

**Программное обеспечение CyberStudio – платформа для
предиктивной аналитики оборудования и оптимизации режимов
технологических процессов
v 3.20.4**

Описание функционала оптимизации

Таблица 1.

История изменений

Версия	Дата	Комментарий	Автор
1	30.04.2026	Первая версия документа	Гавриленков С.И.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Глоссарий	4
1.1	Термины	4
1.2	Сокращения	4
2	Назначение и область применения	5
2.1	Для кого предназначена платформа	5
2.2	Какие задачи решает платформа	5
2.3	Применимость и типы оборудования	6
3	Оптимизация технологического процесса	6
3.1	Концепция	6
3.2	Постановка задачи: три типа параметров	7
3.3	Как формируются рекомендации	9
3.4	Модель процесса как основа оптимизатора	13
3.5	Настройка оптимизатора	14
3.6	Прогонка и валидация рекомендаций	16
3.7	Работа в режиме реального времени	17
3.8	Границы функционала оптимизации	19
4	Связанный функционал платформы	20
4.1	Сбор и хранение данных	20
4.2	Предиктивная аналитика как смежный функционал	21
4.3	Визуализация и мониторинг	23
4.4	Процессы реагирования и события	24
4.5	Иерархия активов и шаблоны	25
4.6	Администрирование и экспорт/импорт настроек	26
5	Подключение к источникам данных	27

1 ГЛОССАРИЙ

1.1 ТЕРМИНЫ

Термин	Определение
Оптимизатор	Расчётный объект платформы, формирующий рекомендации по изменению управляющих параметров технологического процесса для удержания целевых параметров в желаемом диапазоне.
Управляемый вход	Параметр процесса, значение которого может изменять оператор или система управления (например, расход топлива, положение регулирующей арматуры).
Входной тег (внешнее возмущение)	Параметр, на значение которого пользователь не может влиять, но который необходимо учитывать в расчётах (например, температура наружного воздуха, состав сырья).
Выходной тег (целевой параметр)	Параметр процесса, значение которого должно находиться в желаемом диапазоне (например, температура на выходе, КПД, концентрация целевого продукта).
Желаемый диапазон	Нижняя и верхняя границы значений целевого параметра, которые рассматриваются как оптимальная область работы процесса.
Допустимый диапазон управляющего параметра	Технологические ограничения, в пределах которых оптимизатор может формировать рекомендации.
Глубина оптимизации	Параметр настройки, определяющий ширину окрестности текущей рабочей точки, в пределах которой оптимизатор ищет рекомендации.
ИС оптимизатора	Интегральный показатель технического состояния от 0 до 1, отражающий степень отклонения целевых параметров от желаемых диапазонов.
ИС срабатывания	Пороговое значение ИС оптимизатора, при опускании ниже которого оптимизатор формирует рекомендацию для оператора.
Рекомендация	Предложенное оптимизатором значение управляющего параметра, обеспечивающее наилучший результат с точки зрения целевой функции.
Прогонка	Тестовый расчёт оптимизатора на историческом интервале данных для валидации настроек перед запуском в режиме мониторинга.
Целевая функция	Числовая мера качества решения, которую оптимизатор максимизирует при подборе значений управляющих параметров.
Модель процесса	Цифровой двойник участка технологического процесса, описывающий зависимость целевых параметров от управляющих и внешних. Является основой работы оптимизатора.
Картирование	Операция сопоставления параметров расчётного объекта с тегами платформы, по которым поступают реальные данные.
Актив	Обобщающее название элементов иерархии: сборок (контейнеров) и узлов (конечных элементов, в которых размещаются расчётные объекты).

1.2 СОКРАЩЕНИЯ

Сокращение	Расшифровка
ИС	Индекс состояния
СДП	Сервис дизайна проекта
СО	Сервис оптимизаторов
СМД	Сервис моделирования
СМ	Сервис мониторинга
СИ	Сервис исторический
СДМ	Сервис дизайна мнемосхем
СБЛ	Сервис бизнес-логики
СА	Сервис администрирования
ССД	Сервис сбора данных
АСУ ТП	Автоматизированная система управления технологическим процессом
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
MLP	Многослойный перцептрон (Multilayer Perceptron)
PCR	Регрессия главных компонент (Principal Component Regression)
KDE	Метод ядерной оценки плотности (Kernel Density Estimation)
AutoML	Автоматический подбор архитектуры и параметров модели

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

2.1 ДЛЯ КОГО ПРЕДНАЗНАЧЕНА ПЛАТФОРМА

ПО CyberStudio — программная платформа для оптимизации режимов работы промышленного оборудования и технологических процессов. Платформа формирует рекомендации по изменению управляющих параметров (уставок), позволяющие удерживать целевые показатели процесса в желаемых диапазонах при изменяющихся внешних условиях.

