Функционально-технические требования

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ”

Версия: 1.0

Ответственный:

г. Сочи 26.08.2025 г

# Оглавление

[**Оглавление 2**](#_rp1aby16slt0)

[**Введение 3**](#_3wym6oj2ct8)

[**1. Сокращения, термины и описания дефектов 4**](#_xdc1lhyuann4)

[**2. Бизнес-требования 7**](#_3w4edp6fvq3a)

[**3. Функциональные требования 8**](#_xd8w3oklyy8q)

[3.1. Пользовательский интерфейс 8](#_4o8urin9olrf)

[Общие требования 8](#_b96lecwvd4ll)

[Авторизация 8](#_ccd9gqlbagao)

[Раздел Двигатели 8](#_3vtnl1nwlg2o)

[Страница Диагностика 8](#_d2ena9l7xun9)

[Раздел Управление доступом 9](#_udopfryimdpc)

[3.2. Модуль сбора данных 9](#_exvyhvrvq5s0)

[3.3. Модуль анализа и ML 9](#_ntbct6tbdc1c)

[3.4. Интеграция и API 9](#_7qekkkxnypbv)

[3.5. Ролевая модель 9](#_5z1ik87decgu)

[3.6. Объектная модель 9](#_1akasdls4ux4)

[**4. Нефункциональные требования 12**](#_17l0dlv8errm)

[4.1. Производительность 12](#_1qj9mgsgx4p9)

[4.2. Надежность 12](#_7rsxh5jqepus)

[4.3. Требования к безопасности 12](#_kc7iqxne66bp)

[4.4. Требования к инфраструктуре 12](#_cfvhxt4todmx)

[**5. Архитектура решения 13**](#_cqv4vig4s4pu)

[5.1. Микросервисная архитектура 13](#_p1osytfyedf7)

[5.2. Технологический стек 13](#_wovuuoplg6ts)

[**6. Критерии оценки эффективности 14**](#_698vf7mejyni)

[6.1. Технические критерии 14](#_kz6sa3x4c6g)

[6.2. Экономические критерии 14](#_6ilv22820p2q)

[6.3. Юридические аспекты 14](#_7p6i1661g8w3)

[**7. Программа и методика испытаний 15**](#_azbit7aw6jtv)

[**8. Заключение 18**](#_v120gfzd4si2)

[Приложения 18](#_tamfxwglsonr)

# 

# Введение

Настоящий документ описывает функциональные и технические требования к системе интеллектуальной диагностики электродвигателей на основе анализа токовых сигналов. Система предназначена для выявления дефектов оборудования в реальном времени, формирования отчетов и интеграции с существующей инфраструктурой предприятия.

# 

# 1. Сокращения, термины и описания дефектов

| **Сокращение / термин** | **Расшифровка / определение** |
| --- | --- |
| АСУ ТП | Автоматизированная система управления технологическими процессами |
| API | Application Programming Interface (интерфейс программирования приложений) |
| CSV | Comma-Separated Values (значения, разделенные запятыми) |
| ERP | Enterprise Resource Planning (планирование ресурсов предприятия) |
| JSON | JavaScript Object Notation (формат обмена данными) |
| JWT | JSON Web Token (веб-токен в формате JSON) |
| kГц | килогерц (единица измерения частоты) |
| кВт | киловатт (единица измерения мощности) |
| ML | Machine Learning (машинное обучение) |
| MQTT | Message Queuing Telemetry Transport (протокол для обмена сообщениями) |
| MES | Manufacturing Execution System (система управления производственными процессами) |
| REST | Representational State Transfer (стиль архитектуры веб-служб) |
| Вибродиагностика | Метод технической диагностики, основанный на анализе вибрационных сигналов |
| Дефект внутреннего кольца | Повреждение внутреннего кольца подшипника электродвигателя |
| Дефект наружного кольца | Повреждение внешнего кольца подшипника электродвигателя |
| Дефект сепаратора | Повреждение сепаратора подшипника электродвигателя |
| Дефект тел качения | Повреждение тел качения подшипника электродвигателя |
| Дисбаланс | Неравномерное распределение массы ротора электродвигателя |
| Многоканальный измерительный модуль | Устройство для одновременного измерения нескольких параметров |
| Расцентровка | Несоосность валов электродвигателя и connected оборудования |
| Токовая диагностика | Метод диагностики оборудования основанный на анализе параметров тока |
| АЦП | Аналого-цифровой преобразователь |
| DDoS | Distributed Denial of Service (распределенный отказ в обслуживании) |
| WAF | Web Application Firewall (брандмауэр веб-приложений) |
| API Gateway | Шлюз API (единая точка входа для API-запросов) |
| Microservices | Микросервисы (архитектурный стиль разработки приложений) |
| Kubernetes | Система оркестрации контейнеризованных приложений |
| Docker | Платформа для разработки, доставки и запуска приложений в контейнерах |
| Kafka | Брокер сообщений |

