ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«САЙБЕРФИЗИКС»
(ООО «Сайберфизикс»)

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

Описание функциональных характеристик программного обеспечения

Москва, 2024

АННОТАЦИЯ

В документе представлено описание функциональных характеристик программного обеспечения CyberStudio (далее – ПО CyberStudio) – платформа для предиктивной аналитики оборудования и оптимизации режимов технологических процессов.

Приведено краткое описание ПО, перечислены решаемые задачи, дан перечень функциональных возможностей ПО, указаны типовые требования к вычислительным ресурсам.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ 2
СОДЕРЖАНИЕ 3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 4
1 Краткое описание ПО CyberStudio 5
2 Задачи, решаемые ПО CyberStudio 8
3 Функциональные возможности ПО CyberStudio 9
3.1 Модуль администрирования ПО 9
3.2 Вкладка «Коннектор к данным» 12
3.3 Вкладка «Аналитика» 14
3.4 Вкладка «Создание секций» 15
3.4.1 Конфигурация структуры проекта 15
3.4.2 Создание эталонных моделей оборудования 16
3.4.3 Конфигурация классификатора дефектов и настройка ИС 21
3.4.4 Конфигурация оптимизатора технологического процесса 25
3.5 Вкладка «Мониторинг» 29
3.5.1 Мониторинг состояния оборудования 29
3.5.2 Оптимизация технологического процесса 33
3.6 Вкладка «Мониторинг-мнемосхемы» 34
4 Типовые требования к ИТ инфраструктуре 36

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем документе используются следующие обозначения и сокращения:

ПО CyberStudio (ПО) – платформа для предиктивной аналитики оборудования и оптимизации режимов технологических процессов;

ИТ – информационные технологии;

СУБД – система управления базой данных;

1 Краткое описание ПО CyberStudio

ПО CyberStudio предназначено для предиктивной аналитики оборудования и оптимизации технологических процессов.

В основе ПО лежит технология создания моделей единиц оборудования или технологических процессов при помощи технологий машинного обучения и (или) физико-математических моделей.

Модели создаются на основе архивов работы оборудования и (или) технологического процесса.

Схема, описывающая взаимодействие пользователей с ПО при настройке алгоритмов предиктивной аналитики и работе при мониторинге состояния оборудования, показана на Рисунке 1.

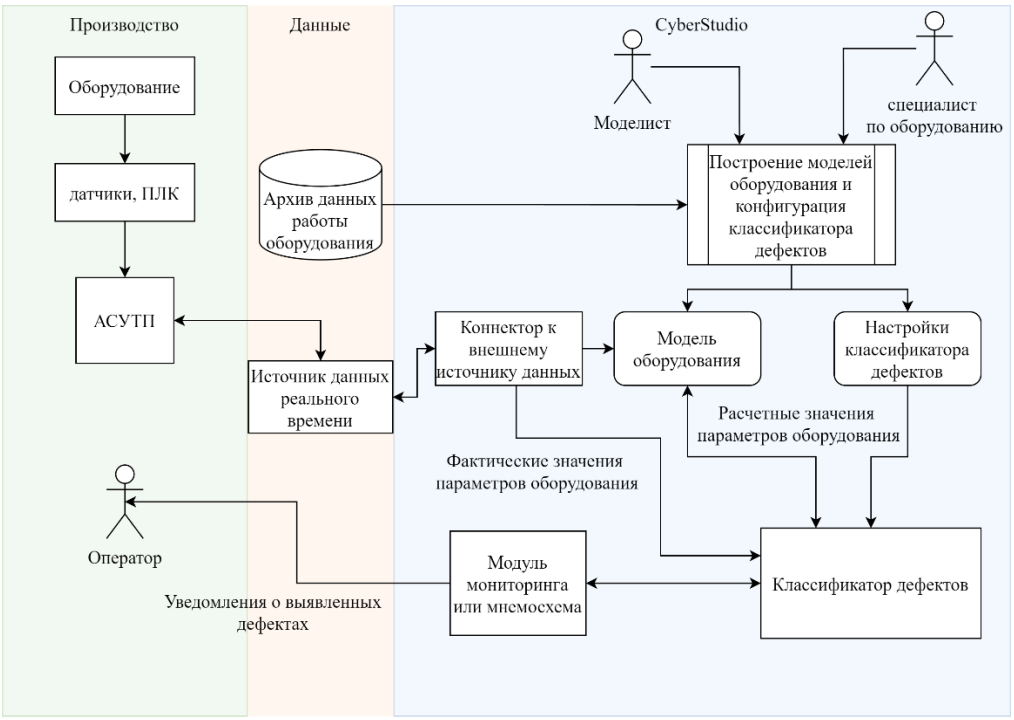


Рисунок 1 — Схема, описывающая взаимодействие пользователей с ПО при настройке алгоритмов предиктивной аналитики и работе при мониторинге состояния оборудования

При выполнении задач предиктивной аналитики при помощи моделей анализируется техническое состояние оборудования и производится

выявление дефектов на основе анализа отклонения фактических показателей оборудования от эталонных, рассчитываемых при помощи модели.

При выполнении задач оптимизации технологических процессов при помощи модели технологического процесса формируются рекомендации на управляющие параметры технологического процесса таким образом, что при их выполнении операторами значения целевых показателей технологического процесса находятся в требуемых диапазонах.

Схема, описывающая взаимодействие пользователей с ПО при настройке алгоритмов оптимизации и работе с рекомендациями для оптимизации ТП, показана на Рисунке 2.

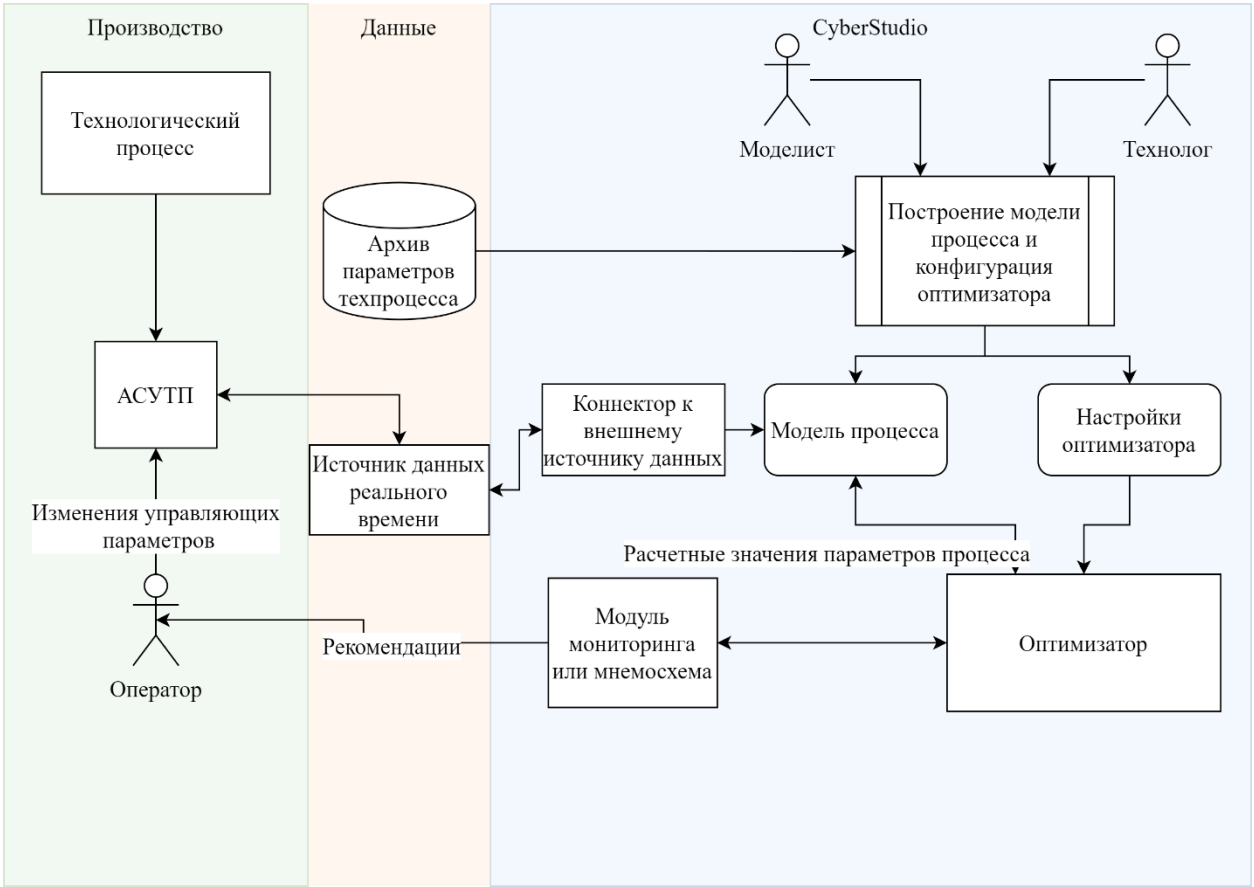


Рисунок 2 — Схема, описывающая взаимодействие пользователей с ПО при настройке алгоритмов оптимизации и работе с рекомендациями для оптимизации ТП

Процессы предиктивной аналитики и (или) оптимизации технологических процессов выполняются в режиме мягкого реального времени с использованием получаемых данных, получаемых от источников данных реального времени (OPC сервер, база данных).

Текущие показатели мониторинга состояния оборудования и (или) процесса оптимизации технологического процесса выводятся в интерфейсе ПО в специальной вкладке или при помощи конфигурируемых дашбордов.

2 Задачи, решаемые ПО CyberStudio

ПО CyberStudio решает следующие задачи:

1. Администрирование ПО: управление пространствами и проектами, импорт и экспорт проектов, создание и управление пользователями.
2. Создание и управление источниками данных: исторические источники данных и источники данных реального времени. Исторические источники данных создаются на основе загружаемых в ПО данных в виде электронных таблиц (формат .csv), источники данных реального времени получают данные от систем АСУТП при помощи коннектора;
3. Аналитика ретроспективных данных;
4. Создание и тестирование моделей оборудования;
5. Настройка алгоритмов мониторинга состояния оборудования для выявления дефектов;
6. Настройка алгоритмов оптимизации ТП;
7. Проверка эффективности алгоритмов мониторинга состояния оборудования и алгоритмов оптимизации ТП на исторических данных;
8. Мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени;
9. Формирование рекомендаций по оптимизации технологического процесса в режиме реального времени;
10. Визуализация показателей состояния оборудования или сформированных рекомендаций в специальных вкладках мониторинга;
11. Визуализация показателей из п.9 на настраиваемых мнемосхемах (дашбордах).

3 Функциональные возможности ПО CyberStudio

3.1 Модуль администрирования ПО

Информация в ПО структурирована в виде проектов и пространств. Пространство – сущность, содержащая в себе один или нескольких проектов. Проект – сущность в ПО, содержащая в себе настройки и данные ПО для выполнения задач предиктивной аналитики и (или) оптимизации для произвольного набора единиц оборудования и (или) технологических процессов.

Пример иерархии показан ниже:

— Пространство A:
  - Проект Z;
  - Проект Q;
  - Проект V;

— Пространство B:
  - Проект I;
  - Проект J;
  - Проект K;

…

— Пространство C.

Полномочия пользователей разных типов определяются их принадлежностью к разделению на пространства, а также ролью в проекте.

В части принадлежности к пространствам пользователи разделяются на следующие типы:

1. Суперпользователь;
2. Администратор пространства;
3. Участник пространства с ролью:
   3.1. Администратора проекта;
   3.2. Инженера в проекте;
   3.3. Оператора в проекте.

Матрица полномочий для этих категорий пользователей 1, 2, 3 в части управления проектами и пространствами показана в Таблице 1.

