

**Программное обеспечение CyberStudio – платформа для
предиктивной аналитики оборудования и оптимизации режимов
технологических процессов
v 3.20.0**

Функциональные и технические требования

Таблица 1.

История изменений

Версия	Дата	Комментарий	Автор
1	07.04.2026	Первая версия документа	Гавриленков С.И.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Список определений, обозначений, сокращений	4
2	Список определений, обозначений, сокращений	7
3	Общие положения	10
4	Назначение системы.....	10
5	Бизнес-требования.....	11
5.1	Сбор и хранение данных	11
5.2	Объектная модель	12
5.3	Построение математических моделей процессов и оборудования	13
5.4	Мониторинг технического состояния агрегатов.....	14
5.5	Оптимизация режимов работы агрегатов	15
5.6	Визуализация данных мониторинга	16
5.7	Поддержка бизнес-логики процессов по работе с ПО	16
5.8	Конструктор пользовательских мнемосхем	17
5.9	Просмотр исторических данных.....	18
5.10	Требования к структуре ПО	19
5.11	Требования к авторизации и аутентификации	19
5.12	Требования к интеграции со смежными системами.....	19
5.13	Требования к журналированию	20
5.14	Требования к пользовательскому интерфейсу	20
5.15	Требования к непрерывности работы	21

1 СПИСОК ОПРЕДЕЛЕНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ

В настоящем документе используются следующие термины и определения, обозначения и сокращения:

БД — база данных;

ГПИ — графический пользовательский интерфейс;

ИС — индекс состояния;

СПА — система предиктивной аналитики технического состояния и оптимизации режимов технологических процессов;

ТП — технологический процесс;

РК — резервное копирование;

РТО (Recovery Time Objective — целевое время восстановления) — максимально допустимое время, в течение которого система, сервис или процесс могут быть недоступны после сбоя;

РПО (Recovery Point Objective — целевая точка восстановления) — максимально допустимый объём потери данных, измеряемый во времени;

Предиктивная аналитика — методология анализа текущего состояния и прогнозирования поведения оборудования и технологических процессов на основе цифровых моделей, обеспечивающая как выявление отклонений, свидетельствующих о развитии дефектов, так и расчёт оптимальных значений управляющих параметров для поддержания целевых показателей процесса в заданных диапазонах;

Модель — математическое или алгоритмическое представление поведения агрегата или технологического процесса, реализованное в виде вычислимого алгоритма в составе СПА и используемое для прогнозирования параметров, выявления аномалий либо оптимизации режимов работы;

Разладка — отклонение фактического значения параметра от эталонного значения, прогнозируемого моделью;

Дрейф модели — явление, выражающееся в постепенном увеличении разладки между фактическими и модельными значениями диагностических параметров, обусловленное естественным изменением характеристик (например, износом, старением, заменой компонентов) моделируемого оборудования или технологического процесса в ходе эксплуатации;

Диагностический параметр — выходной параметр модели, для которого СПА рассчитывает модельное значение и на основе которого вычисляется разладка как отклонение фактического значения от модельного;

Обучение модели — процесс подбора внутренних параметров модели (веса нейронной сети и пр.), в результате которого достигается наименьшая возможная разладка между выходными параметрами модели на обучающей выборке;

k-кратная перекрёстная проверка — метод оценки качества модели, при котором обучающая выборка разбивается на k частей, модель последовательно обучается на k – 1 частях и тестируется на оставшейся, а итоговая оценка рассчитывается как среднее значение метрики точности по всем k итерациям;

Гиперпараметр модели — настраиваемый параметр алгоритма обучения, не являющийся непосредственно коэффициентом модели, например число слоёв и нейронов для полносвязной нейронной сети;

Обучающая выборка — подмножество ретроспективных данных, используемых для подбора параметров модели в СПА;

Тестовая выборка — независимо выделенное подмножество данных, используемых для оценки качества модели после обучения;

Машинное обучение — совокупность методов построения моделей оборудования и технологических процессов на основе исторических данных без явного задания физических зависимостей. В составе СПА используются следующие методы: нейронная сеть типа «многослойный перцептрон», байесовская нейронная сеть, свёрточная нейронная сеть, регрессия главных компонент и регрессия, основанная на алгоритме k-средних;

Первичное обучение модели — построение модели на исходном наборе исторических данных;

Дообучение модели — обновление параметров уже обученной модели с учётом дополнительного массива данных без полного переобучения;

Переобучение модели — полное переобучение модели на обновлённом наборе данных;

Индекс состояния — интегральный безразмерный показатель технического состояния оборудования или его подсистемы, нормированный в диапазоне от 0 до 1 (0 — предельная степень неисправности, 1 — полностью исправен);

Экспертное правило — логическое условие, задаваемое пользователем в классификаторе дефектов, для связывания разладок модели или абсолютных значений параметров с конкретными типами неисправностей;

Пользовательское правило — настраиваемое условие, определяемое пользователем в СПА (технолог, инженер, аналитик), которое на основе значений параметров и/или результатов работы моделей инициирует событие (предупреждение, сигнал, уведомление) о возможной неисправности, отклонении режима или необходимости внимания оператора;

Классификатор дефектов — модуль СПА, предназначенный для автоматического выявления и классификации дефектов оборудования на основе анализа разладок (отклонений между фактическими и модельными значениями параметров) и/или абсолютных значений параметров;