# 

# 2. Бизнес-требования

# БТ-1. Сокращение операционных расходов на мониторинг состояния оборудования. Снижение совокупной стоимости владения системой диагностики не менее чем на 50% за счет использования токовых сигналов, исключения затрат на внедрение и эксплуатацию вибродатчиков, а также сокращения ручного труда при проведении диагностических работ.

# БТ-2. Минимизация убытков от внеплановых простоев технологического оборудования. Обеспечение раннего обнаружения дефектов (подшипников, дисбаланса, расцентровки) с заблаговременностью не менее 30 дней до наступления планового отказа. Это позволяет избежать капитального ремонта и сократить продолжительность внеплановых остановок.

# БТ-3. Масштабируемость системы под растущий парк оборудования. Одновременная поддержка мониторинга и анализа данных не менее чем с 500 электродвигателей с возможностью увеличения лимитов без архитектурных изменений.

# БТ-4. Интеграция в корпоративный ИТ-ландшафт и технологические контуры. Обеспечение двустороннего обмена данными с системами АСУ ТП (SCADA), MES и ERP через стандартные протоколы (REST API, MQTT, OPC UA) для автоматизации процессов планирования ремонтов и управления ресурсами.

# БТ-5. Повышение операционной эффективности служб ТОиР. Сокращение времени на планирование и выполнение ремонтов за счет автоматизированного формирования отчётов и прогнозов, а также снижение количества ложных срабатываний и неплановых выездов бригад.

# 

# 

# 3. Функциональные требования

## 3.1. Пользовательский интерфейс

### Общие требования

ФТТ-3.1.1. Визуализация сигналов в реальном времени. Обновление данных ≤ 1 сек.

ФТТ-3.1.2. Формирование отчетов (PDF). Генерация отчета ≤ 30 сек.

ФТТ-3.1.3. Разделение ролей (оператор, администратор). 2+ уровня доступа.

ФТТ-3.1.4. Интерактивные элементы: Подсказки при наведении на элементы управления. Анимация загрузки данных.

### Авторизация

ФТТ-3.1.5. Авторизация через форму ввода логина и пароля. Валидация данных на стороне клиента и сервера. Время обработки запроса авторизации ≤ 500 мс.

### Раздел Двигатели

ФТТ-3.1.6. Реестр двигателей.

* Табличное представление с полями: Наименование, Статус анализа, Наличие дефектов, Время последнего анализа.
* Обновление данных в реальном времени (каждые 5 секунд).

ФТТ-3.1.7. Переключение режимов работы.

* Возможность переключения между live-режимом (онлайн-данные) и режимом ручной загрузки исторических данных диагностики для прогнозирования развития дефектов (CSV). Поддержка CSV с разделителем запятая, кодировка UTF-8. Обязательные поля: current\_R, current\_S, current\_T.

ФТТ-3.1.8. Визуализация дефектов.

* При наведении на строку с дефектом отображается модальное окно с графиком развития дефекта во времени.
* График включает тренды по всем типам дефектов с возможностью просмотра значений по точкам.

### Страница Диагностика

ФТТ-3.1.9. Страница диагностики двигателя.