Документ предназначен в первую очередь для специалистов, отвечающих за организацию и качество ведения технологического процесса:

- **Технологи производственных подразделений** — специалисты, формирующие требования к режимам работы оборудования и оценивающие эффективность технологического процесса.
- **Главные технологи и руководители технологических служб** — специалисты, отвечающие за выработку решений по совершенствованию технологии и снижению удельных расходов ресурсов.
- **Инженеры-моделисты** — специалисты, выполняющие настройку моделей процесса и оптимизаторов в платформе.
- **Инженеры АСУ ТП** — специалисты, отвечающие за интеграцию рекомендаций оптимизатора в контуры контроля технологического процесса.

Платформа применяется для процессов, в которых имеется:

- набор параметров, доступных для изменения оператором или системой управления (управляющие параметры);
- набор целевых показателей, значения которых должны находиться в заданных диапазонах (выходные параметры);
- внешние воздействия, влияющие на процесс, но неуправляемые с точки зрения технолога (входные параметры — внешние возмущения);
- доступная для накопления история измерений по перечисленным параметрам.

2.2 КАКИЕ ЗАДАЧИ РЕШАЕТ ПЛАТФОРМА

Функционал оптимизации ПО CyberStudio применим к широкому спектру технологических задач. В таблице ниже приведены типовые случаи использования.

Задача технолога	Как помогает оптимизатор
Удерживать целевой параметр в заданном диапазоне при меняющихся внешних условиях	Подбирает значения управляющих параметров с учётом текущих внешних возмущений; компенсирует их влияние на целевой показатель
Снижать удельный расход ресурсов (топлива, электроэнергии, реагентов) при сохранении качества	Минимизирует расход в рамках допустимых границ при ограничениях на выходные параметры
Стабилизировать процесс в зоне эффективной работы	Удерживает целевые параметры с запасом до границ диапазона; гасит влияние возмущений на режим работы
Подбирать уставки нескольких управляющих параметров одновременно	Решает многомерную задачу подбора с учётом взаимного влияния параметров друг на друга
Поддерживать заданное качество и состав продукта	В качестве целевых параметров используются характеристики продукта, в качестве управляющих — параметры технологического режима

Задача технолога	Как помогает оптимизатор
Подсказывать оператору в реальном времени без замыкания контура управления	Рекомендации выводятся оператору, решение об их применении остаётся за человеком
Оценить потенциал улучшения работы установки	Прогонка оптимизатора на исторических данных показывает, насколько лучше можно было вести процесс в прошлом
Сопровождать ввод нового оборудования или технологии	Накапливать данные, обучать модель и постепенно увеличивать глубину оптимизации по мере роста уверенности в работе системы

Функционал оптимизации применим к любым процессам, для которых можно выделить параметры этих трёх ролей и обеспечить достаточную историю измерений для обучения модели.

2.3 ПРИМЕНИМОСТЬ И ТИПЫ ОБОРУДОВАНИЯ

ПО CyberStudio является универсальной платформой и может применяться для оптимизации режимов работы оборудования различных классов. Типичные примеры:

- **Тепловые установки** — котельные агрегаты, теплообменное оборудование, печи: оптимизация удельного расхода топлива, поддержание температурного режима, балансировка распределения нагрузки между агрегатами.
- **Газовые и паровые турбины** — оптимизация электрической мощности и КПД при ограничениях по температуре выхлопа, выбросам, нагрузке на узлы.
- **Компрессорные станции** — оптимизация распределения нагрузки между компрессорами, поддержание выходного давления при минимальных энергозатратах.
- **Насосные агрегаты** — оптимизация подачи и КПД при изменяющихся условиях работы трубопроводной сети.
- **Технологические процессы переработки** — флотация, ректификация, сепарация: оптимизация выхода целевого продукта, расхода реагентов, качества разделения.
- **Системы вентиляции, кондиционирования и теплоснабжения зданий** — оптимизация энергопотребления при поддержании комфортных условий.