Дефект — зафиксированное СПА состояние оборудования, при котором совокупность разладок, абсолютных значений параметров и/или срабатываний экспертных правил указывает на отклонение от нормального функционирования, требующее оценки и/или оперативного вмешательства;

Срабатывание — фиксация классификатором дефектов наличия неисправности в результате выполнения одного или нескольких экспертных правил на заданном временном окне мониторинга;

Истинно положительное срабатывание — срабатывание классификатора дефектов, соответствующее реальному наличию неисправности оборудования, подтверждённой независимым источником (например, техническим осмотром или исторической аннотацией);

Ложноположительное срабатывание — срабатывание классификатора дефектов при отсутствии реальной неисправности оборудования;

Ложноотрицательное срабатывание — отсутствие срабатывания классификатора дефектов при наличии реальной неисправности оборудования;

Прогонка — виртуальный эксперимент в СПА, при котором имитируется работа моделей, правил классификатора дефектов и блоков оптимизации на ретроспективных данных для оценки их эффективности и корректности настройки;

Оптимизация — процесс расчёта рекомендуемых значений управляющих параметров технологического процесса, при которых целевые параметры возвращаются в заданные желаемые диапазоны. Оптимизация выполняется на основе модели процесса и не предполагает автоматического воздействия на оборудование: выдаваемые рекомендации носят информационный характер и предназначены для принятия решений оператором или технологом;

Оптимизатор — функциональный модуль СПА, предназначенный для расчёта рекомендуемых значений управляющих параметров, обеспечивающих достижение целевых показателей технологического процесса. Результаты расчёта фиксируются в виде информационных сообщений, доступных в интерфейсе СПА;

Управляющие параметры — параметры технологического процесса, значения которых могут быть изменены оператором и которые используются СПА в качестве входных воздействий при расчёте рекомендаций;

Целевые параметры — технологические или эксплуатационные показатели оборудования или процесса, которые требуется поддерживать в пределах заданных диапазонов;

Желаемые диапазоны целевых параметров — согласованные диапазоны значений целевых параметров, определённые нормативно-технологической документацией;

Прогнозирование — операция экстраполяции значений параметра (тега, разладки, ИС и др.) в будущее, выполняемая на каждом такте мониторинга на основе скользящего окна исторических данных, преобразованных в равномерный временной ряд и используемых для обучения прогнозной модели;

Тег — внутренний параметр ПО, представляющий собой временной ряд, где метке времени соответствует значение со структурой в виде скалярной переменной или переменной-массива;

Виртуальный тег — тег ПО, значение которого рассчитывается на основе других тегов при помощи математического выражения или программного кода;

Картирование — установление соответствия элементов одного множества элементам другого множества, например наименований тегов внешнего источника данных тегам ПО;

Ретроспективные данные — исторические данные о работе технологических объектов и агрегатов, выгруженные из систем сбора данных реального времени, баз данных или других источников в виде файлов (CSV, Parquet и др.) или через программные интерфейсы, с последующей передачей в СПА для целей анализа и построения математических моделей;

Онлайн-данные — данные, поступающие в СПА от внешних источников (баз данных реального времени, брокеров сообщений, серверов OPC UA или иных согласованных источников) в режиме, обеспечивающем использование СПА для мониторинга и предиктивного анализа в режиме мягкого реального времени;

Режим мягкого реального времени — режим работы СПА, при котором данные от источника поступают с задержкой не более согласованного значения;

Рекомендация — информационное сообщение для оператора технологического процесса по изменению режима работы агрегата;

Мнемосхема — интерактивная визуализационная форма, предназначенная для отображения текущего состояния оборудования и технологического процесса, построенная из графических элементов, связанных с данными СПА;

Холст — рабочая область конструктора мнемосхем СПА, на которой размещаются и настраиваются графические элементы визуализации.

2 СПИСОК ОПРЕДЕЛЕНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ

В настоящем документе используются следующие термины и определения, обозначения и сокращения:

БД — база данных;

ГПИ — графический пользовательский интерфейс;

ИС — индекс состояния;

СПА — система предиктивной аналитики технического состояния и оптимизации режимов технологических процессов;

ТП — технологический процесс;

РК — резервное копирование;

RTO (Recovery Time Objective — целевое время восстановления) — максимально допустимое время, в течение которого система, сервис или процесс могут быть недоступны после сбоя;

RPO (Recovery Point Objective — целевая точка восстановления) — максимально допустимый объём потери данных, измеряемый во времени;

Предиктивная аналитика — методология анализа текущего состояния и прогнозирования поведения оборудования и технологических процессов на основе цифровых моделей, обеспечивающая как выявление отклонений, свидетельствующих о развитии дефектов, так и расчёт оптимальных значений управляющих параметров для поддержания целевых показателей процесса в заданных диапазонах;

Модель — математическое или алгоритмическое представление поведения агрегата или технологического процесса, реализованное в виде вычислимого алгоритма в составе СПА и используемое для прогнозирования параметров, выявления аномалий либо оптимизации режимов работы;

Разладка — отклонение фактического значения параметра от эталонного значения, прогнозируемого моделью;

Дрейф модели — явление, выражающееся в постепенном увеличении разладки между фактическими и модельными значениями диагностических параметров, обусловленное естественным изменением характеристик (например, износом, старением, заменой компонентов) моделируемого оборудования или технологического процесса в ходе эксплуатации;

Диагностический параметр — выходной параметр модели, для которого СПА рассчитывает модельное значение и на основе которого вычисляется разладка как отклонение фактического значения от модельного;

