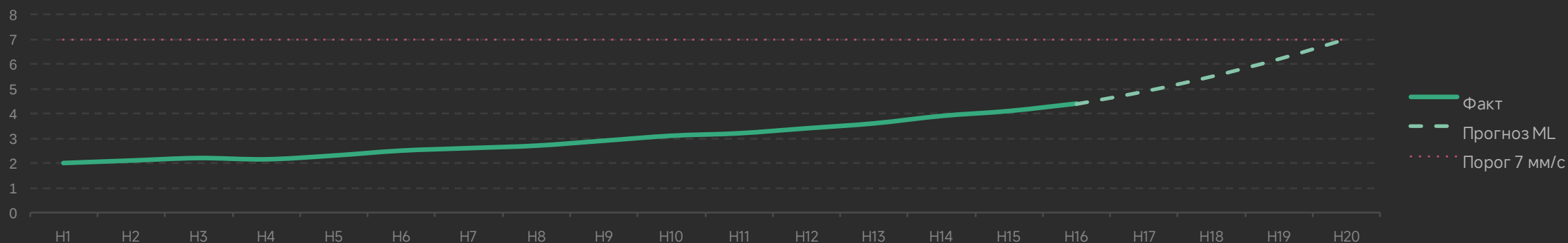
Модель определяет тип дефекта: дисбаланс вала, кавитация насоса, износ подшипника — бригада знает характер поломки заранее.

Остаточный ресурс (RUL)

REMAINING USEFUL LIFE

Прогноз времени до полного отказа узла в часах или циклах — основа долгосрочного планирования ремонтов и закупки запчастей.

Иллюстрация работы RUL: тренд виброскорости, мм/с · прогноз пересечения предельного порога (иллюстративные данные)



DIAGNOSTICS

Четыре метода диагностики закрывают ключевые классы дефектов механического и электрооборудования

Каналы сигналов платформы · справа — пример спектра вибрации с дефектными частотами подшипника

Вибродиагностика

Виброскорость, виброускорение и спектральный анализ: подшипники, редукторы, турбины — вращающиеся механизмы.

Трибодиагностика (анализ масел)

Количество и размер металлических частиц износа, вязкость и химическая деградация смазочных материалов.

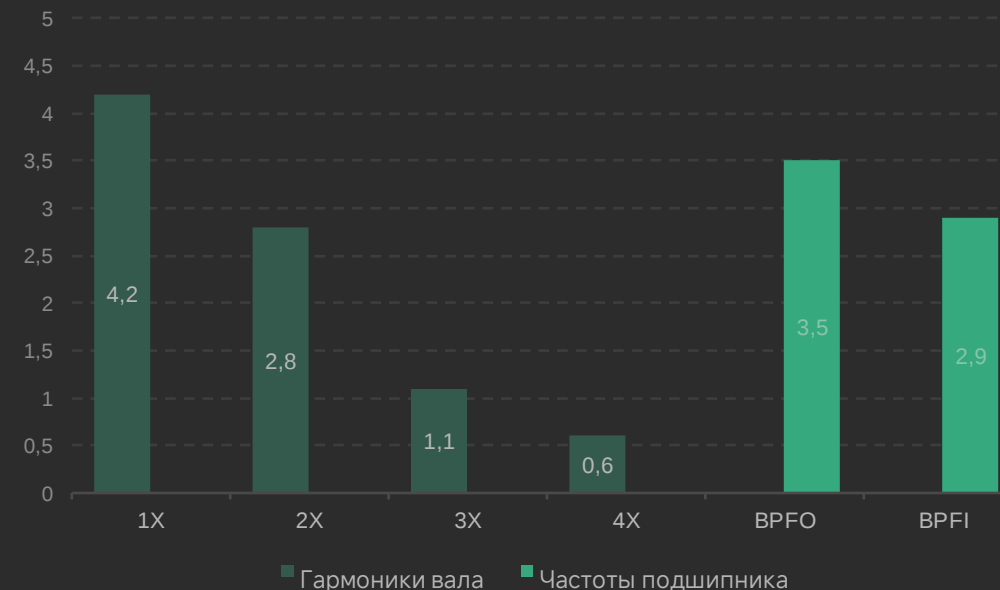
Термография

Тепловизионные матрицы выявляют перегревы в электрооборудовании, контактных соединениях и подшипниковых узлах.

Токовый подпись-анализ (MCSA)

Спектр потребляемого тока электродвигателя: повреждения ротора и статора без остановки и разборки машины.

Спектр вибрации, мм/с · иллюстративные данные



Рост амплитуд на частотах BPFO/BPFI указывает на дефект дорожек подшипника — модель фиксирует его задолго до аварии.

DEPLOYMENT · SECURITY

Развёртывание и безопасность: закрытый контур предприятия, промышленные протоколы, ролевой доступ

Два варианта развёртывания · телеметрия не покидает периметр · готовые коннекторы к АСУ ТП

ВАРИАНТЫ РАЗВЁРТЫВАНИЯ

On-Premise · закрытый контур

Серверы в периметре предприятия: данные и модели не покидают контур. Подходит для объектов с повышенными требованиями ИБ и КИИ.

Private Cloud · выделенный контур

Быстрый старт без закупки вычислительной инфраструктуры; масштабирование по мере роста парка подключённого оборудования.

ПРОТОКОЛЫ И ИНТЕГРАЦИИ

OPC UA

MQTT

Modbus

Готовые коннекторы к PLC, SCADA и MES; интеграция с 1C:TOIP и SAP EAM «из коробки».

БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ



Ролевая модель доступа (RBAC) — аналитик, механик, администратор видят только свой контур.