* Открывается по клику на двигатель в реестре.
* Отображение детальной информации по двигателю: параметры, история диагностик.

ФТТ-3.1.10. Реестр диагностик.

* Таблица с колонками: Дата и время, Дефект наружного кольца (%), Дефект внутреннего кольца (%), Дефект тел качения (%), Дефект сепаратора (%), Дисбаланс (%), Расцентровка (%).
* Поддержка экспорта данных в CSV/Excel.

## 3.2. Модуль сбора данных

ФТТ-3.2.1. Сбор токовых сигналов с частотой 25.6 кГц. Задержка ≤ 10 мс

ФТТ-3.2.2. Поддержка протоколов MQTT, OPC UA. Совместимость с 100% оборудования.

## 3.3. Модуль анализа и ML

ФТТ-3.3.1. Автоматическое выявление дефектов. Точность ≥ 80%.

ФТТ-3.3.2. Классификация типов дефектов. Поддержка 6+ категорий.

## 3.4. Интеграция и API

ФТТ-3.4.1. REST API для внешних систем. Response time ≤ 100 мс.

## 3.5. Ролевая модель

| **Роль** | **Доступные модули** | **Права** |
| --- | --- | --- |
| Неавторизованный пользователь | Модуль авторизации | Доступ только к форме входа |
| Оператор | Модуль двигателей, Модуль диагностики | Просмотр данных, запуск диагностики |
| Администратор | Все модули | Полный доступ, управление пользователями |

## 3.6. Объектная модель

| **Объект** | **Атрибуты** | **Примечания** |
| --- | --- | --- |
| User | id: String  email: String  passwordHash: String  role: Role  isActive: Boolean  lastLogin: DateTime  createdAt: DateTime | Пароль хранится в хешированном виде. Автоматическая блокировка после 5 неудачных попыток |
| Role (см выше) | ADMIN  OPERATOR | Перечисление ролей пользователей |
| Engine | id: Uuid  name: String  type: Int  power: Float  rpm: Integer  status: String  lastAnalysis: DateTime  analyses: Analysis[] | Статусы: Норма, Предупреждение, Ошибка. Автоматическое обновление при новых анализах |
| Analysis | id: Uuid  timestamp: DateTime  outerRingDefect: Float  innerRingDefect: Float  rollingElementDefect: Float  cageDefect: Float  unbalance: Float  misalignment: Float  motor: Motor | Проценты дефектов от 0 до 100%. Метки времени с точностью до миллисекунд |
| DefectHistory | id: String  motor: Motor  periodStart: DateTime  periodEnd: DateTime  dataPoints: DefectPoint[] | Хранение истории за 30 дней. Оптимизировано для быстрого построения графиков |
| DefectPoint | timestamp: DateTime  outerRing: Float  innerRing: Float  rollingElements: Float  cage: Float  unbalance: Float  misalignment: Float | Точка данных для построения графиков истории дефектов |
| Session | id: String  user: User  createdAt: DateTime  expiresAt: DateTime | Управление пользовательскими сессиями и аутентификацией |

# 

# 4. Нефункциональные требования

## 4.1. Производительность

НФТ-4.1.1. Время отклика UI ≤ 1 сек

НФТ-4.1.2. Обработка данных ≤ 50 мс на сигнал

НФТ-4.1.3. Одновременных подключений ≥ 100 пользователей

## 4.2. Надежность

НФТ-4.2.1. Доступность 99.95%

НФТ-4.2.2. Время восстановления ≤ 15 мин

## 4.3. Требования к безопасности

НФТ-4.3.1. Хранение паролей.

* Использование алгоритма хеширования.
* Использование защищённых хранилищ секретов (например, KeyCloak).

НФТ-4.3.2. Сессии пользователей.

* Время жизни сессии – 8 часов.
* Автоматический выход при бездействии более 30 минут.

НФТ-4.3.3. Резервное копирование данных.

* Ежедневное бэкапирование баз данных.
* Хранение резервных копий не менее 30 дней.