Обучение модели — процесс подбора внутренних параметров модели (веса нейронной сети и пр.), в результате которого достигается наименьшая возможная разладка между выходными параметрами модели на обучающей выборке;

k-кратная перекрёстная проверка — метод оценки качества модели, при котором обучающая выборка разбивается на k частей, модель последовательно обучается на $k - 1$ частях и тестируется на оставшейся, а итоговая оценка рассчитывается как среднее значение метрики точности по всем k итерациям;

Гиперпараметр модели — настраиваемый параметр алгоритма обучения, не являющийся непосредственно коэффициентом модели, например число слоёв и нейронов для полносвязной нейронной сети;

Обучающая выборка — подмножество ретроспективных данных, используемых для подбора параметров модели в СПА;

Тестовая выборка — независимо выделенное подмножество данных, используемых для оценки качества модели после обучения;

Машинное обучение — совокупность методов построения моделей оборудования и технологических процессов на основе исторических данных без явного задания физических зависимостей. В составе СПА используются следующие методы: нейронная сеть типа «многослойный перцептрон», байесовская нейронная сеть, свёрточная нейронная сеть, регрессия главных компонент и регрессия, основанная на алгоритме k -средних;

Первичное обучение модели — построение модели на исходном наборе исторических данных;

Дообучение модели — обновление параметров уже обученной модели с учётом дополнительного массива данных без полного переобучения;

Переобучение модели — полное переобучение модели на обновлённом наборе данных;

Индекс состояния — интегральный безразмерный показатель технического состояния оборудования или его подсистемы, нормированный в диапазоне от 0 до 1 (0 — предельная степень неисправности, 1 — полностью исправен);

Экспертное правило — логическое условие, задаваемое пользователем в классификаторе дефектов, для связывания разладок модели или абсолютных значений параметров с конкретными типами неисправностей;

Пользовательское правило — настраиваемое условие, определяемое пользователем в СПА (технолог, инженер, аналитик), которое на основе значений параметров и/или результатов работы моделей инициирует событие (предупреждение, сигнал, уведомление) о возможной неисправности, отклонении режима или необходимости внимания оператора;

Классификатор дефектов — модуль СПА, предназначенный для автоматического выявления и классификации дефектов оборудования на основе анализа разладок (отклонений между фактическими и модельными значениями параметров) и/или абсолютных значений параметров;

Дефект — зафиксированное СПА состояние оборудования, при котором совокупность разладок, абсолютных значений параметров и/или срабатываний экспертных правил указывает на отклонение от нормального функционирования, требующее оценки и/или оперативного вмешательства;

Срабатывание — фиксация классификатором дефектов наличия неисправности в результате выполнения одного или нескольких экспертных правил на заданном временном окне мониторинга;

Истинно положительное срабатывание — срабатывание классификатора дефектов, соответствующее реальному наличию неисправности оборудования,

подтверждённой независимым источником (например, техническим осмотром или исторической аннотацией);

Ложноположительное срабатывание — срабатывание классификатора дефектов при отсутствии реальной неисправности оборудования;

Ложноотрицательное срабатывание — отсутствие срабатывания классификатора дефектов при наличии реальной неисправности оборудования;

Прогонка — виртуальный эксперимент в СПА, при котором имитируется работа моделей, правил классификатора дефектов и блоков оптимизации на ретроспективных данных для оценки их эффективности и корректности настройки;

Оптимизация — процесс расчёта рекомендуемых значений управляющих параметров технологического процесса, при которых целевые параметры возвращаются в заданные желаемые диапазоны. Оптимизация выполняется на основе модели процесса и не предполагает автоматического воздействия на оборудование: выдаваемые рекомендации носят информационный характер и предназначены для принятия решений оператором или технологом;

Оптимизатор — функциональный модуль СПА, предназначенный для расчёта рекомендуемых значений управляющих параметров, обеспечивающих достижение целевых показателей технологического процесса. Результаты расчёта фиксируются в виде информационных сообщений, доступных в интерфейсе СПА;

Управляющие параметры — параметры технологического процесса, значения которых могут быть изменены оператором и которые используются СПА в качестве входных воздействий при расчёте рекомендаций;

Целевые параметры — технологические или эксплуатационные показатели оборудования или процесса, которые требуется поддерживать в пределах заданных диапазонов;

Желаемые диапазоны целевых параметров — согласованные диапазоны значений целевых параметров, определённые нормативно-технологической документацией;

Прогнозирование — операция экстраполяции значений параметра (тега, разладки, ИС и др.) в будущее, выполняемая на каждом такте мониторинга на основе скользящего окна исторических данных, преобразованных в равномерный временной ряд и используемых для обучения прогнозной модели;

Тег — внутренний параметр ПО, представляющий собой временной ряд, где метке времени соответствует значение со структурой в виде скалярной переменной или переменной-массива;

Виртуальный тег — тег ПО, значение которого рассчитывается на основе других тегов при помощи математического выражения или программного кода;

Картирование — установление соответствия элементов одного множества элементам другого множества, например наименований тегов внешнего источника данных тегам ПО;

Ретроспективные данные — исторические данные о работе технологических объектов и агрегатов, выгруженные из систем сбора данных реального времени, баз данных или других источников в виде файлов (CSV, Parquet и др.) или через программные интерфейсы, с последующей передачей в СПА для целей анализа и построения математических моделей;

Онлайн-данные — данные, поступающие в СПА от внешних источников (баз данных реального времени, брокеров сообщений, серверов OPC UA или иных согласованных источников) в режиме, обеспечивающем использование СПА для мониторинга и предиктивного анализа в режиме мягкого реального времени;

Режим мягкого реального времени — режим работы СПА, при котором данные от источника поступают с задержкой не более согласованного значения;

Рекомендация — информационное сообщение для оператора технологического процесса по изменению режима работы агрегата;

Мнемосхема — интерактивная визуализационная форма, предназначенная для отображения текущего состояния оборудования и технологического процесса, построенная из графических элементов, связанных с данными СПА;

Холст — рабочая область конструктора мнемосхем СПА, на которой размещаются и настраиваются графические элементы визуализации.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящем документе описаны функциональные и технические требования к программному обеспечению системы предиктивной аналитики технического состояния и оптимизации режимов технологических процессов (далее — СПА, ПО).

