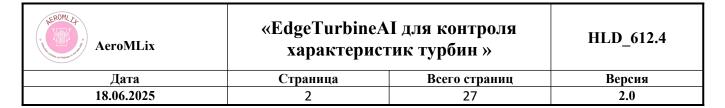
AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	1	27	2.0

«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »

Service High Level Design (HLD)

HLD_612.4

Версия: 2.0



СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕД	<u> </u> ЕНИЕ	.3
	1.1	Административная информация о документе	.3
	1.2	История изменений документа	.3
	1.3	Термины, определения и сокращения	.3
	1.4	Назначение документа	.4
	1.5	Связанные документы	.4
	1.6	Связанные услуги	.5
2	TEX	НИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	.6
3	ОПИ	ІСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ	.7
	3.1	Функциональность	.8
	3.2	Системные требования для установки	.9
	3.3	Схема решения и описание схемы	.9
	3.4	Описание системы резервного копирования	.9
4	3AT	РАТЫ НА РЕАЛИЗАЦИЮ	10
5	PEA	ЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ	11
	5.1	Стадии работ над проектом: instance – часть. Трудозатраты	l 1
	5.2	Стадии работ над проектом: SaaS – часть. Трудозатраты	13
	5.3	Ответственность заказчика	14
6	MOI	НИТОРИНГ И SL A	15

AeroMLix	U	I для контроля гик турбин »	HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	3	27	2.0

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Административная информация о документе

Должность	Подпись	Дата	ФИО
Разработано:			
Разработчик программного обеспечения сектора по разработке инновационных решений (Software Developer, Innovative Solutions Division)		10/06/202 5	Alexei Ivanov
Начальник сектора по разработке инновационных решений (Head of Innovative Solutions Division)		01/06/202 5	Olga Smirnova
Технический архитектор отдела технической разработки продуктов (Technical Architect, Product Engineering Department)		25/05/202 5	Dmitry Karpov
Согласовано:			
Руководитель дирекции сетевой инфраструктуры (Director of Network Infrastructure)		11/06/202 5	Konstantin Zakharov
Руководитель отдела по развитию продуктов (Head of Product Development Department)		12/06/202 5	Irina Gavrilova
Руководитель отдела технической разработки продуктов (Head of Technical Product Engineering Department)		13/06/202 5	Sergey Melnikov
Руководитель сектора по разработке инновационных решений (Head of Innovative Solutions Division)		14/06/202 5	Olga Smirnova
Руководитель сектора развития клиентских отношений (Head of Customer Relations Development Sector)		15/06/202 5	Andrew Tikhonov
Руководитель отдела поддержки корпоративных клиентов (Head of Corporate Customer Support Department)		15/06/202 5	Elena Chernova
Руководитель отдела управления интеллектуальными услугами (Head of Intellectual Services Management Department)		16/06/202 5	Vitaliy Gromov
Руководитель отдела информационной безопасности (Head of Information Security Department)		17/06/202 5	Natalia Sokolova
Менеджер по продуктам отдела по развитию продуктов (Product Manager, Product Development Department)		18/06/202 5	Alexey Shcherbakov
Гехнический архитектор отдела технической разработки продуктов (Technical Architect, Product Engineering Department)		18/06/202 5	Dmitry Karpov

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	4	27	2.0

1.2 История изменений документа

Дата	Версия	Автор замечания / должность	Текст замечания	Исправлено (описание исправления, место в документе)
20/05/202	V1.0	Alexei Ivanov / Software Developer	Первоначальное создание проекта (Initial draft created)	Создана структура документа и заполнен обзор системы (Created document structure and filled in system overview)
25/05/202 5	V1.1	Dmitry Karpov / Technical Architect	Отсутствуют схема архитектуры и описания интерфейсов. (Missing architecture diagram and interface descriptions)	Описания интерфейсов: Добавлены архитектура системы и внешние интерфейсы (Раздел 3.2, 3.4) (interface descriptionsAdded system architecture and external interfaces (Section 3.2, 3.4))
01/06/202	V1.2	Irina Gavrilova / Head of Product Development	Слишком общее описание использования модели машинного обучения (Too generic description of ML model usage)	Заменено конкретным вариантом использования (Раздел 4.1: «Edge ML для AvioTurbine») (Replaced with specific use-case (Section 4.1: "Edge ML for AvioTurbine"))
10/06/202	V1.3	Natalia Sokolova / Head of Information Security Department	Нет ссылок на протоколы безопасности для edge-связи (No reference to security protocols for edge communication)	Добавлена аутентификация TLS/SSL, MQTT (Раздел 5.3: Меры безопасности) (Added TLS/SSL, MQTT authentication (Section 5.3: Security Measures))
15/06/202 5	V1.4	Olga Smirnova / Head of Innovative Solutions Division	Уточнение терминологии в глоссарии (Clarify terminology in the Glossary)	Обновленный глоссарий (Приложение А) с определениями: Edge AI, вывод машинного обучения (Updated Glossary (Appendix A) with definitions: Edge AI, ML inference)
18/06/202 5	V2.0	Alexey Shcherbakov / Product Manager	Окончательный обзор — готов к подписанию (Final review — ready for sign-off)	Документ одобрен, версия помечена как 2.0 (Document approved, version marked as 2.0)