Таблица 1 — матрица полномочий пользователей

Операции	Суперпользователь	Администратор пространства	Участник пространства	Участник пространства с ролью администратора проекта
Создание:				
Пространства	+	-	-	-
Участников пространства	+	+	-	-
Проектов	+	+	-	-
Членов проекта	+	+	-	+
Просмотр информации:				
Пространства	+	+	-	+
Участников пространства	+	+	-	+
Проектов	+	+	-	+
Членов проекта	+	+	-	+
Редактирование информации:				
Пространства	+	+	-	-
Участников пространства	+	+	-	-
Проектов	+	+	-	+
Членов проекта	+	+	-	+
Удаление				
Пространства	+	+	-	-
Участников пространства	+	+	-	-
Проектов	+	+	-	+
Членов проекта	+	+	-	+

Матрица полномочий для пользователей внутри проекта в зависимости от роли в проекте показана в Таблице 2.

Таблица 2 — матрица полномочий пользователей в рамках проекта

Имеет доступ к вкладке:	Администратор	Инженер	Оператор
Коннектор к данным	+	+	+
Аналитика данных	+	+	-
Создание моделей	+	+	-
Мониторинг	+	+	+
Мониторинг-дашборды	+	+	+
Настройки проекта	+	-	-

В модуле администрирования есть возможности:

— Управление пользователями (добавление, удаление, редактирование);

— Управление пространствами (добавление, удаление, редактирование);

— Управление проектами (добавление, удаление, редактирование);

— Экспорт и импорт архива проекта (см. снимок экрана на Рисунке 3). Экспорт архива проекта позволяет воссоздать все настройки проекта при переносе с одного экземпляра на другой при помощи импорта архива проекта в новом экземпляре ПО;

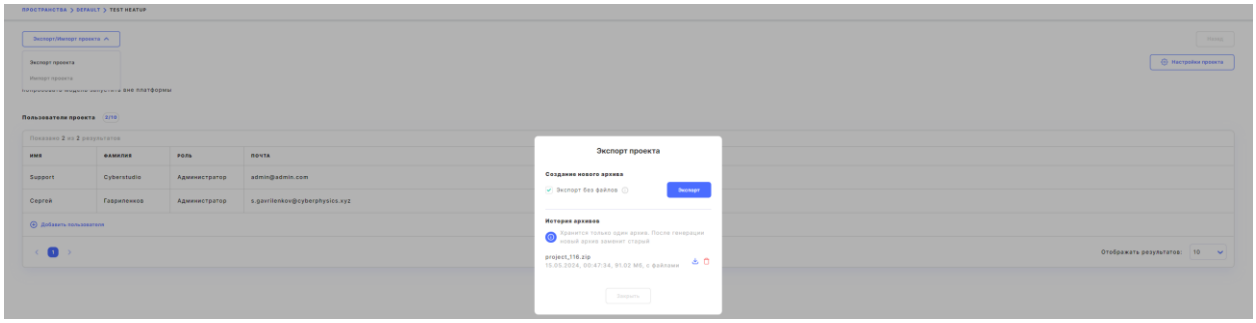


Рисунок 3 — экспорт проекта

3.2 Вкладка «Коннектор к данным»

ПО CyberStudio обладает возможностью работы с ретроспективными и внешними источниками (Рисунок 4).

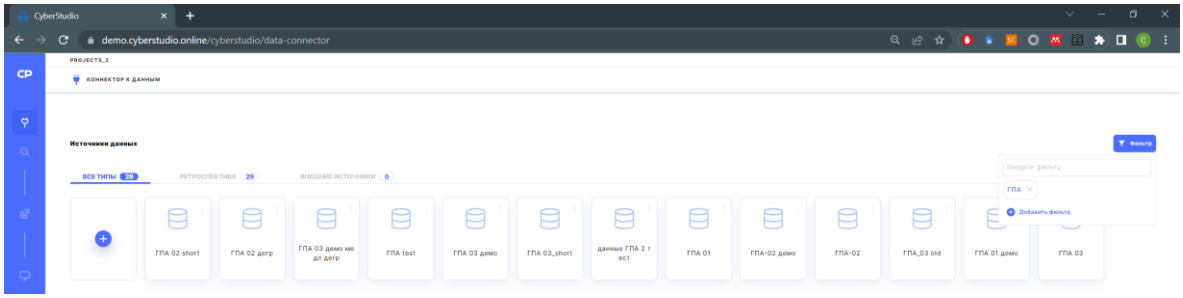


Рисунок 4 — источники данных

Ретроспективный источник данных служит для конфигурации и тестирования эталонных моделей оборудования и классификатора дефектов.

Внешний источник данных служит для получения значений параметров оборудования для непосредственно мониторинга состояния (Рисунок 5). Соединение с технологическими данными осуществляется при помощи специальной программы (коннектор), которая разрабатывается в процессе подключения ПО CyberStudio к реальным данным, например БД PostgreSQL, сервер OPC UA, сервер MODBUS.

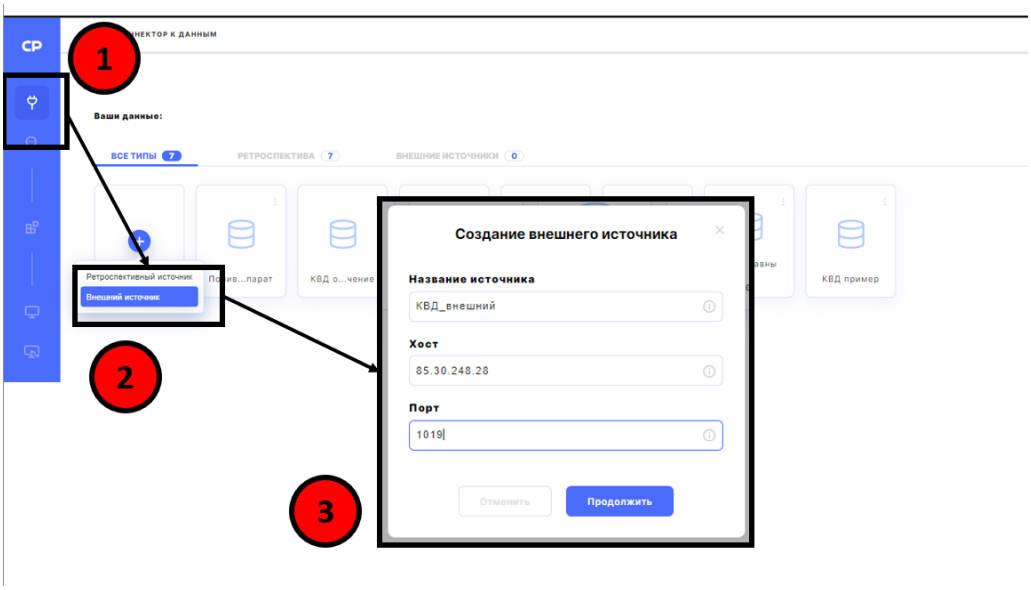


Рисунок 5 — конфигурация подключения к источнику данных реального времени

ПО CyberStudio позволяет создавать произвольное количество ретроспективных и внешних источников данных. В ретроспективные источники данных можно загружать данные в виде электронных таблиц в формате .xlsx, .csv и управлять настройками загрузки данных (Рисунок 6).

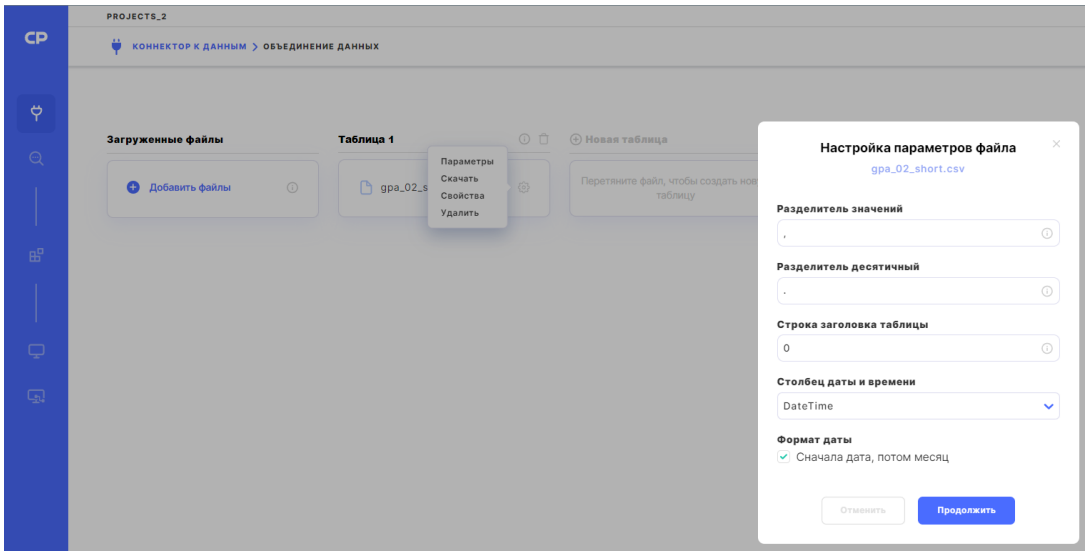


Рисунок 6 — управление настроек загрузки данных

При настройке источника данных можно выбрать только интересующие инженера параметры, а также задать для них псевдонимы:

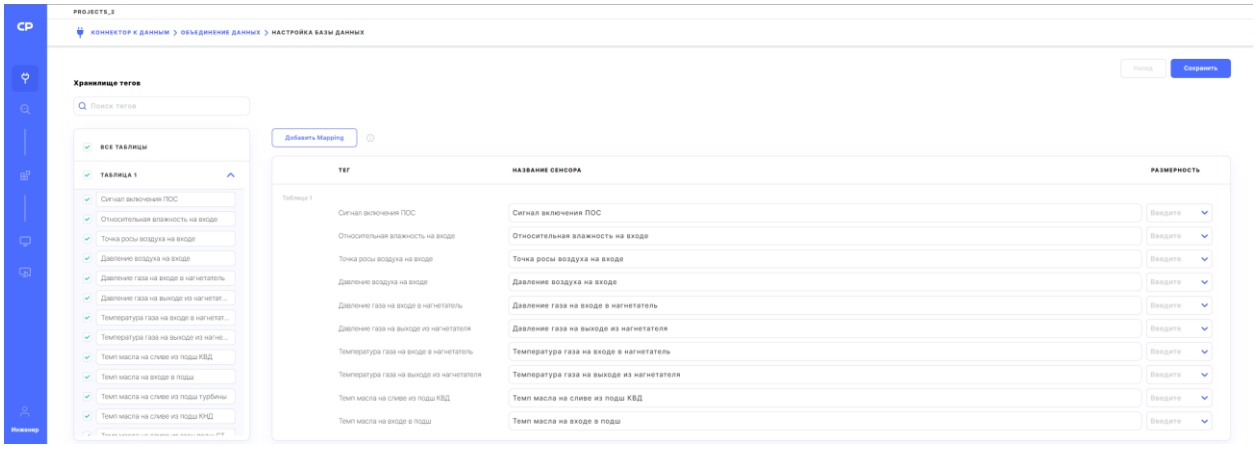


Рисунок 7 — настройка загруженных параметров в источнике данных

3.3 Вкладка «Аналитика»

ПО CyberStudio позволяет проводить разведочный анализ данных работы оборудования при помощи построения графиков временных рядов, которые могут использоваться для настройки и тестирования эталонных моделей и классификатора дефектов оборудования (Рисунок 8).

Рисунок 8 — графический анализ ретроспективных данных

При этом можно настроить параметры отображения для каждого графика – Рисунок 9.