Документ определяет обязательный состав функциональных возможностей, архитектурные и интеграционные требования, требования к пользовательскому интерфейсу и обеспечению непрерывности работы, которым должно соответствовать поставляемое ПО.

4 НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

ПО предназначено для:

1. Сбора и хранения технологической информации о работе агрегатов в следующих форматах:
 - 1.1 сбор данных из источников реального времени (источники данных, доступные СПА через серверы или шлюзы, обмен с которыми происходит по согласованному регламенту);
 - 1.2 сбор данных из исторических источников (посредством загрузки данных через электронные таблицы).
2. Построения моделей оборудования и технологических процессов на основе данных эксплуатации при помощи встроенного функционала, не требующего программирования.
3. Настройки и тестирования пользовательских правил для выявления неисправностей агрегатов на основе результатов расчётов моделей.
4. Осуществления с заданным периодом дискретизации мониторинга технического состояния агрегатов на основе собираемых данных, математических моделей агрегатов и (или) задаваемых пользовательских правил.
5. Осуществления с заданным периодом дискретизации мониторинга показателей оптимальности работы агрегатов и формирования рекомендаций (информационных сообщений для операторов) по изменению управляющих параметров технологического процесса в целях достижения заданных значений целевых параметров. СПА не осуществляет автоматического изменения управляющих

воздействий на технологическое оборудование, а ограничивается формированием рекомендаций операторам, которые принимают окончательные решения в соответствии с действующими регламентами.

6.1. Конструирования из стандартных блоков мнемосхем для визуализации собираемых фактических и расчётных данных о работе агрегатов.

7.2. Визуализации информации, агрегируемой и генерируемой ПО, в виде преднастроенных виджетов и конфигурируемых мнемосхем.

5 БИЗНЕС-ТРЕБОВАНИЯ

ПО должно отвечать нижеуказанным бизнес-требованиям:

1. Подключение к существующим системам сбора и хранения данных через программу-коннектор (коннектор получает данные от специализированного шлюза, обеспечивающего подключение СПА к системам реального времени и архивам данных с поддержкой согласованных протоколов).
2. Размещение на серверном оборудовании Заказчика (on-premise) без зависимости от внешних облачных сервисов.
3. Работа пользователей при помощи web-браузера без необходимости устанавливать дополнительное программное обеспечение на рабочие места.
4. Наличие ПО в едином реестре российских программ для ЭВМ и БД.
5. Пользовательские интерфейсы, документация, средства настройки и администрирования должны быть составлены на русском языке.
6. Система должна поддерживать ролевую модель, позволяющую создавать различные группы пользователей и устанавливать ограничения доступа для групп пользователей.
7. Поддержка интеграции с корпоративными каталогами пользователей (MS Active Directory, LDAP) для централизованного управления учётными записями.

5.1 СБОР И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части сбора и хранения данных:

1. Сбор исторических и онлайн-данных со следующей структурой:
 - 1.1 скалярный тег с меткой времени (например, значение мощности генератора в конкретный момент времени);
 - 1.2 тег-массив с меткой времени (например, массив значений виброускорений в конкретный момент времени).
2. Работа с произвольным количеством источников онлайн-данных (поддержка масштабируемого количества источников, ограничиваемого ресурсами инфраструктуры и архитектурой решения).
3. Система должна обеспечивать подключение к существующим системам сбора и хранения данных с использованием протоколов и интерфейсов, фактически применяемых на площадке (включая OPC UA, Modbus TCP/RTU, MQTT и др.). В рамках внедрения выполняется обследование существующих источников данных и проектирование решения по сбору информации, в том числе от источников реального времени.

4. Хранение собираемых исторических и онлайн-данных в единой базе в виде тегов ПО.

5.1. Сбор исторических данных путём загрузки электронных таблиц в формате CSV (многопараметрический временной ряд из скалярных переменных или многопараметрический временной ряд из параметров-массивов), при этом данные в таблицах должны отвечать следующим требованиям:

5.1.1 в таблице обязательно присутствует колонка с форматом «дата и время»;

5.2.1.2 максимальный объём загружаемого файла — не менее 5 ГБ;

5.3.1.3 поддерживаемые разделители значений — запятая или точка с запятой;

5.4.1.4 структура столбцов: столбец с датой и временем, данные тега 1, ..., данные тега N;

5.5.1.5 автоматическая обработка ошибочных значений в загружаемых файлах путём пропуска некорректных записей.

6.2. Возможность группового картирования связей между параметрами, получаемыми из источников данных, и тегами СПА при помощи интерфейса ПО.