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	5	27	2.0

1.3 Термины, определения и сокращения(Glossary (Appendix A))

Название	Расшифровка	
ІоТ	Internet of Things — Интернет вещей. Сеть взаимосвязанных устройств,	
101	способных собирать и обмениваться данными.	
	Edge Computing — Вычисления на границе сети, ближе к источнику данных	
Edge	(например, на сенсорах или микроконтроллерах), снижая задержку и	
	нагрузку на облако.	
	Artificial Intelligence — Искусственный интеллект. Используется для анализа	
Al/ML	данных, предсказания аномалий и автоматических решений.	
	Machine Learning — Машинное обучение. Раздел AI, основанный на	
	обучении моделей на данных.	
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport — Лёгкий протокол обмена	
	сообщениями, часто используемый в ІоТ.	
HLD	High-Level Design — Высокоуровневое проектирование. Документ	
	описывает архитектуру системы, модули и взаимодействие.	
Dashboard	Визуальный интерфейс для отображения состояния и аналитики системы	
SLA	Service Level Agreement — Соглашение об уровне обслуживания	
MTTR	Mean Time To Repair — Среднее время восстановления	
Zabbix	Система мониторинга ІТ-инфраструктуры и сервисов	
CloudWatch	Сервис мониторинга и управления логами от AWS	
Prometheus	Система мониторинга и предупреждений с открытым исходным кодом	
Grafana	Платформа для визуализации и анализа данных мониторинга	
Sensor Node	Узел (устройство), оснащённый датчиками, собирающий физические	
Schsol Node	параметры (например, вибрацию) и передающий данные.	
Turbine	Турбина авиационного двигателя — ключевой объект мониторинга в данной	
Turonic	системе.	
Alert	Сигнал тревоги или уведомление, срабатывающее при обнаружении	
Alcit	аномалии.	
Telemetry	Автоматическая передача измеренных данных от удалённых объектов в	
Telemetry	систему мониторинга.	
Inference	Процесс применения обученной МС-модели к новым входным данным для	
micrence	получения результата.	
Gateway	Сетевое устройство, соединяющее локальные ІоТ-устройства с облаком или	
Guieway	центральным сервером.	
Cloud Platform	Облачная инфраструктура, на которой хранятся и обрабатываются данные с	
	устройств.	
Data Pipeline	Последовательность процессов по сбору, обработке, передаче и хранению	

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	6	27	2.0

	данных.
Time-Series Data	Данные, собранные во времени с регулярными или нерегулярными
Time Series Data	интервалами (например, вибрация, температура)
Threshold	Пороговое значение параметра, при превышении которого генерируется
Timeshold	событие или тревога.
Firmware	Программное обеспечение, встроенное в микроконтроллер или IoT-
1 mmware	устройство.
OTA	Over-the-Air — технология удалённого обновления прошивки устройств.
Uptime	Время непрерывной работы системы без сбоев.
Downtime	Период, в течение которого система недоступна или не функционирует.
Anomaly Detection	Методы автоматического выявления отклонений от нормального поведения
Anomary Detection	системы или устройства.
Predictive Maintenance	Предиктивное (прогнозирующее) техническое обслуживание на основе
Treatetre triamitenance	анализа телеметрии и ИИ.
Latency	Задержка при передаче данных от устройства до точки обработки.
Reliability	Надёжность системы — её способность функционировать без сбоев в
Rendomity	течение заданного времени.
Redundancy	Избыточность, обеспечивающая устойчивость к сбоям (например,
reduitation	резервный канал передачи).
Scalability	Масштабируемость — способность системы расширяться по количеству
	устройств или объёму данных.
Security Policy	Набор правил, регламентирующих безопасный доступ и обработку данных в
системе.	
Authentication	Проверка подлинности пользователя или устройства.
Authorization	Определение прав доступа после успешной аутентификации.

1.4 Назначение документа

В HLD описывается высокоуровневое представление системы **EdgeTurbineAI**, предназначенной для интеллектуального мониторинга и анализа характеристик работы авиационных турбин с использованием технологий IoT, машинного обучения и вычислений на периферии (Edge Computing). Документ предназначен для технических архитекторов, разработчиков, специалистов по безопасности, инженеров по сопровождению и всех участников проекта, принимающих участие в проектировании, разработке и эксплуатации системы.

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	7	27	2.0

В текущей версии документа описывается сервис **EdgeTurbineAI Monitoring Core Service**, обеспечивающий сбор, предобработку, анализ и передачу телеметрических данных (вибрации, температура, обороты и пр.) с пограничных устройств (edge nodes) в централизованную облачную систему для дальнейшей аналитики и визуализации.

Назначение сервиса — обеспечить устойчивую, масштабируемую и безопасную инфраструктуру для контроля состояния авиационных турбин в режиме, близком к реальному времени, с возможностью раннего выявления отклонений и потенциальных неисправностей.

Сервис предлагает функционал, позволяющий:

- Получать и обрабатывать телеметрические данные с периферийных устройств;
- Выполнять локальную ML-инференцию (на edge-устройствах) для предварительной фильтрации и оценки рисков;
- Передавать данные в облако с использованием защищённых протоколов (MQTT/TLS);
- Формировать алерты при обнаружении аномалий в рабочих характеристиках турбины;
- Поддерживать обновление прошивки устройств по воздуху (ОТА);
- Визуализировать данные и алерты через центральную панель мониторинга.