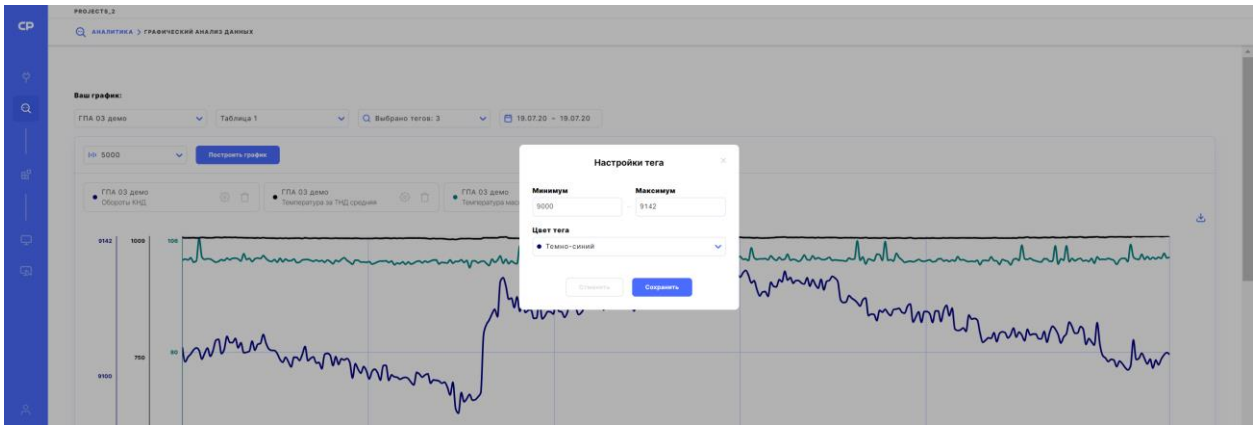


Рисунок 9 — настройка отображения графика

3.4 Вкладка «Создание секций»

3.4.1 Конфигурация структуры проекта

Информация об оборудовании собирается на уровне единиц оборудования.

Выявление дефектов происходит при помощи шаблонов эталонных моделей. Каждая единица оборудования может реализовать один или несколько шаблонов моделей. Единицы оборудования собираются внутри секций (Рисунок 10).

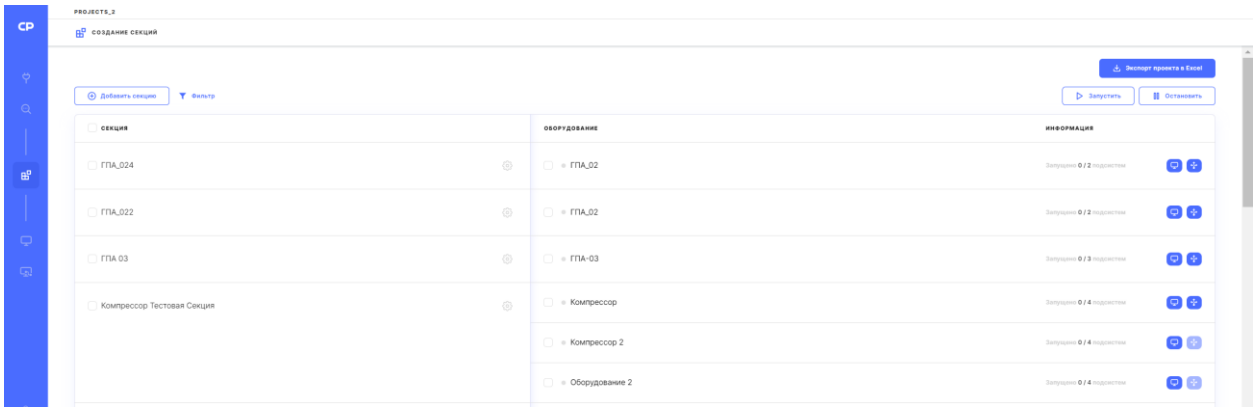


Рисунок 10 — Информация о секциях оборудования и единицах оборудования внутри секций

Иерархия сущностей внутри проекта показана на схеме на Рисунке 11.

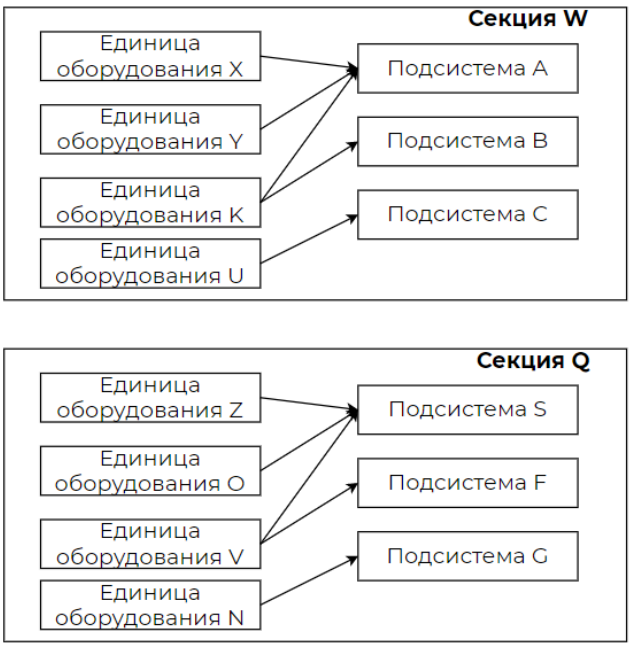


Рисунок 11 — иерархия сущностей в проекте

Конфигурацию проекта (все настройки моделей и классификатора дефектов) можно выгрузить в электронную таблицу в формате Excel.

3.4.2 Создание эталонных моделей оборудования

Выявление дефектов происходит путем сопоставления фактических значений параметров оборудования с параметрами, рассчитанными при помощи эталонной модели.

ПО CyberStudio позволяет создавать регрессионные и физико-математические эталонные модели оборудования.

В **физико-математической** модели зависимость выходных параметров от входных выражается явно при помощи уравнений. При этом в уравнениях используются модельные константы, которые могут иметь уникальные значения для каждого конкретного экземпляра оборудования – Рисунок 12.

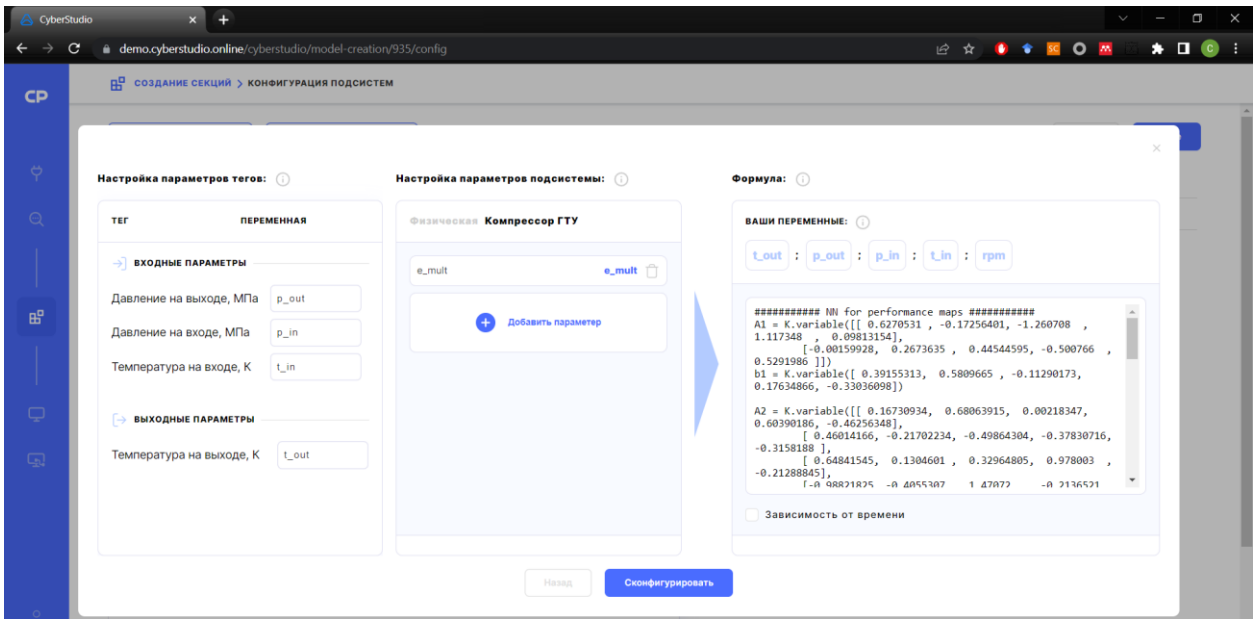


Рисунок 12 — пример конфигурации физико-математической модели

В регрессионных моделях зависимость выходных параметров модели от входных аппроксимируется при помощи методов машинного обучения (Рисунок 13):

- Нейронная сеть типа «многослойный перцептрон»;
- Байесовская нейронная сеть;
- Регрессия главных компонент;
- Модель, основанная на кластеризации данных оборудования методом k-средних.

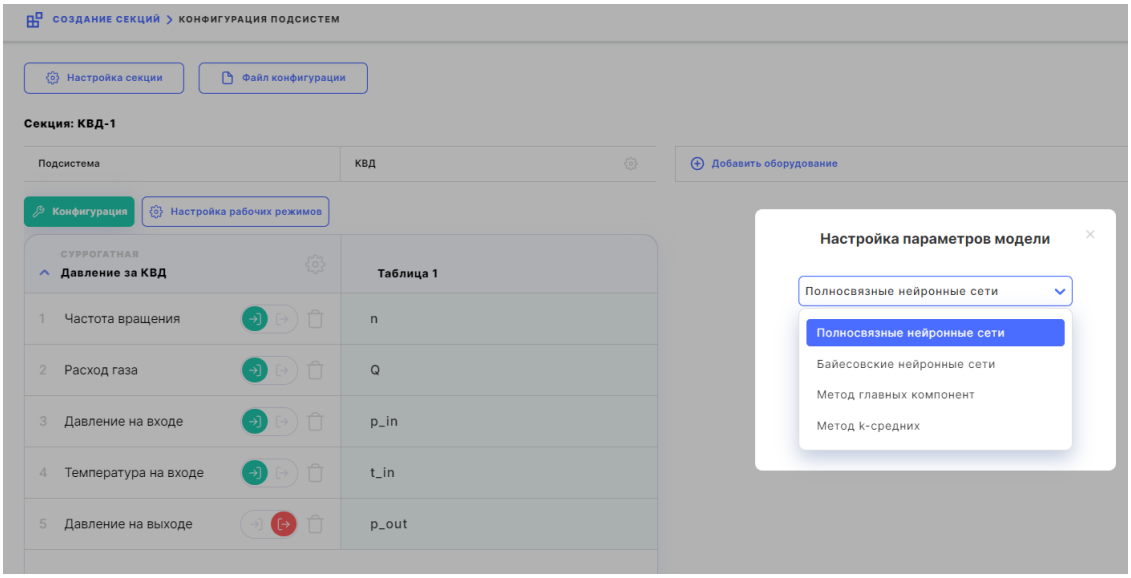


Рисунок 13 — методы машинного обучения, которые можно использовать для построения регрессионной модели

При создании моделей создаются сначала шаблоны моделей отдельных подсистем типовой единицы оборудования, после чего производится картирование параметров шаблона модели с конкретными параметрами единицы оборудования – Рисунок 14.