7.3. Работа с виртуальными тегами:

7.1.3.1 создание виртуальных тегов в конструкторе при помощи:

7.1.1.3.1.1 программного кода на языке Python (программный код выполняется в изолированной среде без доступа к файловой системе, сетевым ресурсам и операционной системе, кроме явно предусмотренных API);

7.1.2.3.1.2 математических выражений с использованием стандартных функций (возведение в степень, логарифм, тригонометрические функции и пр.).

7.2.3.2 при сохранении виртуальных тегов, метод расчёта которых основан на использовании программного кода, должна проводиться валидация синтаксиса и базовый статический анализ кода;

7.3.3.3 выполнение расчёта виртуальных тегов должно ограничиваться по времени и ресурсам для обеспечения производительности и устойчивости системы.

8.4. ПО должно иметь функционал группировки тегов.

5.2 ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ

ПО должно поддерживать настраиваемую и изменяемую иерархию объектов моделирования (например, производство / цех / участок / агрегат / узел / модель), позволяющую отражать организационную и технологическую структуру производственных участков предприятия.

Для изменений в структуре (добавление, удаление, перемещение объектов, переименование) в СПА должен быть предусмотрен специализированный интерфейс, не требующий редактирования кода или конфигурационных файлов.

К объектам иерархии должны быть привязаны теги, модели, индексы состояния и мнемосхемы.

5.3 ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части построения математических моделей процессов и оборудования.

1. Поддержка (реализация алгоритмов обучения и расчёта, автоматическая оптимизация гиперпараметров средствами СПА) не менее пяти типов регрессионных моделей, включая:
 - 1.1 полносвязную нейронную сеть;
 - 1.2 байесовскую нейронную сеть;
 - 1.3 свёрточную нейронную сеть;
 - 1.4 линейную модель на основе анализа главных компонент (РСА-модель);
 - 1.5 модель, основанную на алгоритме кластеризации данных k-средних.
2. Поддержка шаблонов моделей с возможностью осуществлять картирование параметров моделей и тегов ПО.
3. Возможность задавать обучающую и тестовую выборки:
 - 3.1 автоматическое распределение с возможностью задать соотношение количества наблюдений обучающей и тестовой выборок (например, 70/30, 80/20) с разбиением, учитывающим временную структуру данных (без перемешивания по времени для временных рядов);
 - 3.2 распределение вручную с указанием границ отрезков временных периодов, относящихся к обучающей или тестовой выборке.
4. Обучение модели в двух режимах (пользователь выбирает один из вариантов):
 - 4.1 автоматический поиск оптимальных значений гиперпараметров: СПА автоматически подбирает оптимальные значения в ходе N итераций в соответствии с критерием минимизации ошибки в результате k-кратной перекрёстной проверки; количество итераций алгоритма и количество интервалов задаёт пользователь;
 - 4.2 ручное задание гиперпараметров модели: пользователь задаёт значения гиперпараметров, которые используются при обучении модели.
5. Анализ результатов построения моделей:
 - 5.1 отслеживание статуса построения моделей в режиме реального времени;
 - 5.2 отображение результатов расчёта моделей на обучающей и тестовой выборках;
 - 5.3 вывод стандартных метрик точности моделей (MSE, MAE, R^2).
6. Возможность проводить корректировку моделей в режиме:
 - 6.1 дообучения (обновление параметров уже обученной модели с учётом дополнительного массива данных без полного переобучения);
 - 6.2 переобучения (полное переобучение модели на обновлённом наборе данных).
7. Возможность интерпретации результатов работы моделей (отображение значений ключевых показателей в привязке к исходным параметрам, расчёт метрик точности).
8. Поддержка версионности моделей:
 - 8.1 указание номера версии;

- 8.2 указание автора версии;
 - [8.38.1](#) фиксация ключевых параметров, влияющих на обучение (границы обучающей и тестовой выборки);
 - [8.48.2](#) хранение метрик качества модели, рассчитанных на тестовой выборке.
9. Поддержка автоматического мониторинга дрейфа моделей:
- 9.1 отслеживание изменения разладки модели на новых данных;
 - 9.2 генерация уведомлений о превышении разладкой допустимого значения, задаваемого пользователем.

5.4 МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части мониторинга технического состояния агрегатов:

1. Возможность автоматического расчёта интегрального безразмерного показателя технического состояния — индекса состояния (ИС), нормированного в диапазоне от 0 до 1:
 - 1.1 для отдельных диагностических параметров оборудования;
 - 1.2 для отдельных узлов оборудования;
 - 1.3 для агрегатов оборудования (с агрегированием индексов узлов до индекса агрегата).
2. ИС должен рассчитываться на основе разладки по диагностическому параметру линейной интерполяцией между двумя задаваемыми пользователем порогами.
3. ИС рассчитывается на следующих уровнях агрегации (при агрегации используется минимальное значение ИС вложенных объектов):
 - 3.1 уровень выходных параметров модели;
 - 3.2 уровень модели;
 - 3.3 уровень узла;
 - 3.4 уровень сборки (агрегата).
4. Расчёт ИС оборудования должен производиться не более чем за 60 секунд от момента получения данных (при условии соответствия технического обеспечения требованиям к вычислительным ресурсам).
5. Поддержка расчёта ИС агрегата на основе данных от моделей нескольких типов (например, полносвязная нейронная сеть, кластерная модель, модель на основе анализа главных компонент).
6. Поддержка прогнозирования ИС агрегата оборудования со следующими настраиваемыми параметрами:
 - 6.1 горизонт прогноза;
 - 6.2 размер временного окна.
7. Расчёт времени достижения ИС заданного порогового значения (включая нулевое) в пределах горизонта прогнозирования путём экстраполяции динамики ИС с использованием выбранной прогнозной модели.
8. Возможность выявления дефектов при помощи классификатора дефектов, основанного на одном из нескольких принципов:
 - 8.1 сопоставление текущего вектора разладки с эталонным вектором разладки, заданным пользователем;