1.5 Связанные документы

Номер документа	Название документа	Примечание / Ссылка
EEE P2413I	"Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)"	Фундаментальная архитектура IoT https://www.raypcb.com/ieee-iot-pcb/? utm_source=chatgpt.com
ISO/IEC 30141	"Internet of Things — Reference Architecture"	Международный референс ІоТ
ISO/IEC 27040 (или часть ISO/IEC 27400-27404)	"IoT security and privacy — Guidelines"	Набор рекомендаций по безопасности
IEC 62443	"Security for industrial automation and control systems	Промышленный стандарт безопасного IoT
IEEE P1451.0 / P1451.1.6	"Sensor network standards and security framework"	Безопасность сенсорных сетей ІоТ
NASA Technical Paper	An Analysis of Barriers Preventing the Widespread Adoption of Predictive and Prescriptive Maintenance in Aviation	Анализ регуляторных и технических барьеров

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	8	27	2.0

(IPTC 2020, Patrick Bangert)	Predictive Maintenance for Gas Turbines	Практика предиктивного обслуживания газовых турбин
	Design of a Predictive Maintenance System for Navy Jet Engines (George Mason University, 2022)	Концепт PdM для авиационных двигателей
S4000P	"International specification for developing and continuously improving preventive maintenance"	Стандарт по оптимизации обслуживания в авиации

1.6 Связанные услуги

Nº	Код услуги	Наименование услуги
1	SVC-IOT-001	Услуга сбора и агрегации телеметрических данных с edge-устройств
2	SVC-AI-002	Услуга анализа и предиктивного моделирования (AI/ML) для диагностики состояния турбин
3	SVC-NET-003	Услуга управления IoT-сетью и шлюзами (Edge Gateway Management)
4	SVC-OTA- 004	Услуга удалённого обновления прошивок (Firmware OTA Update)
5	SVC-MON- 005	Услуга визуализации данных и алертов через мониторинговую платформу
6	SVC-SEC-006	Услуга обеспечения безопасности IoT-инфраструктуры (шифрование, VPN, авторизация)
7	SVC-DATA- 007	Услуга долговременного хранения и репликации телеметрических данных
8	SVC-CUST- 008	Услуга технической поддержки для корпоративных клиентов
9	SVC-API-009	Услуга предоставления АРІ-интерфейсов к аналитике и алертам
10	SVC-QA-010	Услуга тестирования и сертификации периферийных устройств

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	9	27	2.0

2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для реализации клиентских проектов в рамках системы **EdgeTurbineAI** необходимо разработать документ, описывающий типовые варианты проектирования, развёртывания и обслуживания решений по мониторингу авиационных турбин с использованием IoT-устройств, edge-аналитики и облачных платформ.

Данный документ формирует высокоуровневое представление системы, а также описывает ключевые компоненты реализации, схемы взаимодействия, ответственность подразделений и условия предоставления поддержки.

2.1 Реализуемые функции – подробнее смотрите раздел 3.1

- Сбор телеметрии (вибрации, температура, давление, обороты) с edge-устройств вблизи турбин;
- Предобработка и локальная ML-инференция для предварительной фильтрации данных;
- Передача данных в защищённом виде (MQTT over TLS) в центральную облачную платформу;
- Обнаружение аномалий в рабочем режиме турбин (AI/ML);
- Генерация и передача алертов;
- Обновление прошивок edge-устройств (OTA);
- Визуализация данных, журналов и уведомлений;
- Экспорт данных через REST API и отчётность.

2.2 Спецификации и лицензирование

Компонент	Спецификация	Лицензирование
Edge-устройство	ARM64 CPU, 2–4 ядра, 2–8 ГБ RAM, накопитель от 16 ГБ, Linux (Yocto, Ubuntu)	GPL / проприетарное ПО
OC и Runtime	AWS IoT Greengrass v2, Docker runtime	AWS Free Tier / AWS Greengrass SLA
Протоколы	MQTT (TLS 1.2+), HTTPS REST API, ОТА обновления через HTTPS	Open Source / AWS SDK
Облачное хранилище	Amazon S3, Amazon Timestream	По тарифу AWS
Обработка данных	Apache Flink, Amazon Kinesis	Apache 2.0 / AWS

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	10	27	2.0

Компонент	Спецификация	Лицензирование
ML-инференс	AWS SageMaker Edge, TensorFlow Lite	AWS / Apache 2.0
Аналитика и BI	Amazon Athena, QuickSight	AWS
Интерфейсы	API Gateway, Lambda	AWS

2.3 Техническая схема реализации- подробнее смотрите раздел 3.3

(Вставляется адаптированная схема, на основе AWS Connected Aircraft — ранее согласованная)

 Протоколы: MQTT over TLS, HTTPS (REST), OTA Updates

№ Каналы связи: Wi-Fi, Ethernet, LTE/5G

1 Точки интеграции:

- Edge → Cloud (S3, Flink)
- Cloud → Analytics (Athena, QuickSight)
- Cloud → External APIs
- OTA: Cloud → Edge (SageMaker Edge)

2.4 Трудозатраты участвующих подразделений - подробнее смотрите раздел 5.1

Приблизительно:

Подразделение	Роль		Трудозатраты (чел./дней)
Разработка Embedded ПО	Поддержка датчиков, интеграция с Greengrass	25	
DevOps / AWS-инфраструктура	Настройка S3, Kinesis, Flink, OTA, IAM	15	
Data Science / ML	Подготовка моделей, тестирование, загрузка в Greengrass	20	
Разработка АРІ / интерфейсов	REST API, Dashboard (QuickSight), документация	10	
Отдел поддержки / сопровождения	Мониторинг, диагностика, управление обновлениями	10	

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	11	27	2.0

2.5 Условия оказания технической поддержки / Support Terms - подробнее смотрите раздел 7

- **Время реакции**: 8×5 (в рабочие дни) или 24×7 по SLA
- Каналы связи: Email, Ticketing System, Emergency Hotline
- Поддерживаемые версии компонентов:
 - AWS Greengrass v2.6+
 - MQTT SDKs \geq v1.2
 - TensorFlow Lite v2.5+
- Сроки поддержки моделей ML: Обновление моделей не реже 1 раза в 3 месяца.
- Обслуживание и обновления:
 - ОТА-обновления через защищённый канал
 - Журналирование и аудит событий (CloudWatch)

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	12	27	2.0

3 💸 ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Общее описание

EdgeTurbineAI представляет собой высокотехнологичную IoT-платформу, ориентированную на контроль и прогнозирование технического состояния авиационных турбин в составе решений «подключённый самолёт» (Connected Aircraft). Архитектура решения базируется на референсной модели AWS Connected Aircraft Solution и использует передовые облачные и пограничные (edge) технологии.

Датчики, установленные на авиационных двигателях (вибрация, температура, давление, газоанализ), собирают телеметрию во время полёта. Эти данные обрабатываются в реальном времени на edge-устройстве с использованием AWS IoT Greengrass и предварительно обученных

моделей машинного обучения (МL-инференс). Обработка на борту позволяет выявлять аномалии и отклонения в режиме реального времени, минимизируя задержки.

После завершения полёта полные данные выгружаются в облачное хранилище Amazon S3, где они индексируются и анализируются с помощью Amazon Athena и Apache Flink. Инженерные и аналитические команды получают доступ к отчётам и визуализациям через панели Amazon QuickSight. Система также поддерживает загрузку новых ML-моделей и обновлений ПО через OTA (Over-The-Air), а также экспорт обезличенных данных для партнёров через AWS Data Exchange.

EdgeTurbineAI обеспечивает надёжный мониторинг состояния флота турбин, автоматизированную аналитику, снижение затрат на техническое обслуживание и повышение безопасности полётов за счёт предиктивного подхода к диагностике.

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	13 27		2.0

3.1 Функциональность / Functionality

Функциональные возможности системы EdgeTurbineAI:

- Сбор телеметрии с авиационных турбин получение данных с вибрационных, температурных, давленческих и акустических сенсоров в режиме реального времени.
- Предобработка и локальный анализ на Edge-устройстве фильтрация, агрегация, нормализация и ML-инференс на борту с использованием AWS IoT Greengrass и TensorFlow Lite.
- Защищённая передача данных в облако использование протоколов MQTT over TLS и HTTPS REST API для безопасной доставки данных.
- Облачная аналитика и хранение автоматическая передача в Amazon S3 и обработка потоков с помощью Amazon Kinesis и Apache Flink.
- Предиктивная диагностика и выявление аномалий применение обученных моделей для анализа данных и определения отклонений в работе турбин.
- Визуализация и отчётность доступ к дашбордам (Amazon QuickSight), отчётам и APIинтерфейсам для внешних систем.
- Управление и обновление моделей и ПО (ОТА) централизованное обновление компонентов системы, включая прошивки и модели машинного обучения.
- Интеграция с внешними сервисами подключение к АРІ корпоративных решений, шлюзам авиакомпаний, провайдерам технического обслуживания.
- Журналирование и аудит хранение логов, мониторинг активности, контроль доступа и оповещения.
- Поддержка нескольких профилей эксплуатации адаптация функционала в зависимости от типа турбины, режима полёта и модели обслуживания.

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	14	27	2.0

3.2 Системные требования для развертывания системы

Системные требования к виртуальной машине (ВМ):

- Процессор: четырёхъядерный, тактовая частота не ниже 2.2 ГГц
- Оперативная память: не менее 16 ГБ
- Дисковое пространство: **100 ГБ SSD**, с возможностью расширения (для логов, моделей и буферов)
- Сетевая подсистема: поддержка Ethernet 1 Гбит/с или LTE/5G-модем (опционально)
- Операционная система: **Ubuntu Server 22.04 LTS** или совместимая (поддержка Docker и AWS CLI)
- Поддержка виртуализации: KVM, VMware, VirtualBox, AWS EC2 (x86 64 / ARM64)

Требования к программному обеспечению:

- **Docker** v24.0+
- AWS CLI v2.14+
- AWS IoT Greengrass v2.10+
- Python 3.11+ (для скриптов мониторинга и ML-инференса)
- **Node.js** (опционально для интерфейсов и ОТА-хендлеров)
- **OpenJDK 17**+ (если планируется обработка через Flink локально)
- Поддержка протоколов MQTT (TLS), HTTPS, OTA
- SSH-доступ с настройкой ключей доступа и брандмауэра