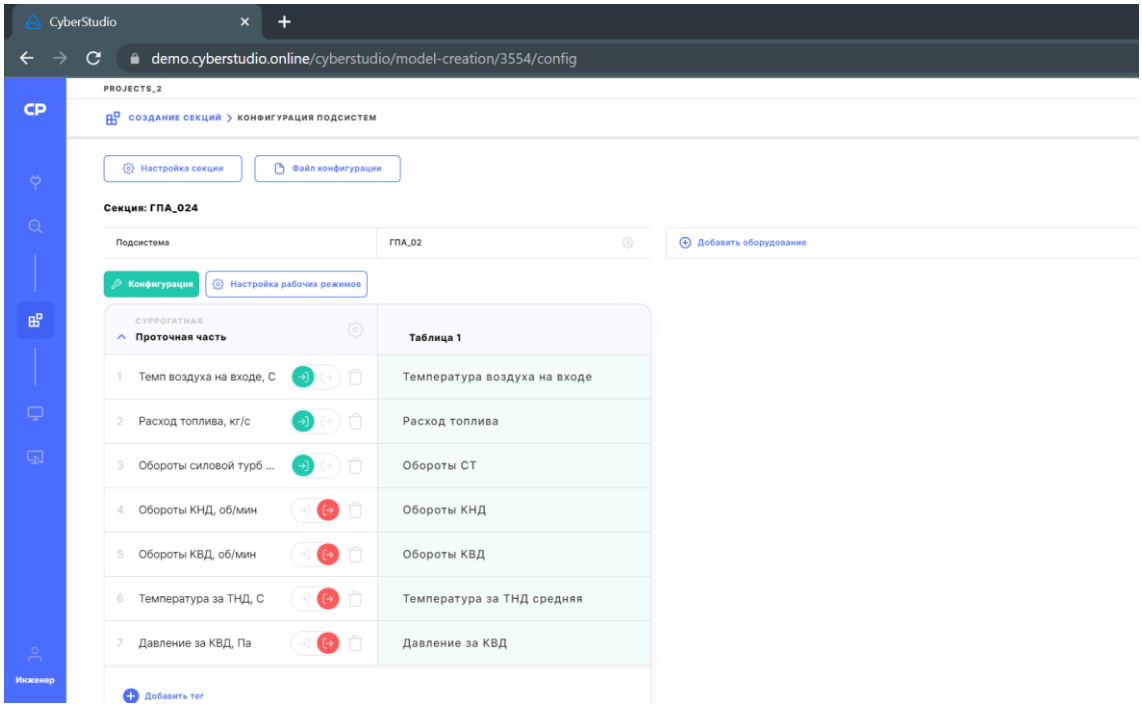


Рисунок 14 — картирование параметров модели

Настройка параметров эталонной модели производится автоматически при помощи автоматического машинного обучения (AutoML) – Рисунок 15.

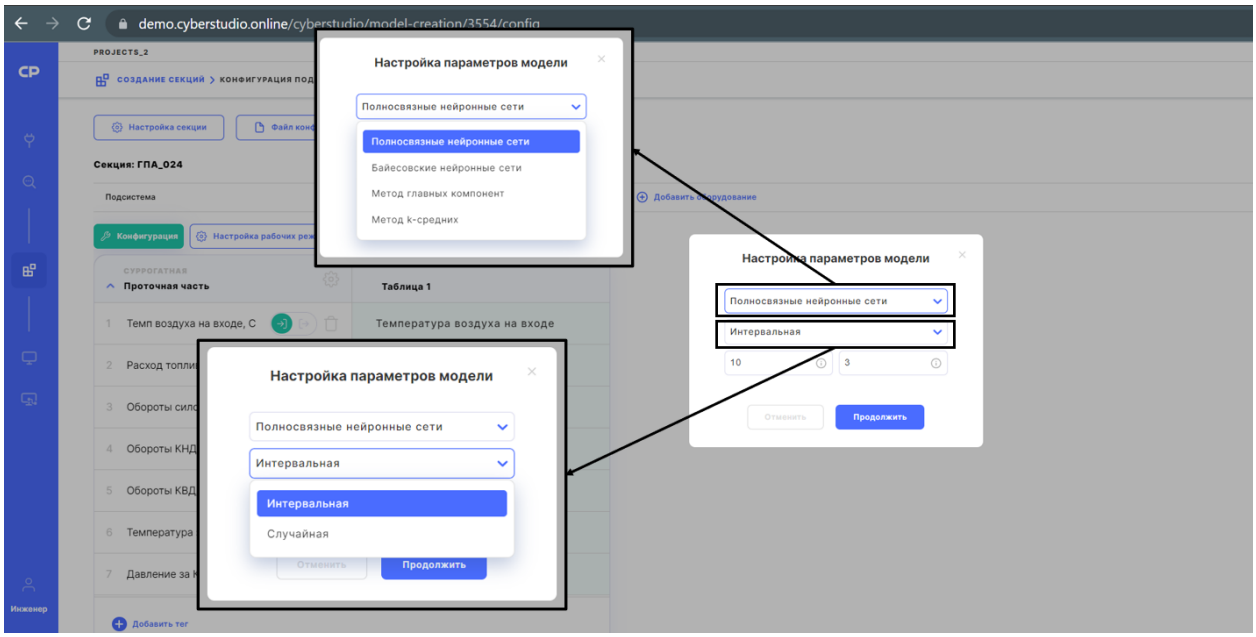


Рисунок 15 — задание параметров модели

В процессе обучения модели можно оценить точность модели при помощи графиков с настраиваемыми параметрами (Рисунок 16). Кроме того, можно ограничить набор данных для создания модели путем удаления или добавления временного диапазона.

Рисунок 16 — обучение модели

Также модель можно уточнить, при этом используется механизм дообучения (Рисунок 17). Уточнение модели может потребоваться в случае

изменения состояния объекта моделирования, например, после планового ремонта.

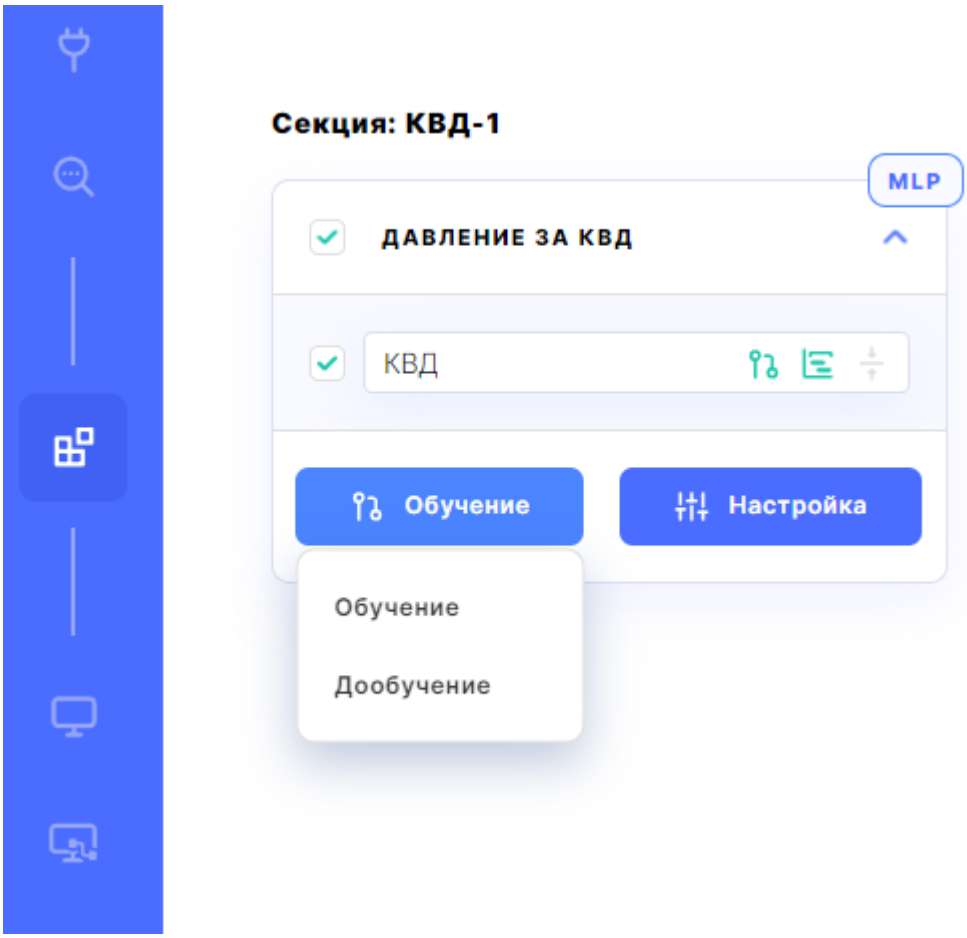


Рисунок 17 — дообучение модели

Точность настроенной модели можно оценить при помощи k-кратной перекрестной проверки – Рисунок 18.

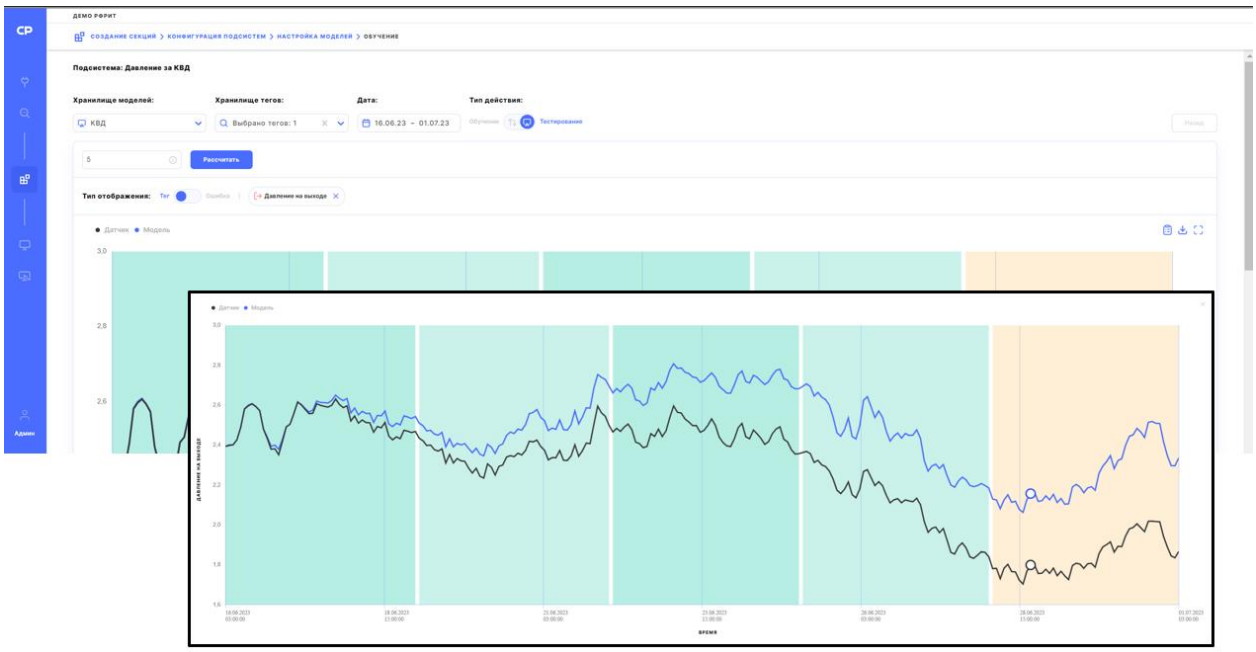


Рисунок 18 — испытание точности эталонной модели

3.4.3 Конфигурация классификатора дефектов и настройка ИС

ПО CyberStudio выявляет дефекты при помощи классификатора дефектов. Кроме того, общий уровень отклонения состояния единицы оборудования от заданного эталонного уровня оценивается при помощи индекса состояния (ИС). ИС представляет собой безразмерную величину, изменяющуюся от единицы (полностью исправное состояние) до нуля (есть дефект).