НФТ-4.3.4. Безопасность API

* Все API-запросы должны аутентифицироваться с использованием токенов (например, JWT с проверкой подписи).
* Ограничение частоты запросов (rate limiting) для предотвращения DoS-атак

НФТ-4.3.5. Управление ролями и правами доступа

* Реализация модели управления доступом на основе ролей (RBAC). Права доступа должны предоставляться по принципу минимальных привилегий.
* Регулярный аудит прав доступа — не реже одного раза в квартал.

НФТ-4.3.6 Управление учётными записями

* Учётные записи с правами администратора должны быть строго ограничены. Деактивация неиспользуемых и временных учётных записей в течение 7 дней после окончания срока действия. Регулярный аудит активных аккаунтов — раз в месяц.

НФТ-4.3.7 Защита от DDoS-атак

* Использование сервисов или решений по защите от DDoS (например, облачные WAF, CDN с фильтрацией трафика). Настройка лимитов на соединения и запросы на уровне приложения и сети.

## 4.4. Требования к инфраструктуре

НФТ-4.4.1 Требования к резервированию

* Наличие резервного сервера.
* Кластер Kubernetes для автоматического переключения нагрузки. При падении основного мастера резервный поднимает кластер без потери управления.

НФТ-4.4.2 Требования к контейнеризации и оркестрации

* Использование Docker для контейнеризации сервисов.
* Оркестрация через Kubernetes для масштабирования и управления микросервисами

### НФТ-4.4.3 Требования к коммутаторам

* Количество интерфейсов (10/100/1000BASE-T, RJ-45): не менее 24.
* Уровень работы: L3.
* Возможность резервирования (стекирование): требуется.
* Производительность: не менее 90 Mpps (64 байт).
* Пропускная способность: не менее 128 Гбит/с.
* Подходящая модель: Элтекс MES2424.

### НФТ-4.4.4 Требования к межсетевым экранам

* Количество пользователей: не менее 500.
* Подходящая модель: UserGate D500.

### НФТ-4.4.5 Требования к серверам

* Количество процессоров: не менее 2.
* Рекомендуемая модель процессора: Intel® Xeon® Silver 4314 (16 ядер / 2.40 GHz), не хуже указанной модели.
* Минимальный объём установленной памяти: 192 Гб (16 Гб × 12), не менее.
* Накопители: SSD SATA 480 GB × 2, SSD SATA 960 GB × 2, не менее.
* Контроллер накопителей: RAID 0/1, 2 × SATA, не менее.
* Контроллер сетевой: 10/25 Gbit × 2, не менее.

## 4.5. Требования к документированию

#### Общие требования к документации

НФТ-4.5.1. Полнота документации.

* Система должна иметь полный комплект документации, покрывающий все аспекты использования и разработки.
* Документация должна включать: руководство пользователя, руководство администратора, техническое описание API.

НФТ-4.5.2. Актуальность документации.

* Версионирование документации должно соответствовать версиям ПО.