Требования к оборудованию:

- Edge-устройство класса Jetson Nano / Raspberry Pi 4 / AWS Snowcone / Intel NUC c:
 - Поддержкой AI-инференса (GPU или NPU)
 - Подключением до 6 датчиков (через I2C, SPI, UART)
 - Местом хранения: SD-карта или eMMC от 32 ГБ
 - Рабочим диапазоном температур: от -40 до +85°C (если для эксплуатации на борту)
 - Датчики:
 - Вибрационные (ріего или MEMS)
 - Температурные (термопары, RTD)
 - Давления (барометрические / воздушные)

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	15	27	2.0

- Дополнительно: акселерометры, микрофоны, датчики газа
 - Модули связи:
- Ethernet / Wi-Fi / LTE / 5G
- Поддержка SIM-карт для ОТА через сотовые сети
 - Источник питания: стабилизированный 5V/12V, резервное питание (UPS или батарея)

3.3 Схема решения и описание схемы

Схема предусматривает работу с **многокомпонентной IoT-архитектурой**, охватывающей как бортовую часть (на уровне турбины), так и облачные вычисления. Архитектура построена по принципу **Edge-to-Cloud**, обеспечивая локальную обработку, надёжную передачу данных и централизованную аналитику.

Л Составные компоненты:

1. Сенсорный узел (Sensor Node)

Сбор данных с вибрационных, температурных, акустических и давленческих датчиков, установленных на турбинах.

2. Edge-устройство (Edge Gateway)

Предобработка, агрегация, локальная ML-инференция. Запуск AWS Greengrass, MQTT-брокера, шифрование и буферизация.

3. MQTT Gateway / Cloud Broker

Передача сообщений с edge-устройств в облако через MQTT over TLS. Возможна работа через прокси или спутниковые каналы.

4. Облачная инфраструктура (AWS Cloud Services)

- Amazon S3 долговременное хранение "сырых" и агрегированных данных
- Amazon Kinesis / Flink потоковая аналитика
- AWS SageMaker обучение и деплой моделей
- Amazon Timestream временные ряды
- AWS Lambda / API Gateway бизнес-логика и интеграции

5. AI Engine

Обнаружение аномалий, тренды, предиктивное обслуживание турбин. Построение прогностических моделей.

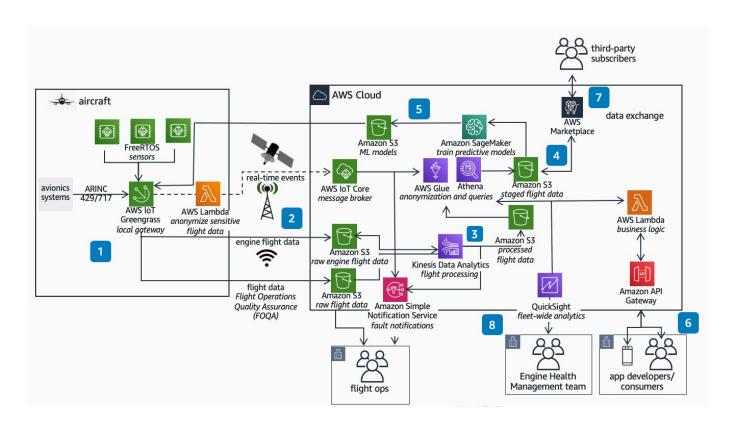
AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Версия	
18.06.2025	16	27	2.0

6. Визуализация и доступ (Dashboard / API)

- Amazon QuickSight ВІ-интерфейс
- REST API доступ для внешних платформ
- IoT Device Shadow синхронизация состояния устройств

🕰 Каналы связи:

- Wi-Fi / Ethernet внутри борта или ангара
- LTE / 5G / Satellite внешняя отправка при нахождении в сети
- OTA (Over-the-Air) обновление моделей и ПО через защищённые HTTPS-каналы



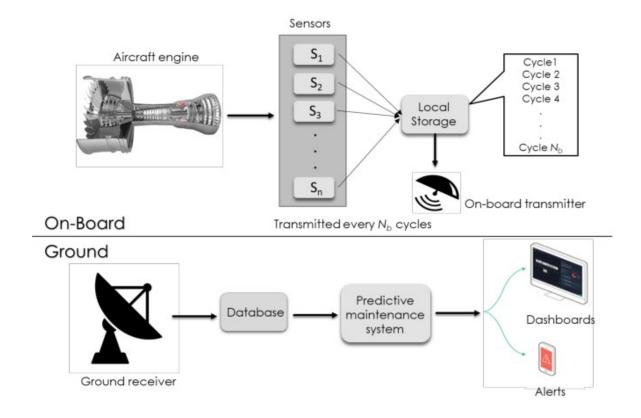
[Sensor Node] \rightarrow [Edge Gateway] \rightarrow [MQTT Broker] \rightarrow [AWS Cloud Services] \rightarrow [ML Engine / BI Dashboard]

Протоколы: MQTT (TLS 1.2+), HTTPS REST, OTA via HTTPS

Безопасность: TLS, IAM, Device Certificates, Role-based Access Control

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	17	27	2.0

Упрощенная схема:



AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	18 27		2.0

3.4 Описание системы резервного копирования/ Backup Strategy Description

Отказоустойчивость виртуальной машины и полное копирование, включая установленный сервер, конфигурацию и пользовательские данные, обеспечиваются согласно регламенту AWS Backup и политике Disaster Recovery корпоративной инфраструктуры AeroMLix.