ПО CyberStudio поддерживает несколько способов конфигурации классификатора дефектов (Рисунок 19):

- Экспертное правило типа «синтетическая неисправность» - по одному параметру модели задается уровень разладки, соответствующий развившемуся дефекту;
- Экспертное правило типа «неисправность по ретроспективе» - инженер указывает точку на графике, соответствующую развившемуся дефекту, значения разладок по всем параметрам фиксируются в классификаторе дефектов автоматически.

- Экспертное правило типа «неисправность по критерию» – задается набор логических выражений, в которых значение разладки и/или абсолютное значение параметра, превышающее некоторый порог, соответствует развившемуся дефекту, при этом поддерживается создание сложных математических выражений с разладкой или абсолютным значением.

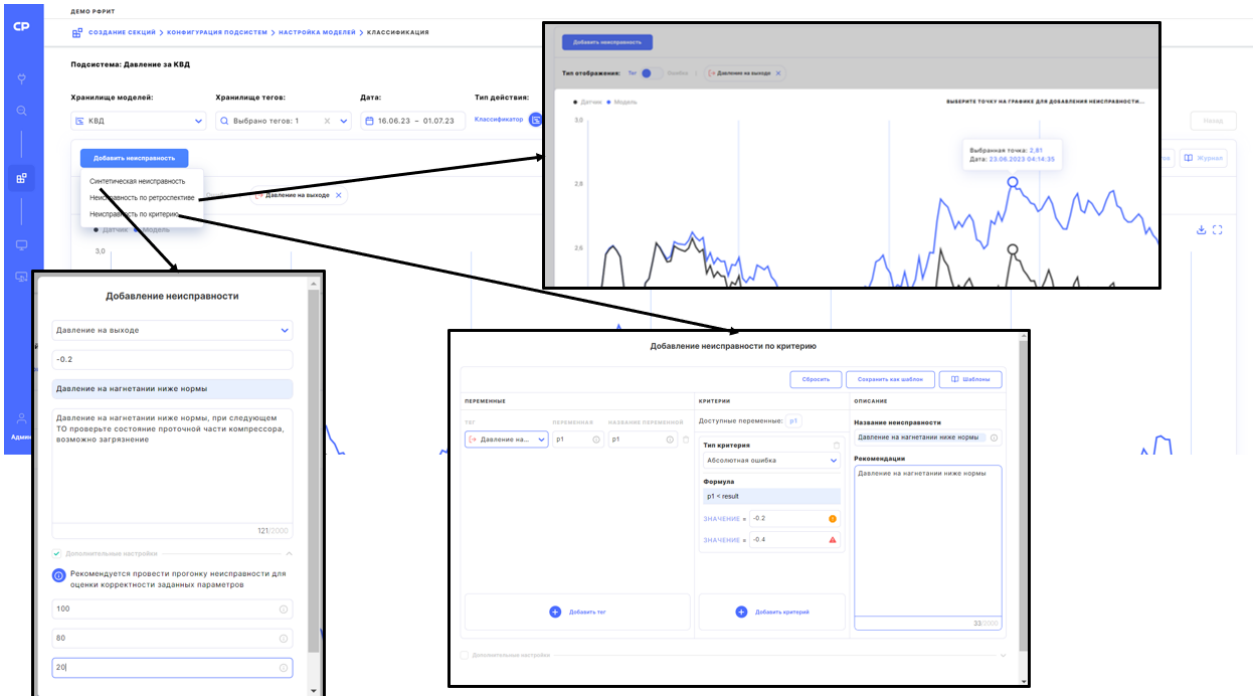


Рисунок 19 — способы конфигурации классификатора дефектов

Классификатор дефектов анализирует выполнение экспертных правил со скользящим окном, сообщение о неисправности выводится при выполнении ряда условий – Рисунок 20.

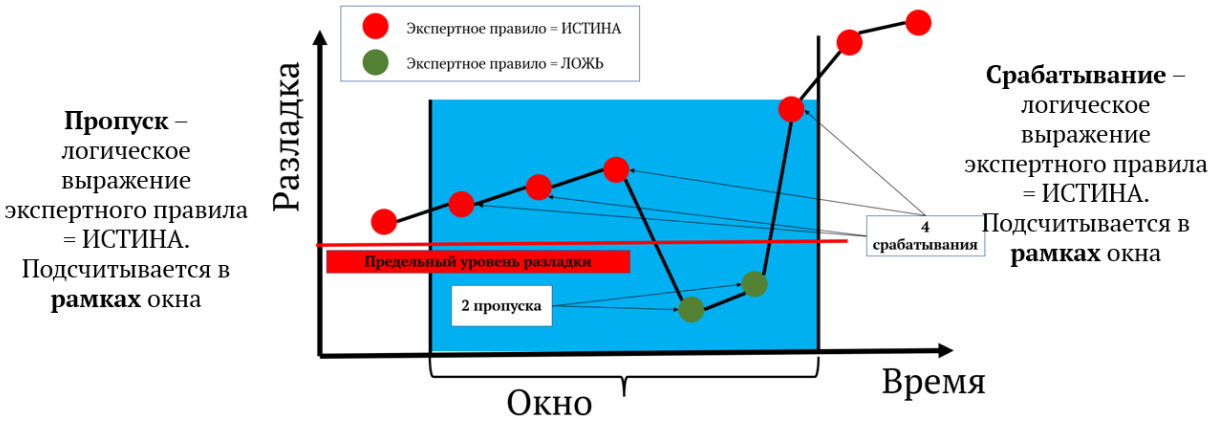


Рисунок 20 — принцип работы классификатора дефектов со скользящим окном

Для расчета ИС настраиваются два предела разладки по каждому выходному параметру – Рисунок 21.

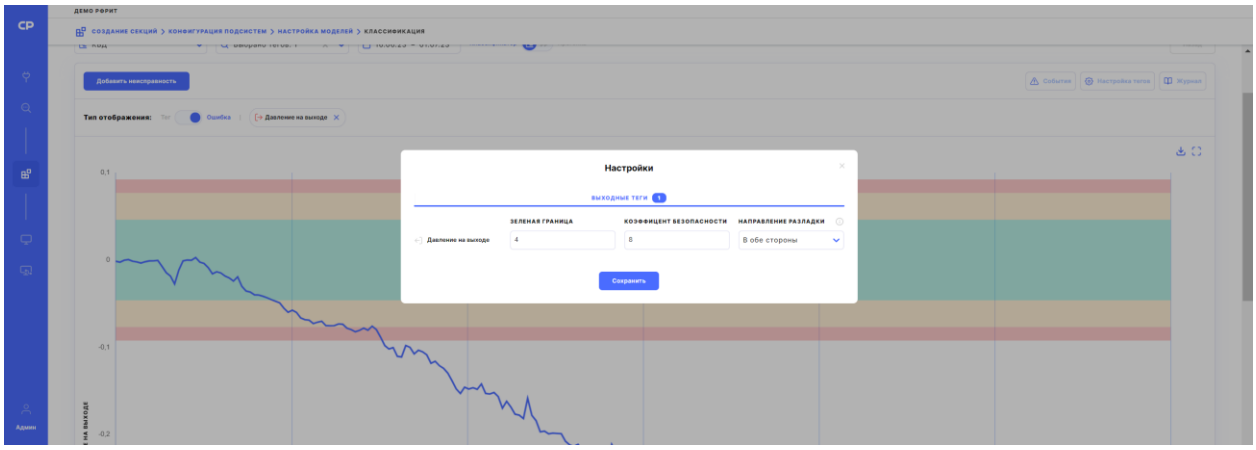


Рисунок 21 — настройка пределов разладки для расчета ИС

ИС рассчитывается для отдельных подсистем единицы оборудования, ИС единицы оборудования в каждый момент времени определяется как минимальный ИС по всем подсистемам единицы оборудования.

Проверить эффективность классификатора дефектов в части выявления дефектов можно при помощи прогонки. Прогонка – это виртуальный эксперимент, в ходе которого имитируется работа ПО CyberStudio на ретроспективных данных.

Рисунок 22 — прогонка классификатора дефектов, красная полоса соответствует периодам срабатывания классификатора дефектов

На основе результатов прогонки можно сформировать отчет в виде электронной таблицы Excel – Рисунок 23.

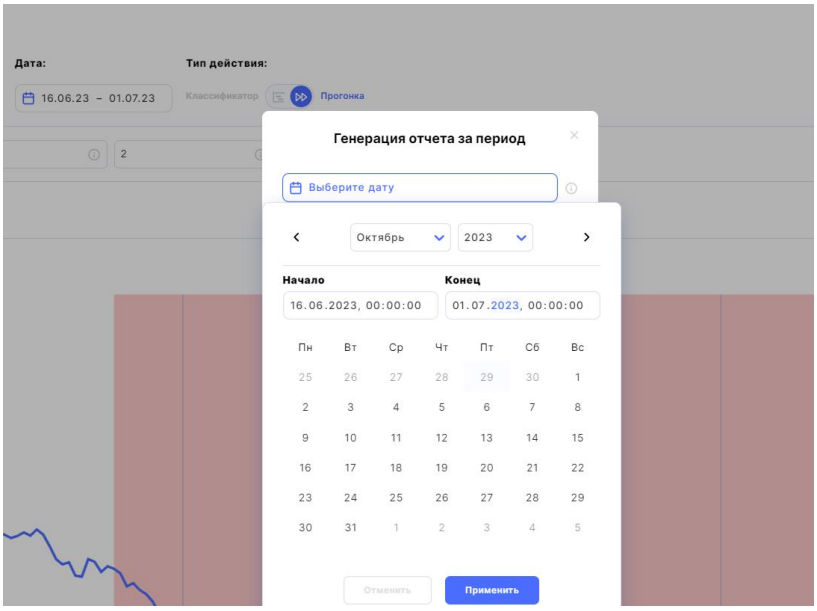


Рисунок 23 — формирование отчета о прогонке

3.4.4 Конфигурация оптимизатора технологического процесса

ПО «Сайберстудио» имеет функционал оптимизации технологических процессов (далее – оптимизатор) путем выдачи рекомендаций операторам по изменению управляющих параметров процесса таким образом, чтобы набор выбранных параметров процесса находился в желаемом диапазоне значений.

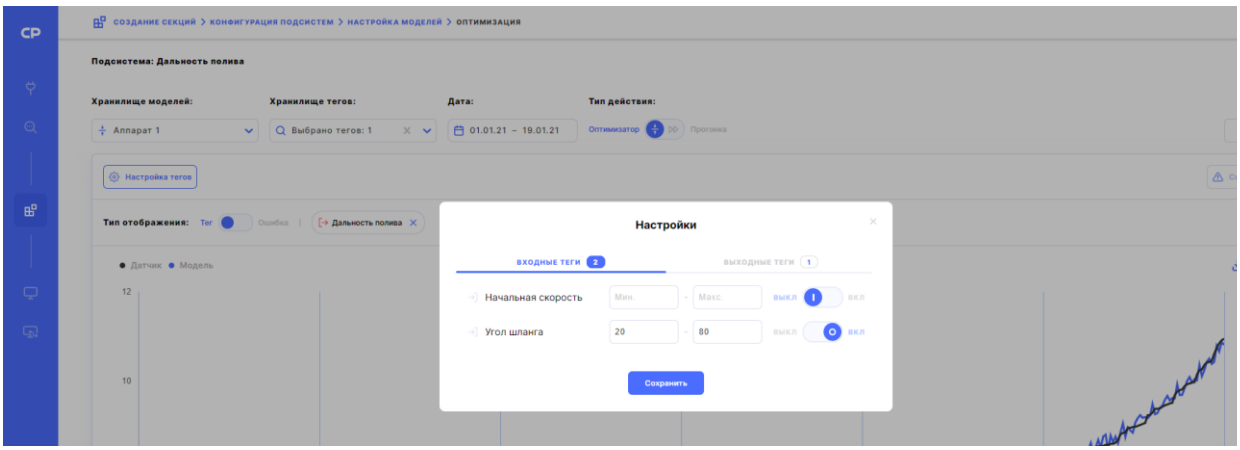
Формирование рекомендаций осуществляется на основе оптимизационного алгоритма и цифрового двойника процесса. Цифровой двойник в режиме реального времени рассчитывает одни параметры процесса на основе других при помощи физико-математической или суррогатной модели процесса. Модель создаётся на основе архива значений параметров процесса (ретроспективные данные).