Подход не накладывает ограничений на отрасль и тип оборудования: для применения оптимизатора достаточно, чтобы технолог мог выделить в процессе три группы параметров — управляющие, внешние возмущения и целевые — и чтобы по этим параметрам была накоплена достаточная история измерений.

3 ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

3.1 КОНЦЕПЦИЯ

В основе функционала оптимизации в ПО CyberStudio лежит подход, объединяющий **модель технологического процесса и алгоритм поиска оптимальных уставок**.

Модель представляет собой математическое описание участка процесса. На вход модели подаются значения управляющих параметров (изменяемых оператором или системой управления) и внешних возмущений (неуправляемых параметров), а на выходе рассчитываются значения целевых параметров. Модель строится по историческим данным процесса с применением методов машинного обучения.

Алгоритм оптимизации использует обученную модель в качестве расчётного ядра: на каждом такте мониторинга, исходя из текущих значений внешних возмущений, выполняется итеративный перебор возможных значений управляющих параметров и выбор тех значений, при которых целевые параметры попадают в желаемый диапазон с наилучшим качеством.

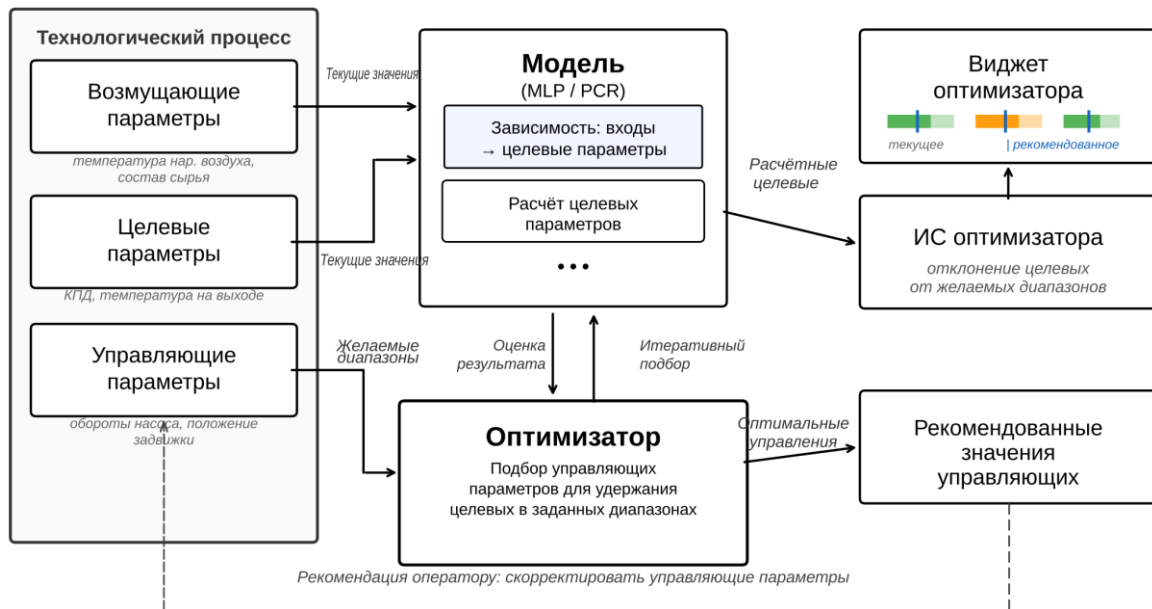


Рисунок 1. Принципиальная схема оптимизации режимов процессов в ПО CyberStudio

Применение такого подхода обеспечивает следующие свойства функционала оптимизации:

- автоматический подбор уставок на каждом такте мониторинга — без необходимости их определения технологом методом ручной настройки;
- учёт текущего состояния процесса — рекомендуемые уставки зависят от текущих значений внешних возмущений и не сводятся к фиксированным значениям для всего диапазона режимов работы;
- автоматическое восстановление зависимостей между параметрами процесса по историческим данным — без необходимости составления и сопровождения формальных регламентов;
- адаптируемость к изменению условий работы оборудования (переход на другое сырьё, сезонные

3.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ: ТРИ ТИПА ПАРАМЕТРОВ

Для постановки задачи оптимизации технолог разделяет параметры процесса на три группы.