Создание резервных копий для виртуальной машины:

- Резервное копирование производится по расписанию: ежедневно в 03:00 UTC, с недельной ротацией и ежемесячным архивом.
- Используется AWS Backup, привязанный к политике Lifecycle Management:
 - Ежедневные инкрементальные копии хранятся 7 дней
 - Полные еженедельные копии хранятся 4 недели
 - Ежемесячные архивные копии хранятся 12 месяцев

Прерывание сервиса во время бекапирования:

- Сервис не прерывается: применяется горячее резервное копирование (snapshot) средствами гипервизора или облачного провайдера (например, Amazon EC2 с поддержкой EBS snapshots).
- Обновления конфигурации и критические операции (например, ОТА или миграция моделей) приостанавливаются во время резервного копирования для обеспечения консистентности.

🖸 Для обеспечения непрерывности работы сервиса будет использоваться стратегия:

- Active-Passive Failover: отказоустойчивая архитектура, при которой вторичная резервная инстанция развёрнута в смежном регионе (или зоне доступности) и активируется в случае сбоя основной.
- Поддержка автоматического восстановления (Auto Recovery) ЕС2-инстансов при критическом сбое.
- Использование **Device Shadow** и **Buffering on Edge** на стороне оборудования для предотвращения потери данных при потере связи с облаком.

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	19	27	2.0

🗱 Параметры восстановления

Показатель	Значение	Комментарий
RPO (Recovery Point Objective)	≤ 15 минут	Используется инкрементальное резервное копирование с буферизацией на Edge- устройстве
RTO (Recovery Time Objective)	≤ 1 ча с	Перезапуск из snapshot в соседней зоне доступности (AZ)
Backup Frequency	Каждые 24 часа (инкрементально), еженедельно – полное	Автоматическая ротация и проверка консистентности
Storage Class	Amazon S3 Standard-Infrequent Access / Glacier	Архивные копии для долгосрочного хранения
Метод копирования данных Edge→Cloud	MQTT буфер + HTTPS fallback	Надёжная передача и повторная отправка при обрыве связи
Поддержка ОТА- откатов	Да, версии конфигураций и моделей хранятся	Возможен возврат к предыдущей версии по команде

● Карта зон восстановления (пример на AWS):

Компонент	Основной регион	Резервный регион	Механизм синхронизации
VM-инстансы	eu-central-1 (Франкфурт)	eu-west-1 (Ирландия)	Snapshots через AWS Backup
S3-хранилище	eu-central-1	eu-west-1	Cross-Region Replication
Device Shadows	eu-central-1	_	Централизованно в AWS IoT
Edge-данные	Локально на устройстве	_	Буфер + повторная доставка

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	20	27	2.0

4 ЗАТРАТЫ НА РЕАЛИЗАЦИЮ

Описание

Затраты на реализацию системы **EdgeTurbineAI** включают расходы на оборудование, облачные и локальные ресурсы, лицензирование программного обеспечения, трудозатраты персонала и затраты на техническую поддержку.

Таблица предварительных затрат (в EUR)

Категория затрат	Кол-во / объем	Ед. цена (EUR)	Сумма (EUR)	Комментарий
Edge-устройства (NVIDIA Jetson)	5 шт.	360	1,800	Предобработка и локальная ML- инференция
Сенсоры (вибро, температура и пр.)	30 шт.	40	1,200	Датчики на 5 двигателях
LTE-модемы + антенны	5 комплектов	110	550	OTA-обновление и связь в удалённых точках
BM / EC2 (4vCPU, 16GB RAM, 100GB)	12 мес.	85 / мес	1,020	Облачный хостинг (24/7)
Хранилище (S3 + Glacier)	1 ТБ	0.023 / мес	276	Годовой расчёт хранения с резервированием
AWS IoT Core / Lambda / Kinesis		_	960	Годовая оценка стоимости облачных функций
Разработка ПО (в т.ч. ML- модели)	2 чел. × 3 мес.	4,500 / мес	27,000	Включает РоС, АРІ, ОТА, визуализацию
Документация, обучение	1 проект	2,000	2,000	Admin/User Manual + поддержка внедрения
Техническая поддержка (12 мес.)	1 проект	3,600	3,600	L2/L3 + мониторинг состояния системы

Итого:

EUR 38,406 (≈ USD 41,750 no κypcy 1 EUR = 1.087 USD)

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	21	27	2.0

5 РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ

Данная система разворачивается в гибридной инфраструктуре, включающей:

- бортовое оборудование (Edge-устройства) на авиационных двигателях, и
- облачную платформу Amazon Web Services (AWS), используемую для сбора, хранения, анализа и визуализации данных.

Исходя из этого, ниже описаны две ключевые категории работ:

1) Разовое разворачивание инстанса в конкретной среде эксплуатации (аэродром, ангар, испытательный стенд, авиасимулятор)

Включает:

- подготовку оборудования (датчики, шлюзы, питание);
- установку программного обеспечения;
- начальную конфигурацию (сертификация устройств, параметры MQTT, подключение к облаку);
- проверку связи и сквозной диагностики;
- регистрацию устройства в облачной системе и системе мониторинга.