На каждой итерации мониторинга оптимизационный алгоритм проверяет, находится ли текущее значение выбранного набора параметров в желаемом диапазоне значений. Если это условие не выполняется для какого-либо параметра или параметров, то алгоритм ADAM определяет градиент зависимости этого параметра от управляющих параметров и рассчитывает необходимо изменение управляющих параметров. Данная процедура повторяется некоторое количество раз, что определяет «глубину» оптимизации.

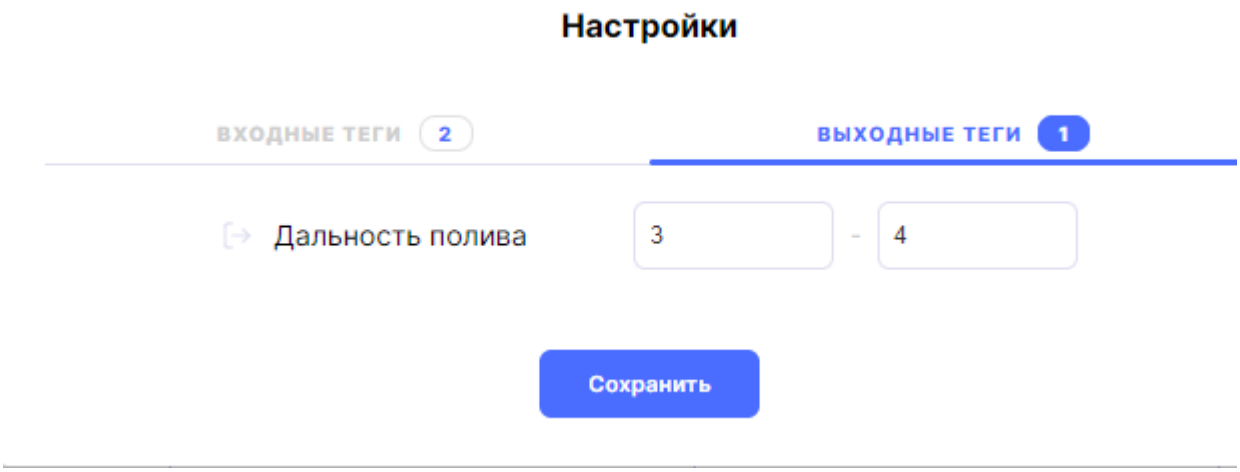
Для регулировки плавности выдаваемый рекомендаций параметры процесса анализируются в рамках регулируемого размера.

Пользовательский путь при настройке оптимизатора включает в себя создание модели процесса и тестирование точности модели, конфигурацию оптимизатора, тестирование эффективности оптимизатора (прогонка оптимизатора), запуск модели для работы с данными реального времени.

При конфигурации оптимизатора пользователь выбирает из числа входных параметров модели управляющие параметры и задает для них возможные диапазоны изменения – см. пример на Рисунке 24.



(а)



(б)

Рисунок 24 — пример настройки конфигурации оптимизатора

Тестирование эффективности оптимизатора осуществляется путем виртуального эксперимента на ретроспективных данных (прогонка). По результатам прогонки определяются участки, где параметры оптимальны без оптимизатора, оптимальны после применения оптимизатора и неоптимальны после применения оптимизатора. Пример прогонки показан на Рисунке 25.

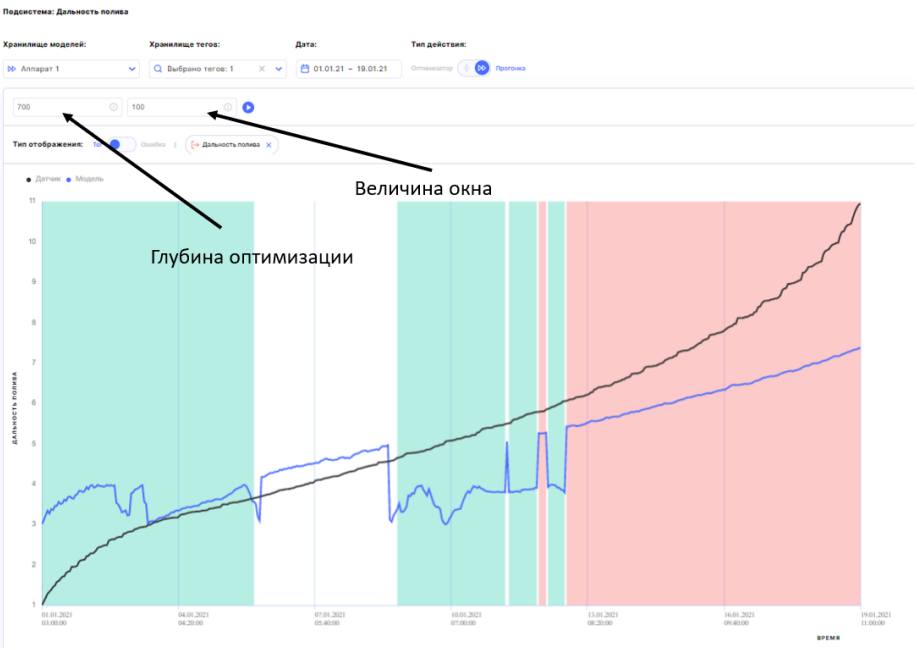


Рисунок 25 — результат прогонки оптимизатора. В зависимости от того, необходимо ли оптимизировать процесс на том или ином участке, участок раскрашивается: белым – если оптимизация не требуется, красным – если оптимизация требуется, но оптимизировать процесс не удалость, зеленым – если оптимизация требуется, и оптимизировать процесс удалось

По результатам прогонки определяются интегральные показатели эффективности оптимизатора. Для этого на каждом участке интервала прогонки определяется, являлись ли режимы оптимальными или нет, и если нет, то удалось ли оптимизатору их оптимизировать.

Интегральные показатели выводятся в сводке. Пример сводки приведен на Рисунке 26.

Рисунок 26 — сводка по результатам прогонки

3.5 Вкладка «Мониторинг»

На данной вкладке отображается информация, формируемая при мониторинге состояния оборудования или рекомендации при оптимизации технологического процесса.

3.5.1 Мониторинг состояния оборудования

ПО CyberStudio обладает возможность выявления дефектов оборудования в реальном времени, расчета и прогноза ИС с двумя горизонтами, а также прогноза достижения нулевого значения ИС.

Информация о показателях мониторинга группируется по единицам оборудования, на странице о единице оборудования выводятся основные показатели мониторинга – Рисунок 27.

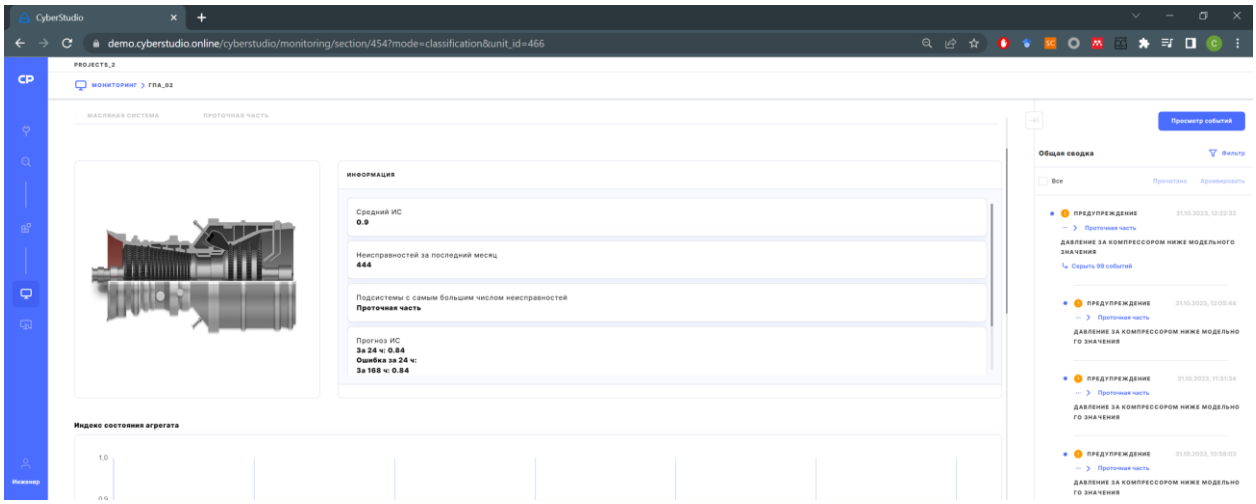


Рисунок 27 — информация о мониторинге на уровне единицы оборудования

Для единицы оборудования выводится график ИС, обновляемый в режиме реального времени – Рисунок 28.

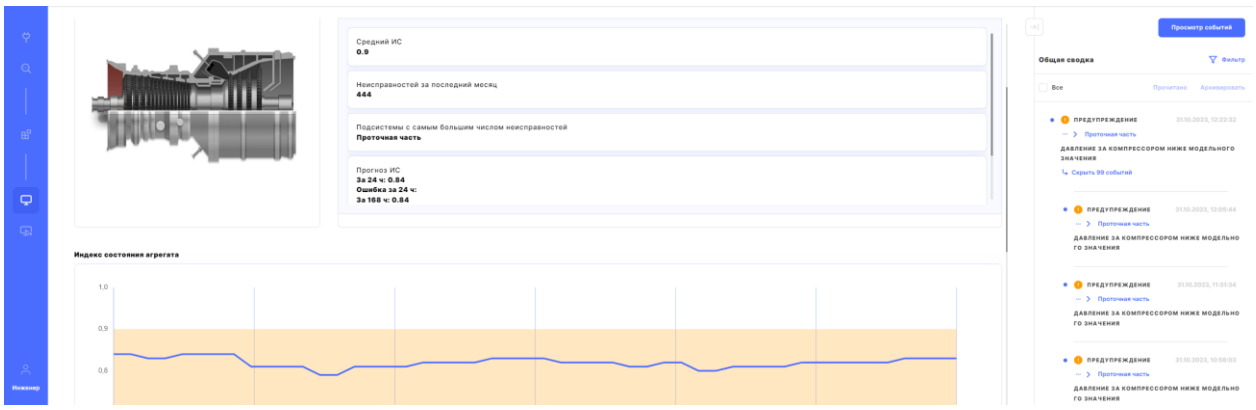


Рисунок 28 — график ИС единицы оборудования

На уровне подсистем единицы оборудования для каждой подсистемы выводятся мгновенные значения параметров подсистемы, график ИС подсистемы – Рисунок 29.