- 8.2 набор экспертных правил, соединяющихся при помощи логического «И», где каждое экспертное правило формирует переменную логического типа на основе произвольного выражения, включающего абсолютное значение параметра оборудования или разладку по этому параметру.
- 9.1 Сопоставление текущего вектора разладки с эталонным вектором должно производиться с использованием метрики сходства; пороги срабатывания должны быть настраиваемы в интерфейсе СПА.
- 10.2. _____ Возможность настройки параметров классификатора дефектов таким образом, чтобы доля ложноположительных срабатываний не превышала 15 % от общего количества срабатываний на согласованном историческом наборе данных.
- 11.3. _____ Классификатор дефектов должен обеспечивать анализ временных рядов параметров оборудования и/или индексов состояния в скользящем временном окне с настраиваемым размером и шагом перемещения, а также определять наличие или отсутствие дефекта с учётом количества или доли выполнений правил внутри окна.
- 12.4. _____ При регистрации дефекта должно формироваться предупредительное сообщение для оператора с указанием следующего минимального перечня атрибутов:
- 12.14.1 время регистрации;
 - 12.24.2 идентификатор объекта (в рамках иерархии);
 - 12.34.3 уровень важности.
- 13.5. _____ Предупредительное сообщение должно фиксироваться в журнале событий СПА.
- 14.6. _____ Возможность тестирования эффективности классификатора дефектов на исторических данных:
- 14.16.1 выбор пользователем периода и набора агрегатов/узлов;
 - 14.26.2 прогонка классификатора по историческим данным без влияния на оперативные сообщения, формируемые в режиме работы с онлайн-данными.

5.5 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части оптимизации режимов работы агрегатов:

1. Формирование с заданным периодом дискретизации рекомендаций по изменению управляющих параметров технологического процесса таким образом, чтобы значения целевых параметров находились в желаемых диапазонах.
2. Формирование рекомендаций на основе данных расчётов математической модели процесса или агрегата.
3. Возможность настройки алгоритмов оптимизации процесса:
 - 3.1 перечень управляющих параметров (параметров, по которым формируются информационные рекомендации для операторов) с заданием диапазона допустимых значений;
 - 3.2 перечень целевых параметров с заданием диапазона желаемых значений;
 - 3.3 размер окна, в пределах которого анализируются данные процесса.
4. Перечни управляющих и целевых параметров, а также их допустимые диапазоны задаются и изменяются только пользователями с соответствующими правами.
5. Возможность прогонки блока оптимизатора на исторических данных:
 - 5.1 моделирование ретроспективного применения рекомендаций для выбранного промежутка времени;

- 5.2 сравнение фактической траектории целевых параметров с гипотетической траекторией при применении рекомендаций;

5.35.1 расчёт базовых показателей эффективности (например, доли времени нахождения в целевом диапазоне).

6. Возможность сохранения результатов прогонки для приёмки алгоритмов оптимизации.

СПА не осуществляет автоматическое управление технологическим оборудованием, а формирует только информационные рекомендации для операторов. Изменение уставок и управляющих воздействий остаётся в зоне ответственности персонала и действующих регламентов.

5.6 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части визуализации данных мониторинга:

1. Визуализация при помощи встроенных виджетов, как минимум:
 - 1.1 табличное представление текущих значений и статусов;
 - 1.2 индикаторы ИС.
2. Визуализация при помощи пользовательских мнемосхем.
3. Визуализация формируемых системой сообщений:
 - 3.1 предупредительное сообщение о зарегистрированном дефекте должно содержать данные о:
 - 3.1.1 периоде времени, на протяжении которого регистрировался дефект;
 - 3.1.2 приоритете дефекта (средний или высокий);
 - 3.1.3 описании дефекта;
 - 3.1.4 рекомендациях по дальнейшим действиям для оператора.
 - 3.2 сообщение-рекомендация для оптимизации режима работы агрегата (отображается как информационное, без функции отправки управляющих воздействий) должно содержать:
 - 3.2.1 метку времени;
 - 3.2.2 фактические и рекомендованные значения управляющих параметров;
 - 3.2.3 фактические значения целевых параметров и значения целевых параметров, которые прогнозируются при выполнении рекомендации.

5.7 ПОДДЕРЖКА БИЗНЕС-ЛОГИКИ ПРОЦЕССОВ ПО РАБОТЕ С ПО

СПА должно отвечать следующим функциональным требованиям в части поддержки бизнес-логики процессов по работе с СПА:

1. Поддержка управления событиями:
 - 1.1 возможность работать с событиями, которые запускают процессы автоматизации.
2. Возможность исследования событий:
 - 2.1 просмотр, поиск и фильтрация событий по различным параметрам;

- 2.2 возможность перехода к деталям событий для изучения информации, связанной с типом события, объектами или процессами.
- 3.1. Поддержка полного цикла управления процессами:
 - 3.1.1.1 создание и редактирование шаблонов процессов с использованием холста задач;
 - 3.2.1.2 настройка последовательности выполнения задач и их связей;
 - 3.3.1.3 запуск, остановка и завершение процессов.
- 4.2. Настройка автоматизации работы с процессами:
 - 4.1.2.1 возможность задавать автоматическую смену статусов задач на основе установленных условий;
 - 4.2.2.2 возможность автоматически активировать задачи в зависимости от связей между ними.
- 5.3. Отображение и управление процессами:
 - 5.1.3.1 визуальное представление задач и их статусов на холсте для отслеживания выполнения процессов в режиме реального времени;
 - 5.2.3.2 возможность оставлять текстовые комментарии в задачах.
- 6.4. Возможность перехода от события к связанному процессу и обратно.