Подробнее см. в разделе П5.1: Стадии и шаги развёртывания.

2) Текущая эксплуатация и сопровождение (по модели SaaS / IoTaaS)

Включает:

- регулярные обновления ПО через ОТА;
- техническую и аналитическую поддержку;
- ретроспективный анализ инцидентов;
- масштабирование (добавление новых устройств и точек сбора данных);
- управление конфигурациями и интеграцией с внешними API.

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница Всего страниц		Версия
18.06.2025	22 27		2.0

5.1 Стадии работ над проектом: instance – часть. Трудозатраты

№	Выполняемая работа	Ответственное подразделение	Трудозатраты (чел часы)
1	Проектно-изыскательская работа		
1.1	Формирование требований к ресурсам ВМ	Архитектурный отдел	4
1.2	Формирование требований к сетевой инфраструктуре	Сетевой инженерный сектор	3
1.3	Выделение ресурсов под размещаемую систему	Отдел DevOps и виртуализации	2
2	Инсталляционные работы		
2.1	Организация удалённого доступа к вычислительным ресурсам	Отдел поддержки инфраструктуры	2
2.3	Установка ОС	Системные администраторы	2
2.4	Установка Docker-окружения	DevOps	2
2.5	Развёртывание компонентов системы (внутри Docker)	DevOps + Разработчики	5
3	Пусконаладочные работы		
3.1	Организация доступа к системе мониторинга Zabbix	Инженеры мониторинга	2
3.2	Настройка генерации Zabbix	Инженеры мониторинга	2
3.3	Настройка шаблонов, триггеров, узлов связи	Инженеры мониторинга	3
3.4	Настройка карточки объекта в ИС	Тех. архитектор / Аналитики	1
3.5	Настройка схемы БД	Разработчики	2
3.6	Первоначальная настройка компонентов (загрузка справочников и т.д.)	Разработчики	3
3.7	Создание учётной записи мастер-администратора	Администраторы системы	1

AeroMLix		«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »	
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	23	27	2.0

№	Выполняемая работа	Ответственное подразделение	Трудозатраты (чел часы)
3.8	Реализация интеграций (по запросу клиента)	Разработчики + API- инженеры	5
3.9	Проверка работы инсталлированной системы	QA-инженеры	3
3.10	Настройка правил на FW	Сетевые администраторы	2
4	Приемосдаточные испытания		
4.1	Проверка доступа и функциональности администратора	QА-инженеры	2
4.2	Проверка прохождения тест-сценариев	QA-инженеры	3
4.3	Проверка успешности интеграций	QA + Dev	2
5	Завершение построения системы		
5.1	Подписание акта приёмки услуги	Менеджер проекта + Клиент	1
6	Эксплуатация системы (ежемесячно / ежегодно)		
6.1	Обновление ОС	Системные администраторы	1
6.2	Обновление компонентов системы	DevOps	2
6.3	Мониторинг работоспособности ОС	Служба мониторинга	2
6.4	Мониторинг компонентов системы	Служба мониторинга	2
6.5	Продление лицензии на поддержку RHEL Server	IT Procurement	1
6.6	Продление SSL сертификатов	Сетевой администратор / DevOps	1
6.7	Поддержка виртуализации и бэкапирования	Отдел виртуализации	2
6.8	Решение проблем с FW	Сетевой инженер	1
6.9	Реагирование на события от сервера (use cases)	DCO / NOC	3
6.10	Выделение / обновление виртуальных ресурсов	DevOps / Admin	2
6.11	Обработка событий безопасности	Инфобез / SOC	3

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	24	27	2.0

Общая оценка трудозатрат на развёртывание одного инстанса (без учёта эксплуатации): **~60 человеко-часов**

5.2 Ответственность сторон

Сторона	Область ответственности	Описание
Разработчик решения (AeroMLix R&D)	Разработка, развёртывание и сопровождение IoT-системы	— Проектирование архитектуры решения (Edge + Cloud) — Разработка компонентов (датчики, прошивки, шлюзы, облачные модули, АІ-аналитика) — Проведение инсталляционных и пусконаладочных работ — Обновление и сопровождение программных компонентов
Технический интегратор / подрядчик	Подключение к инфраструктуре заказчика	— Организация доступа к вычислительным ресурсам — Настройка сетевых параметров, VLAN, VPN — Внедрение мониторинга и резервного копирования
Клиент / оператор авиапарка	Эксплуатация и предоставление доступа	— Предоставление доступа к объектам установки (двигатели, лаборатории) — Назначение ответственного администратора системы — Участие в приёмке и подписании актов — Обеспечение соблюдения условий SLA
Облачный провайдер (AWS / Azure)	Инфраструктура и хостинг	— Предоставление облачных ресурсов для хранения и обработки данных — Обеспечение отказоустойчивости, масштабируемости — Гарантированное выполнение SLA по доступности
Отдел информационной безопасности (InfoSec)	Безопасность системы и данных	— Проведение аудита архитектуры — Настройка безопасных каналов передачи данных (TLS, VPN) — Мониторинг инцидентов безопасности и реагирование
Служба поддержки / NOC	Мониторинг и реагирование	— Непрерывный мониторинг работоспособности компонентов — Реагирование на события и инциденты — Предоставление отчётности и отчётов по SLA

Примечание: Ответственности фиксируются в техническом соглашении и могут уточняться в рамках Service Level Agreement (SLA) и Operational Level Agreement (OLA).