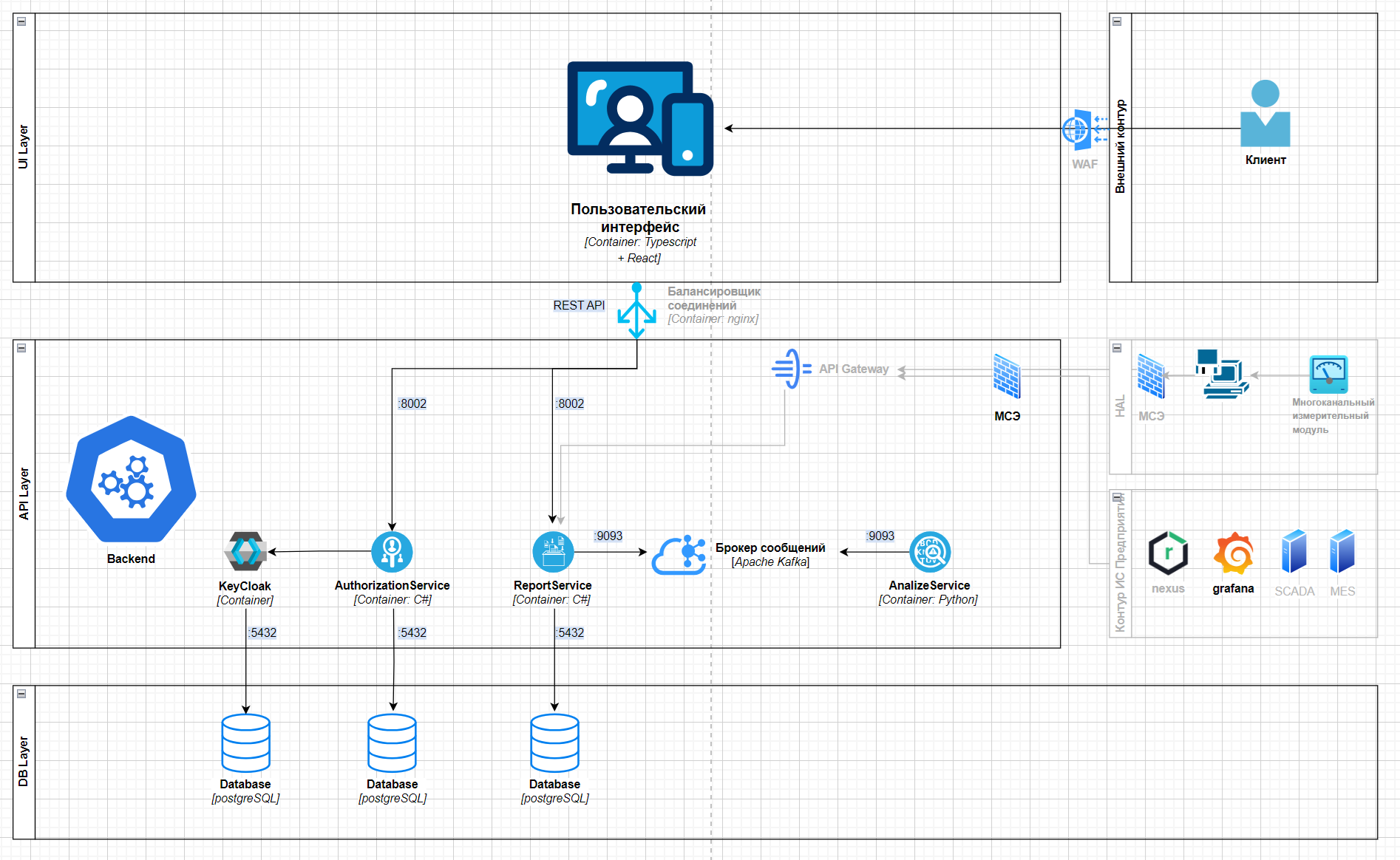
#### Документирование API

НФТ-4.5.4. Автогенерация документации API.

* Документация REST API должна автоматически генерироваться с использованием Swagger.
* Документация должна включать: описание всех endpoints, параметры запросов и ответов.

# 5. Архитектура решения

## 5.1. Микросервисная архитектура



## 5.2. Технологический стек

Backend: C#, [ASP.NET](http://asp.net), KeyCloak

Frontend: TypeScript, React, RTK query

ML: Python

Базы данных: PostgreSQL

Инфраструктура: Kubernetes, Docker, Kafka, Zookeeper, Nexus

Мониторинг: Grafana, ELK Stack

# 6. Критерии оценки эффективности

## 6.1. Операционная эффективность

Сокращение средних затрат времени на техническое обслуживание и ремонт (ТРЗ) в расчете на один инцидент с 0,4 часа до 0,05 часа.

Сокращение среднего времени внепланового простоя технологической единицы оборудования с 2,5 часов до 1,5 часов.

Снижение частоты технических инцидентов (отказов) с 0,7 до 0,3 инцидента на один двигатель в год.

Изменение структуры простоев в пользу планового обслуживания: увеличение доли плановых простоев с 50% до 90% и сокращение доли аварийных простоев с 50% до 10% от общего количества.