5.8 КОНСТРУКТОР ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ МНЕМОСХЕМ

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части создания пользовательских мнемосхем:

1. Возможность создания пользовательских мнемосхем на основе стандартных блоков при помощи механизма перетаскивания (drag-and-drop).
2. Должны поддерживаться следующие стандартные блоки (как минимум):
 - 2.1 блок «Текст» — для отображения статических текстовых аннотаций;
 - 2.2 блок «Значение» — для визуализации мгновенного скалярного значения параметра с поддержкой цветовой сигнализации по заданным диапазонам;
 - 2.3 блок «Светофор» — для цветовой индикации состояния параметра по заданным пороговым диапазонам с возможностью настройки ориентации и цвета сегментов;
 - 2.4 блок «Статус» — для отображения текущего состояния объекта («В работе», «Нерабочий режим», «Остановлен») с привязкой к статусным переменным;
 - 2.5 блок «Изображение» — для встраивания растровых (PNG, JPG) и векторных (SVG) изображений;
 - 2.6 блок «Таблица» — для отображения значений нескольких параметров в табличной форме с настраиваемым набором колонок и возможностью скрытия строк;
 - 2.7 блок «Пользовательский спидометр» — для круговой визуализации значения скалярного параметра с настраиваемыми границами шкалы и цветовой разметкой секторов;
 - 2.8 блок «Оптимизационный спидометр» — для одновременного отображения:
 - 2.8.1 текущего и рекомендованного значений управляющего параметра;

- 2.8.2 текущего значения целевого параметра и его положения относительно желаемого диапазона, с масштабированием, определяемым настройками оптимизатора;

2.92.1 блок «**Влияние**» — для отображения в виде диаграммы степени влияния отдельных параметров модели на её индекс состояния (ИС);

2.102.2 блок «**Линейный график**» — для отображения временной истории параметра за заданный период с настраиваемым горизонтом агрегации.

3. Возможность привязки данных ПО к атомарным блокам мнемосхем.
4. Поддержка создания ссылок для перехода на другие мнемосхемы.
5. Поддержка создания ссылок для перехода к просмотру исторических данных.
6. Создание и редактирование мнемосхем доступно только пользователям с соответствующими привилегиями.

5.9 ПРОСМОТР ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

ПО должно отвечать следующим функциональным требованиям в части просмотра исторических данных:

1. Визуализация тегов ПО и информации, генерируемой ПО (события о регистрации аномалий, индексы технического состояния и пр.), в виде:
 - 1.1 график формата «временной ряд» для данных со скалярной структурой;
 - 1.2 график формата «спектрограмма» и «АЧХ» для данных со структурой массив (например, данных от систем вибродиагностики);
 - 1.3 график формата «диаграмма Ганта» для данных о выявленных неисправностях оборудования (период, на протяжении которого регистрировалась аномалия, обозначается полосой на оси времени).
2. При визуализации исторических данных:
 - 2.1 должны использоваться механизмы оптимизации выборок (агрегация) для обеспечения приемлемой производительности при больших объёмах данных;
 - 2.2 пользователь должен информироваться о применённых способах агрегирования/редуцирования данных (например, усреднение по окну, минимумы/максимумы);
 - 2.3 на всех графиках должны использоваться согласованные форматы времени, единицы измерения параметров и обозначения осей.
3. Настройка количества графиков и количества отображаемых на каждом графике параметров.
4. Редактирование отображаемой на графике информации в части:
 - 4.1 диапазона отображаемых дат;
 - 4.2 масштаба величин по оси ординат (использование исходного масштаба значений отдельных параметров или нормирование данных для приведения к единому диапазону).
5. Возможность наносить на графики метки с обозначением момента времени и значений переменных.
6. Возможность скачивать построенные графики в виде растровых изображений.
7. Возможность сохранять настройки графиков в виде отдельных графических областей для повторного просмотра; сохранённые настройки графиков (набор

параметров, интервалы, шкалы) могут быть переиспользованы пользователями с соответствующими правами.

- 8.1 Поддержка просмотра данных в нескольких областях в режиме синхронизации:
- 8.1.1 значения по оси абсцисс являются общими для всех графических областей;
 - 8.2.1.2 при просмотре нескольких областей в синхронизированном режиме действия по изменению интервала времени в одной области отражаются во всех областях.

5.10 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ ПО

1. ПО должно быть реализовано как набор независимых сервисов (микросервисов/модулей), каждый из которых отвечает за конкретную бизнес-функцию.
2. Вся система должна быть развёртываемой внутри инфраструктуры Заказчика (on-premise), без зависимости от внешних облачных сервисов.
3. Должна использоваться контейнеризация для упрощения развёртывания, обновления и масштабирования компонентов системы.
4. ПО должно поддерживать горизонтальное масштабирование вычислительных мощностей: максимальное количество одновременно обрабатываемых тегов, пропускная способность и время отклика должны определяться выделенными ресурсами.