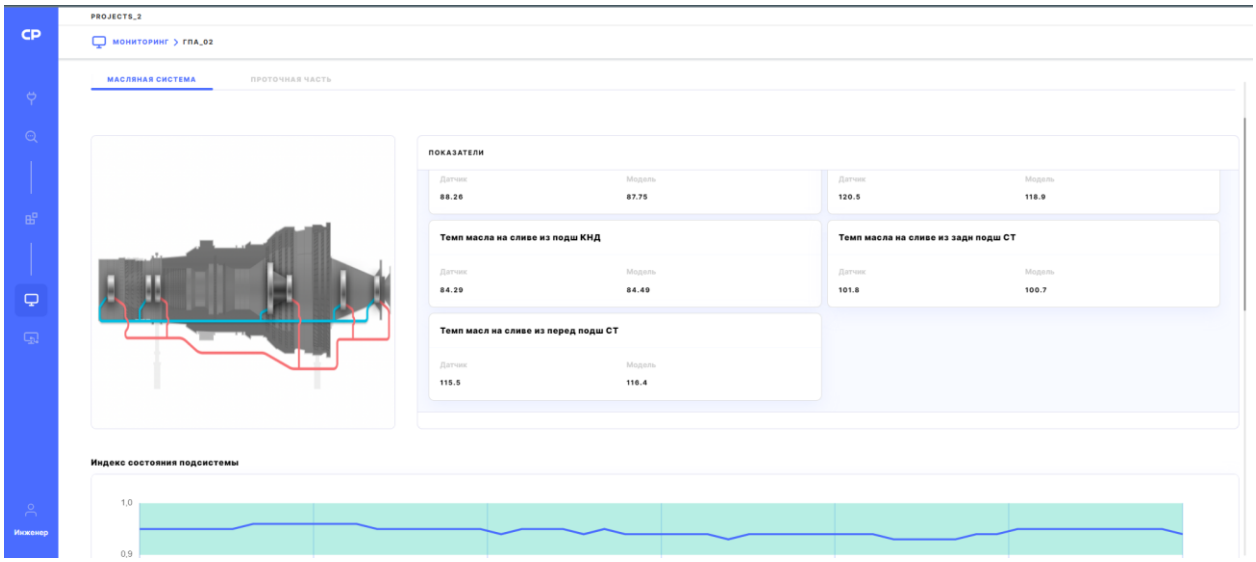


Рисунок 29 — информация о показателях мониторинга на уровне подсистемы единицы оборудования

При срабатывании классификатора дефектов выводится сообщения, сообщения мониторинга можно просмотреть в отдельной вкладке – Рисунок 30. Отображаемые в таблице сообщения мониторинга можно отфильтровать по значениям колонки таблицы.

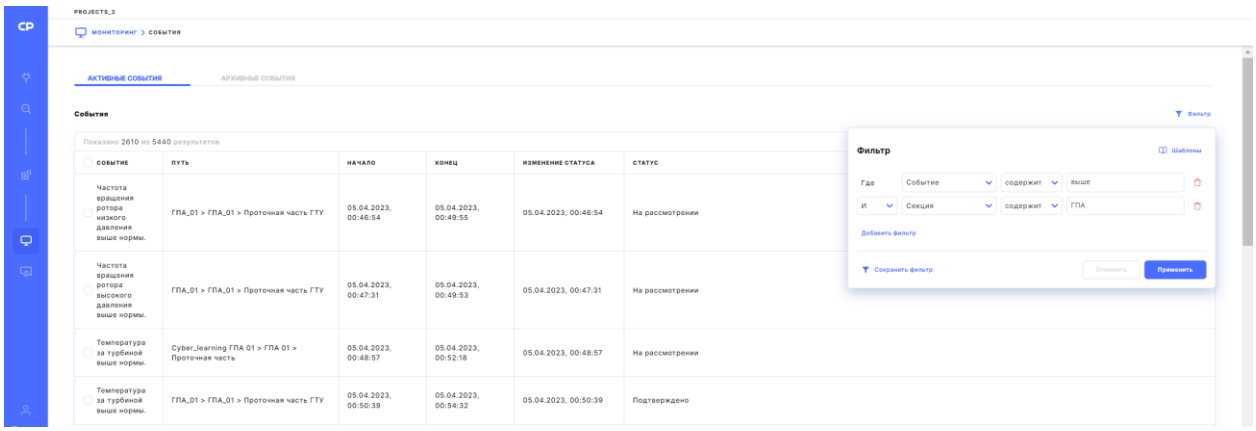


Рисунок 30 — сообщения мониторинга

Доступно управление событиями: можно оставлять комментарии, а также управлять статусами событий для отладки моделей и классификатора дефектов в процессе опытно-промышленной эксплуатации, при этом ПО CyberStudio сохраняет всю историю работы с событием.

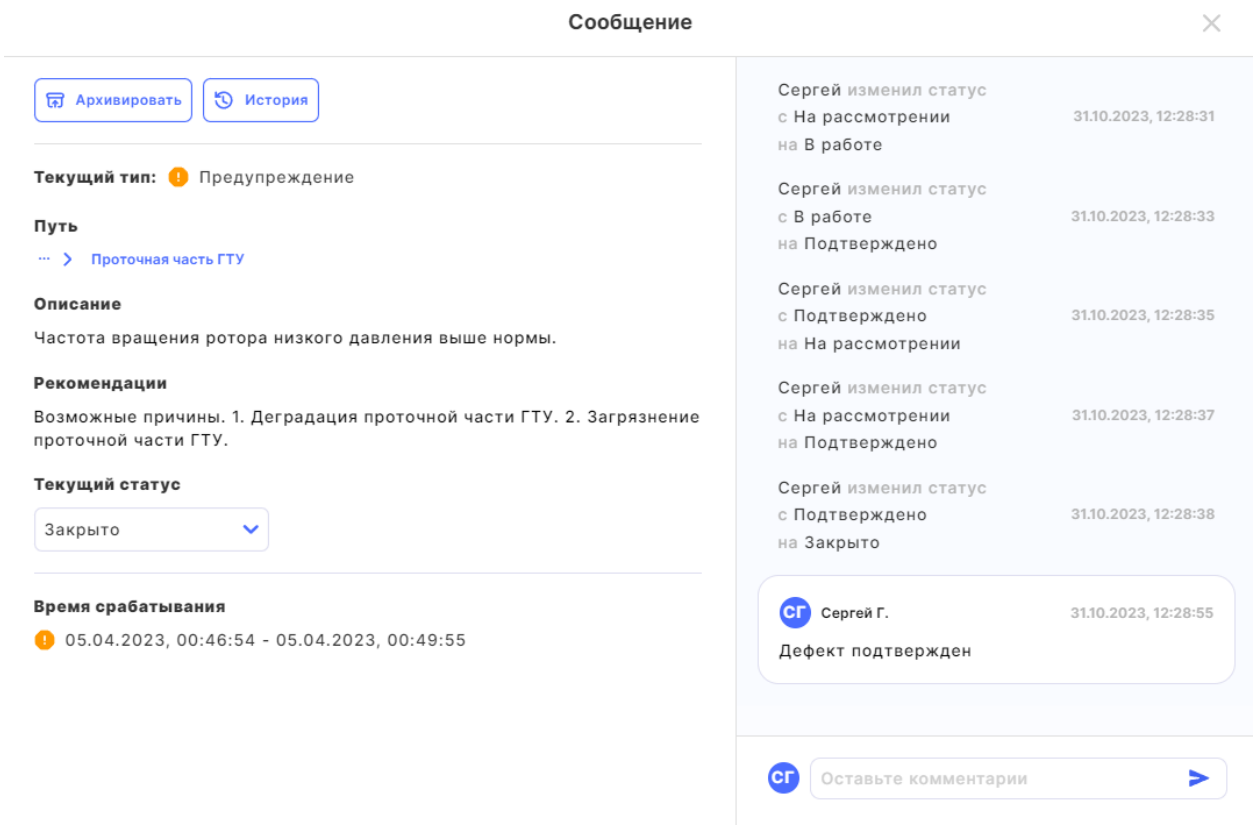


Рисунок 31 — управление событиями

Из окна события можно перейти в режим просмотра исторических данных мониторинга – Рисунок 32.

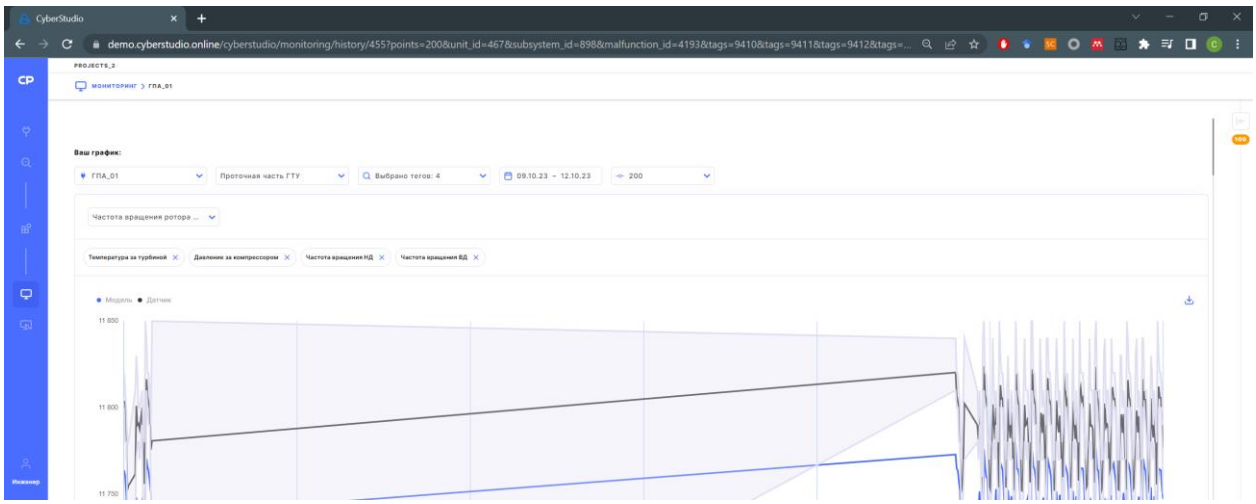


Рисунок 32 — история мониторинга

Также доступ к историческим данным мониторинга возможен в отдельном окне, можно просматривать историю мониторинга для всех единиц оборудования, которые были запущены в режиме мониторинга.

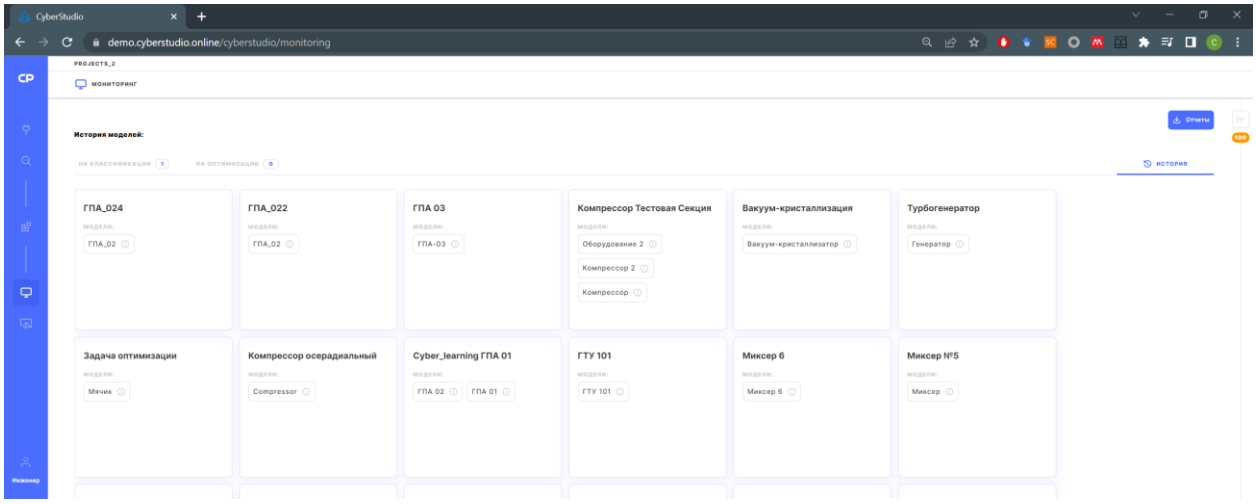


Рисунок 33 — выбор единицы оборудования для просмотра истории мониторинга

3.5.2 Оптимизация технологического процесса

ПО CyberStudio с настроенным для конкретного технологического процесса оптимизатором может быть запущено в режиме формирования рекомендации по оптимизации технологического процесса с заданным периодом дискретизации.