## 6.2. Экономическая эффективность

Снижение затрат на ТОиР: Сокращение совокупных затрат на техническое обслуживание и ремонты не менее чем на 40%.

Уменьшение ущерба от внеплановых остановок на не менее 30% в денежном выражении.

## 6.3. Техническое соответствие

Полное соответствие функциональным, техническим и бизнес-требованиям, изложенным в разделах 2, 3 и 4 настоящего документа.

Обеспечение интуитивного пользовательского интерфейса с возможностью визуализации трендов и прогнозирования дефектов.

Обработка не менее 25 600 samples/сек данных токовых сигналов в реальном времени с задержкой не более 50 мс.

## 6.4. Юридические и нормативные аспекты

Использование только лицензионного программного обеспечения с соответствующей документацией.

Полное соответствие требованиям Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных».

Соответствие отраслевым стандартам и внутренним регламентам Заказчика в области промышленной безопасности и управления активами.

# 7. Программа и методика испытаний

| **№** | **Роль** | **Действие пользователя** | **Действие системы** | **Ожидаемый результат** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Неавторизованный | Переход на главную страницу | Система перенаправляет на страницу авторизации | Отображение формы ввода логина/пароля |
| 2 | Неавторизованный | Ввод корректных учетных данных (логин/пароль) | Проверка учетных данных, создание сессии | Перенаправление на страницу "Реестр двигателей" |
| 3 | Неавторизованный | Ввод некорректных учетных данных | Проверка учетных данных | Сообщение об ошибке "Неверный логин или пароль" |
| 4 | Оператор | Просмотр реестра двигателей в режиме “Live” | Загрузка данных из БД | Отображение таблицы с актуальными статусами двигателей |
| 5 | Оператор | Ожидание на странице 20 секунд | Обновление реестра каждые 5 секунд | Актуализация реестра двигателей |
| 6 | Оператор | Наведение курсора на двигатель с дефектами | Отправка запроса на получение истории дефектов | Появление модального окна с графиком развития дефектов |
| 7 | Оператор | Переключение в режим "Ручная загрузка" | Изменение режима работы интерфейса | Появление кнопки "Загрузить файл" для импорта CSV |
| 8 | Оператор | Загрузка CSV-файла с данными | Валидация и обработка файла | Импорт данных, обновление реестра двигателей |
| 9 | Оператор | Двойной клик на двигателе в реестре | Открытие страницы диагностики | Отображение детальной информации и истории диагностик |
| 10 | Оператор | Экспорт данных диагностики в CSV | Формирование файла с данными | Скачивание CSV-файла с выбранными данными |
| 11 | Оператор | Попытка доступа к разделу "Управление доступом" | Проверка прав доступа | Сообщение "Доступ запрещен" |
| 12 | Администратор | Переход в раздел "Управление доступом" | Загрузка списка пользователей | Отображение таблицы со всеми пользователями системы |
| 13 | Администратор | Добавление нового пользователя | Открытие формы редактирования | Появление модального окна для ввода данных пользователя |
| 14 | Администратор | Заполнение данных нового пользователя | Валидация введенных данных | Сохранение пользователя, обновление таблицы |
| 15 | Администратор | Изменение роли существующего пользователя | Обновление прав доступа | Применение новых прав |
| 16 | Администратор | Блокировка пользователя | Изменение статуса учетной записи | Пользователь не может войти в систему |
| 17 | Авторизованный | Обновление страницы | Проверка валидности сессии | Сохранение текущего состояния интерфейса |
| 18 | Авторизованный | Выход из системы | Завершение сессии | Перенаправление на страницу авторизации |
| 19 | Авторизованный | Бездействие в течение 20 минут | Автоматический выход | Сообщение "Сессия истекла", перенаправление на авторизацию |

# 

# 8. Заключение

Предлагаемое решение соответствует всем требованиям и обеспечивает:

- Высокую точность диагностики за счет AI

- Масштабируемость и отказоустойчивость

- Соответствие отраслевым стандартам безопасност и

## Приложения

1. Схема архитектуры

2. Примеры отчетов

3. Расчет экономического эффекта