5.11 ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРИЗАЦИИ И АУТЕНТИФИКАЦИИ

СПА должна отвечать следующим требованиям в части авторизации и аутентификации:

1. Должна использоваться централизованная аутентификация через внешний провайдер идентификации (IDP) с поддержкой защищённых протоколов, включая OpenID Connect и SAML 2.0.
2. Должна обеспечиваться интеграция с корпоративными каталогами пользователей (MS Active Directory, LDAP).
3. Ролевая модель должна обеспечивать разграничение доступа на уровне групп пользователей с возможностью назначения привилегий по функциональным областям системы.
4. Локальное хранение паролей в СПА либо не используется, либо ограничивается техническими учётными записями.

5.12 ТРЕБОВАНИЯ К ИНТЕГРАЦИИ СО СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

Каждый модуль (сервис) ПО должен обладать API-интерфейсом — внешним программным интерфейсом, предназначенным для интеграции со смежными системами:

1. Формат API — REST over HTTPS с использованием JSON.
2. API должно быть описано в машиночитаемом формате (OpenAPI/Swagger), входящем в состав документации.

3. API должно поддерживать механизм версионирования (v1, v2 и т. п.), позволяющий вносить изменения без нарушения работы существующих интеграций.
- 4.1. Доступ к API подлежит аутентификации и авторизации (в том числе для сервисных учётных записей) с журналированием вызовов.

5.13 ТРЕБОВАНИЯ К ЖУРНАЛИРОВАНИЮ

СПА должна отвечать следующим требованиям в части журналирования:

1. Для каждого модуля системы должно вестись журналирование системных событий.
2. Хранение журналов событий должно осуществляться за настраиваемый период; конкретный срок хранения определяется при внедрении.
3. Журналы должны вестись в структурированном формате (как минимум, должны присутствовать следующие атрибуты: дата/время, модуль, уровень важности, идентификатор пользователя/сервиса, объект действия, результат действия, дополнительные параметры).
4. В журналах должно использоваться синхронизированное время (NTP-сервер Заказчика).
5. Журнал аудита должен фиксировать все значимые действия пользователей, включая: вход/выход, изменение прав доступа, изменение конфигурации моделей и правил, создание/изменение/удаление мнемосхем, изменение параметров оптимизации.
6. Журнал аудита должен быть защищён от модификации.
7. Права доступа к журналам и средствам просмотра логов должны управляться через ролевую модель.
8. Накопление метрик в СПА должно реализовываться асинхронно и не препятствовать выполнению основного функционала.

5.14 ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМУ ИНТЕРФЕЙСУ

ГПИ ПО должен отвечать следующим требованиям эргономики:

1. Интерфейс Системы должен быть:
 - 1.1 русскоязычным;
 - 1.2 интуитивно понятным;
 - 1.3 web-ориентированным;
 - 1.4 унифицированным (однотипные действия выполняются одинаковым способом).
2. Взаимодействие пользователей с ПО должно осуществляться посредством визуального графического интерфейса. Интерфейс должен обеспечивать быстрое отображение экранных форм и не быть перегруженным нерелевантными элементами.
3. Все экранные формы пользовательского интерфейса должны быть выполнены в едином графическом стиле, с одинаковым расположением основных элементов управления и навигации.

4. Для обозначения сходных операций должны использоваться сходные графические значки, кнопки и другие управляющие (навигационные) элементы. Термины, используемые для обозначения типовых операций, а также последовательности действий пользователя при их выполнении должны быть унифицированы.
- ~~5.1.~~ Взаимодействие пользователя с Системой должно осуществляться на русском языке; исключения могут составлять только системные сообщения.
- ~~6.2.~~ Ход длительных процессов обработки должен отображаться на экране.
- ~~7.3.~~ Ввод-вывод данных, приём управляющих команд и отображение результатов их исполнения должны выполняться в интерактивном режиме.
- ~~8.4.~~ Интерфейс должен соответствовать современным эргономическим требованиям и обеспечивать удобный доступ к основным функциям Системы.
- ~~9.5.~~ Управление Системой должно осуществляться с помощью набора текстовых и графических меню, экранных кнопок, пиктограмм и прочих подобных элементов.
- ~~10.6.~~ Интерфейс должен предусматривать возможность изменения цветового оформления в целях пользовательской настройки.
- ~~11.7.~~ Диалог с пользователем должен быть оптимизирован для выполнения типовых и часто используемых операций пользователем, хорошо знающим свою предметную область.

5.15 ТРЕБОВАНИЯ К НЕПРЕРЫВНОСТИ РАБОТЫ

1. В архитектуре ПО не должно оставаться одиночных узлов, отказ которых приводит к полной недоступности СПА.
2. Требования по производительности и непрерывности работы определяются при внедрении с указанием:
 - 2.1 класса критичности и соответствующего коэффициента доступности (SLA), метрик RTO и RPO;
 - 2.2 регламента резервного копирования (перечень компонент и параметры РК: периодичность, глубина хранения и пр.);
 - 2.3 распределения зон ответственности и применимости SLA;
 - 2.4 методики расчёта SLA (месяц/квартал/год), включая учёт плановых технологических окон и регламентных работ.
3. При расчёте показателей доступности должны учитываться дефекты ПО вендора. Исключения касаются:
 - 3.1 отказов аппаратной инфраструктуры и средств виртуализации, находящихся в зоне ответственности Заказчика;
 - 3.2 ошибок стороннего ПО (ОС, СУБД и др.), не входящего в состав поставки.