В этом режиме данные ТП в режиме реального времени поступают в ПО, и ПО на основе модели процесса формирует рекомендации по изменению управляющих параметров. Пример выводимых рекомендаций показан на Рисунке 34.

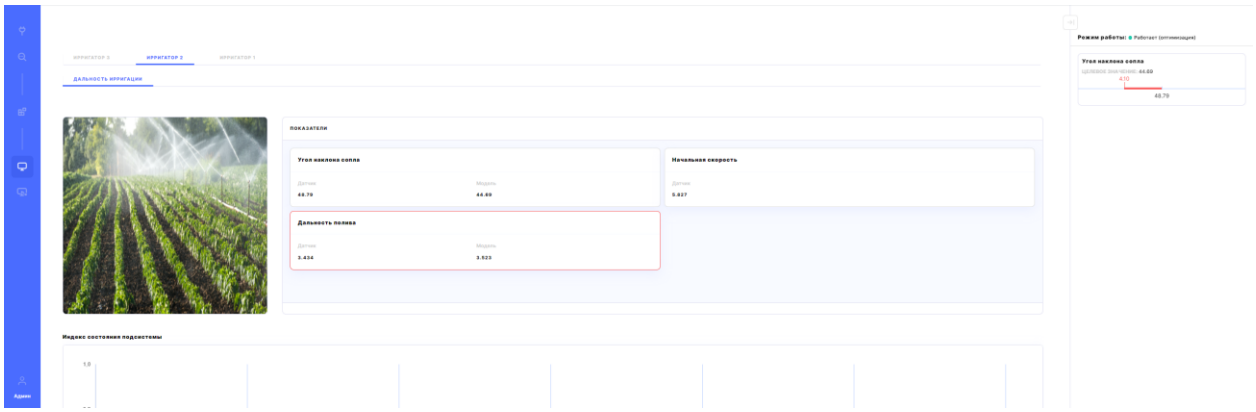


Рисунок 34 — вкладка «мониторинг», формирование рекомендаций по оптимизации ТП

3.6 Вкладка «Мониторинг-мнемосхемы»

На данной вкладке можно визуализировать информацию мониторинга оборудования и оптимизации ТП, которая также отображается на вкладке «Мониторинг» - см. предыдущий подраздел.

Визуализация осуществляется при помощи конфигурируемых дашбордов (мнемосхем). Дашборд составляется из стандартных блоков, например, «изображение», «ИС», «датчик-модель» и пр.

Пример дашборда для мониторинга состояния оборудования показан на снимке экрана на Рисунке 35.

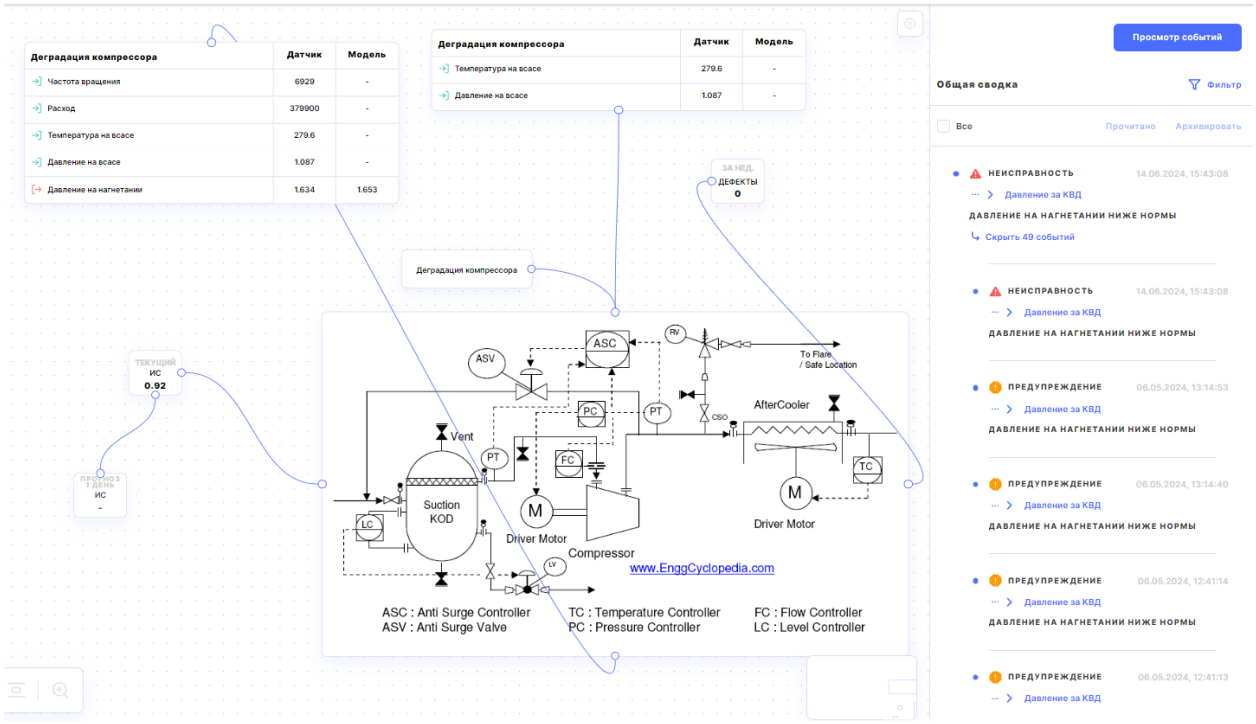


Рисунок 35 — пример дашборда для мониторинга состояния оборудования. В правой части дашборда выводятся сообщения о выявленных дефектах. На дашборде присутствует панель «Деградация компрессора», по нажатию на которую можно перейти во вкладку мониторинга для соответствующего оборудования

Пример дашборда, на котором выводятся рекомендации от оптимизатора, показан на Рисунке 36.

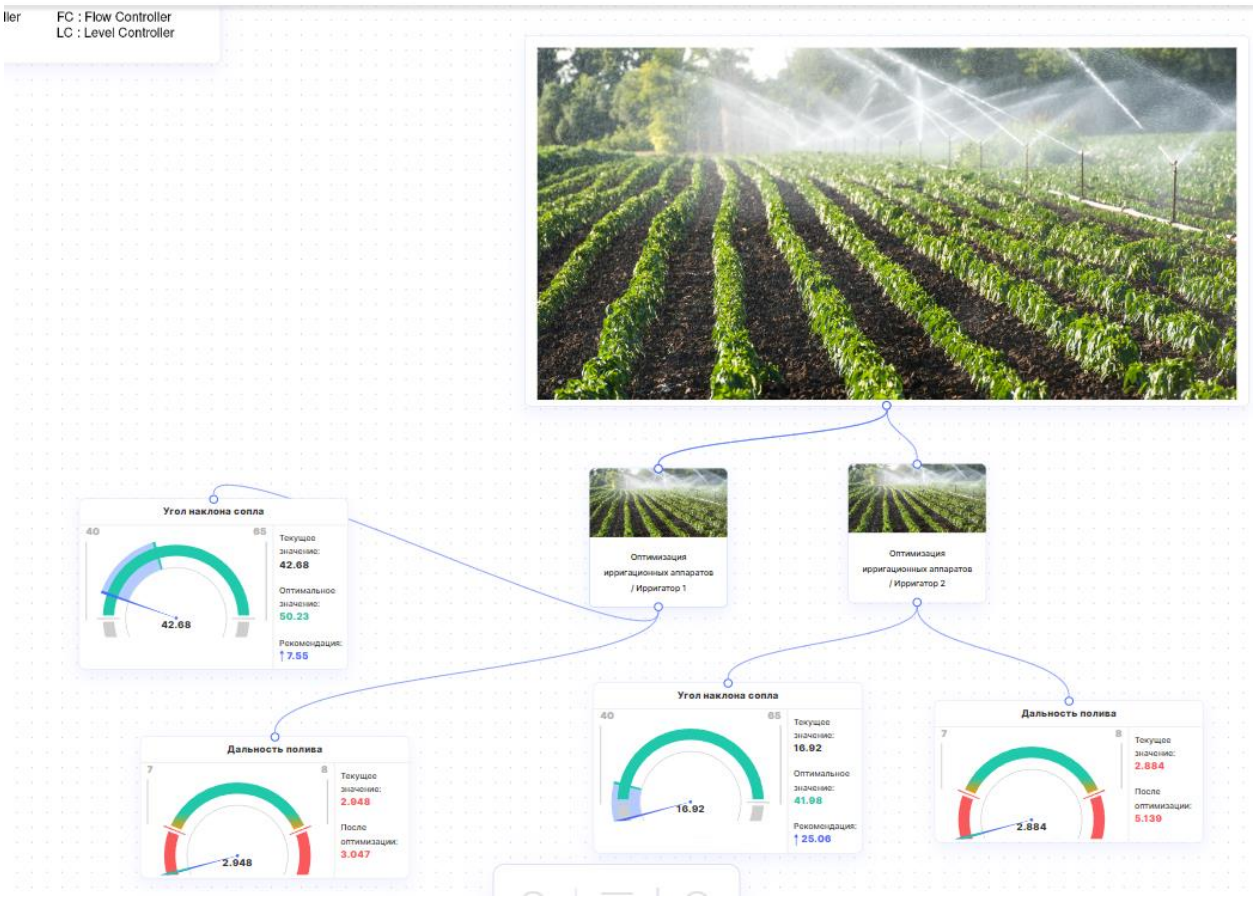


Рисунок 36 — пример дашборда, на котором выводятся рекомендации по оптимизации технологического процесса: на дашборде представлено изображение процесса, кнопки для перехода на панель мониторинга для отдельных процессов, рекомендации по изменению управляющего параметра (спидометр), а также значение целевого параметра в виде спидометра.

4 Типовые требования к ИТ инфраструктуре

Сервер для развертывания ПО CyberStudio должен отвечать следующим требованиям:

1. Операционная система – OS Linux (дистрибутивы OS Astra Linux Common Edition 2.12.45, Alt Linux, Ubuntu v18 и выше);
2. Открыт доступ для входящих и исходящих подключений по ряду портов сервера для обеспечения работы ПО CyberStudio. Полный перечень портов, а также номера портов уточняются на этапе развертывания ПО CyberStudio;
3. Текущий пользователь в операционной системе сервера обладает полномочиями администратора;
4. На сервере не должно быть установлено стороннее ПО (БД) для сбора и обработки данных, такое ПО следует размещать на отдельном сервере. В случае отсутствия возможности выделения отдельного сервера для БД файлы баз данных необходимо размещать на отдельном томе, для исключения случаев заполнения диска с установленным ПО CyberStudio;
5. Аппаратные характеристики сервера:
   5.1. Центральный процессор с тактовой частотой не менее 2 ГГц, количество ядер не менее 8 и поддержкой вычислительной инструкции AVX2;
   5.2. Объем оперативной памяти, не менее: 32 Гб;
   5.3. Объем постоянного запоминающего устройства, не менее: 1 Тб.

Клиентские АРМ для работы с ПО CyberStudio должны отвечать следующим требованиям:

1. Центральный процессор с тактовой частотой не менее 1 ГГц;
2. Объем оперативной памяти, не менее: 4 Гб;
3. Объем постоянного запоминающего устройства, не менее: 50 Гб.
4. Открыт доступ для входящих и исходящих подключений по ряду портов для соединения с сервером ПО CyberStudio. Перечень портов уточняется на этапе развертывания

5. На АРМ установлен один или несколько из следующих Интернет-браузеров:
   5.1. Edge 79 (частичная поддержка, рекомендуется использовать иные браузеры);
   5.2. Firefox 64;
   5.3. Chrome 59;
   5.4. Safari 11;
   5.5. Opera 57.