Шифрование телеметрии — защищённая передача от шлюза до аналитической платформы (TLS).



Аудит действий — журналирование обращений к данным и изменений настроек моделей.

Итог: платформа встраивается в существующий контур АСУ ТП и ИБ — без прокладки новых каналов наружу.

BUSINESS CASE

Экономический эффект: –35% внеплановых простоев и –20% затрат на ТОиР при +15% к ресурсу активов

Целевые показатели пилота · диапазоны по отраслевым внедрениям PdM · база — парк критического оборудования

–35%

внеплановых простоев · целевой показатель пилотного внедрения

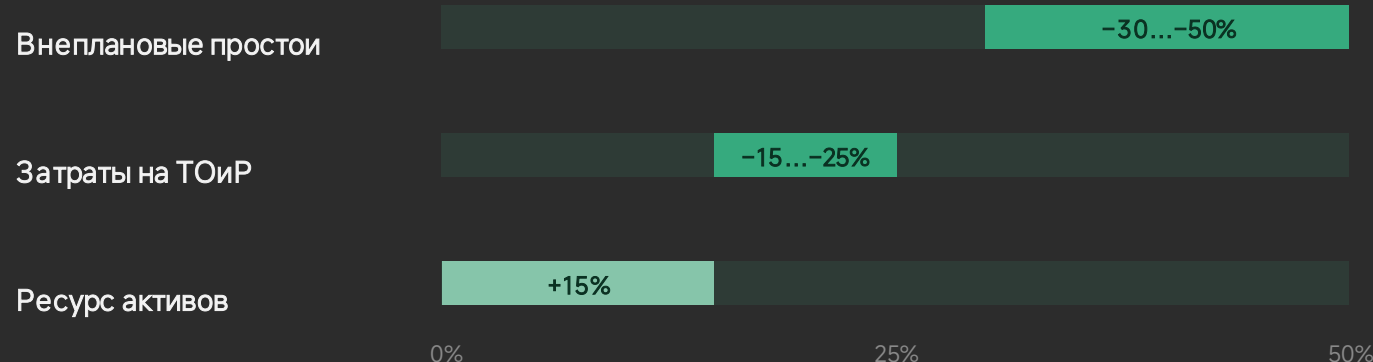
–20%

расходов на запчасти и регламентное обслуживание

+15%

к жизненному циклу критических активов

ДИАПАЗОНЫ ЭФФЕКТА PdM · % ОТ БАЗОВОГО УРОВНЯ



↗ **MTBF ↑** — растёт средняя наработка на отказ оборудования.

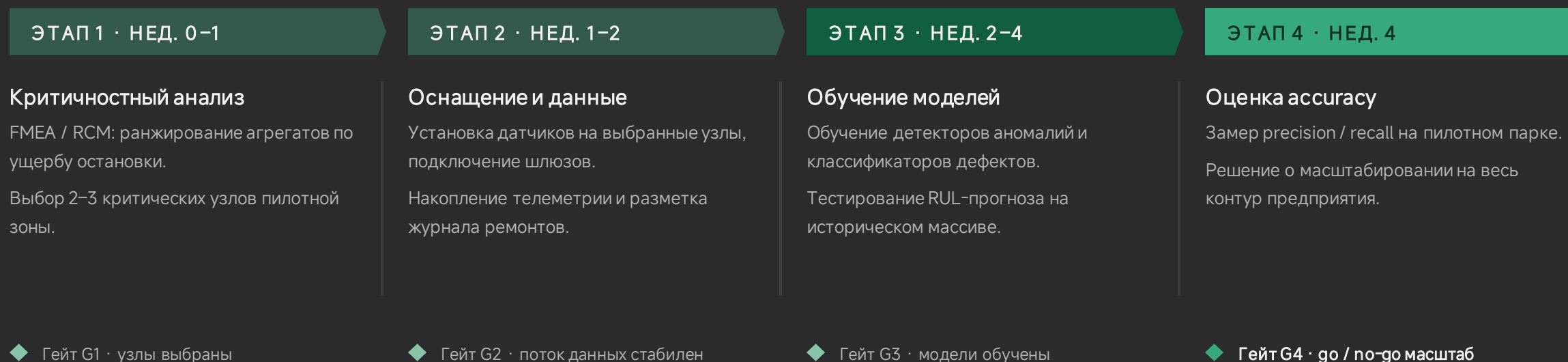
↘ **MTTR ↓** — бригада заранее знает дефект и имеет запчасти.

Механика эффекта: отказ от преждевременных замен по жёсткому регламенту ППР плюс предотвращение аварийных остановок.

PILOT ROADMAP

Дорожная карта: пилот за 30 дней — от критичностного анализа до оценки accuracy моделей

Четыре этапа · 2–3 критических узла оборудования · дальше — масштабирование на весь парк



ПОСЛЕ ПИЛОТА

Масштабирование: подключение остального критического парка, встраивание аналитической платформы в контур управления предприятием — EAM/ERP, дашборды для главного механика и техдиректора.



NEXT STEP · ДЕМОНСТРАЦИЯ

Запросите демонстрацию платформы на ваших исторических данных

Покажем детекцию аномалий, диагностику дефектов и расчёт RUL на архиве телеметрии вашего производства — до подписания контракта и установки оборудования.

КОМУ ПОДХОДИТ

Металлургия · Энергетика · Нефтегаз · Горная добыча · Непрерывное производство

Формат пилота: **30 дней** на 2–3 критических узлах оборудования

КОНТАКТ РАЗРАБОТЧИКА

[Edaconsulting.kz](https://edaconsulting.kz)

edamir2026@gmail.com