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	25	27	2.0

6 МОНИТОРИНГ

Мониторинг производится с помощью:

Zabbix Enterprise Monitoring Platform, развернутой в облачном и edge-сегменте. Дополнительно используются встроенные средства AWS (CloudWatch), а также Prometheus + Grafana для аналитики ИИ-модуля.

Шаблон мониторинга: 1 – Edge-устройства и сенсорные узлы:

Тест	Тип теста	Условие fail	Период проверки
Ping до Edge-устройства	Network	Потеря 3 из 3 пакетов	Каждые 30 секунд
Температура контроллера	SNMP/Agent	> 85°C	Каждые 60 секунд
Доступность МОТТ-порта	TCP Port Check	Нет подключения к порту 1883	Каждые 60 секунд
Проверка частоты публикации телеметрии	Zabbix Custom Trigger	Нет сообщений > 5 минут	Каждые 60 секунд
Связь с датчиком вибрации	Serial/Bluetooth check	Нет ответа от датчика > 2 минут	Каждые 60 секунд

Шаблон мониторинга: 2 – Облачные компоненты (Cloud Broker, AI Engine) :

Тест	Тип теста	Условие fail	Период проверки
Доступность REST API	HTTP 200 Check	Код ответа не 200	Каждые 60 секунд
Утилизация CPU облачного сервера	CloudWatch Alarm	> 80% в течение 5 минут	Каждые 60 секунд
Задержка входящих MQTT- сообщений	AI Engine Metric	> 3 секунд	Каждые 30 секунд
Обновление AI-моделей	Cron/Log Monitor	Модель не обновлялась > 7 дней	Ежедневно
Сбой интеграции с Dashboard	Prometheus AlertRule	Нет данных на дашборде > 2 минуты	Каждые 15 секунд

AeroMLix	«EdgeTurbineAI для контроля характеристик турбин »		HLD_612.4
Дата	Страница	Всего страниц	Версия
18.06.2025	26	27	2.0

7. СОГЛАШЕНИЕ ОБ УРОВНЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ (SLA)

7.1 Цель SLA

Данное соглашение определяет уровни качества и доступности сервиса **EdgeTurbineAI**, обязательства сторон по обеспечению непрерывной работы, а также порядок взаимодействия в случае инцидентов.

7.2 Область применения

SLA охватывает все компоненты системы: edge-устройства, сеть передачи данных, облачные сервисы, аналитические и визуализационные модули.

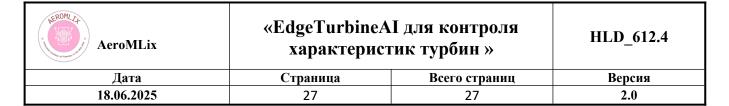
7.3 Уровни сервиса и показатели

Показатель	Цель (целевой уровень)	Метод измерения	Период мониторинга
Доступность облачного АРІ	≥ 99.9%	Мониторинг НТТР-запросов	Месячный отчет
Доступность MQTT-брокера	≥ 99.95%	Мониторинг подключения по MQTT	Месячный отчет
Время реакции на критические инциденты	≤ 30 минут	Время от регистрации инцидента до начала реакции	Время события
Время восстановления после сбоя	≤ 2 часа	Время до полной работоспособности	Время события
Время обновления данных на дашборде	≤ 60 секунд	Латентность обновления данных	Постоянный мониторинг

7.4 Обязанности сторон

• Поставщик услуги (AeroMLix):

- Обеспечить бесперебойную работу и поддержку системы согласно указанным уровням SLA.
- Оперативно уведомлять клиента о плановых работах и внеплановых инцидентах.
- Выполнять регулярное обновление и обслуживание программного обеспечения и оборудования.
- Предоставлять отчеты о состоянии системы и выполнении SLA.



• Клиент:

- Обеспечить надлежащие условия эксплуатации оборудования и доступ к объектам.
- Своевременно информировать поставщика о выявленных проблемах и инцидентах.
- Соблюдать рекомендации и требования безопасности.
- Обеспечивать доступ к сетевой инфраструктуре, необходимой для работы системы.

7.5 Процедура эскалации инцидентов

- 1. Регистрация инцидента службой поддержки клиента.
- 2. Квалификация и приоритизация инцидента службой поддержки AeroMLix.
- 3. Начало работ по устранению в течение оговоренного времени реакции.
- 4. Эскалация в вышестоящие уровни поддержки при необходимости.
- 5. Информирование клиента о ходе работ и итогах устранения.

7.6 Исключения

- Время простоя, вызванное форс-мажорными обстоятельствами (стихийные бедствия, действия третьих лиц).
- Плановые работы, заранее согласованные с клиентом.
- Нарушения, вызванные действиями клиента или оборудования, не предоставленного поставщиком.

7.7 Дополнительно

- SLA может быть пересмотрено по согласованию сторон.
- Все споры разрешаются путем переговоров, при необходимости в судебном порядке.