Управляющие входы — параметры, значения которых может изменять оператор или система управления. Эти параметры представляют собой инструменты ведения технологического процесса. Примеры: расход топлива, положение регулирующей арматуры, расход реагента, частота вращения насоса. Рекомендации оптимизатора формируются именно для управляющих параметров.

Входные теги (внешние возмущения) — параметры, на значения которых пользователь повлиять не может, но которые оказывают влияние на процесс и подлежат

учёту в расчётах. Примеры: температура наружного воздуха, состав поступающего сырья, давление на входе магистрали. Эти параметры подаются в модель в качестве контекстных, описывающих текущие условия работы оборудования.

Выходные теги (целевые параметры) — параметры, значения которых характеризуют качество ведения процесса и должны находиться в желаемых диапазонах. Примеры: температура продукта на выходе, коэффициент полезного действия установки, концентрация целевого компонента, удельный расход энергоресурса. Желаемые диапазоны для целевых параметров задаются технологом при настройке оптимизатора.

Распределение параметров по трём перечисленным группам относится к содержательным решениям технолога. Один и тот же параметр в различных задачах оптимизации может выполнять различные роли: например, расход реагента может быть управляющим параметром в одной постановке задачи и выходным (как показатель эффективности расходования ресурса) — в другой.

Сквозной пример: оптимизация системы отопления. Технологическая задача — поддерживать температуру воздуха в обогреваемом помещении в комфортном диапазоне 21–23 °С при минимально возможном расходе электроэнергии нагревателем.

Тег	Роль	Назначение
T_room	Выходной тег	Температура воздуха в помещении — целевой параметр (диапазон 21–23 °С)
T_ambient	Входной тег	Температура наружного воздуха — внешнее возмущение
P_heater	Управляемый вход	Мощность нагревателя — управляющий параметр (диапазон 0–100 %)

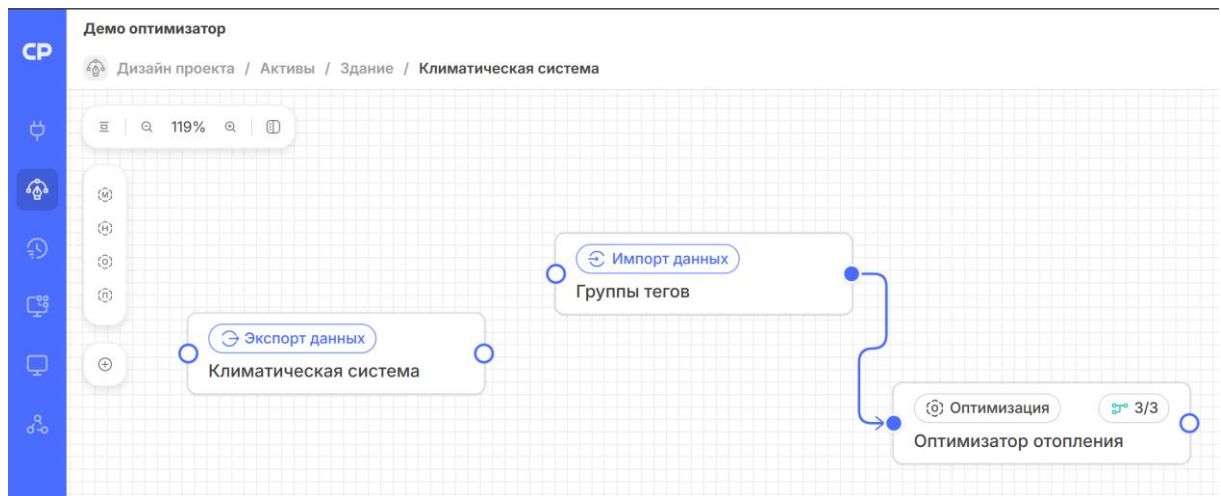


Рисунок 2. Блок «Оптимизатор отопления» в иерархии активов сервиса дизайна проекта



Имя	Тип
1 T_room	Выходной тег
2 T_ambient	Входной тег
3 P_heater	Управляемый вход

Рисунок 3. Состав тегов оптимизатора с указанием ролей

В дальнейших разделах настоящей главы этот пример используется для иллюстрации этапов настройки и работы оптимизатора. На рисунках показано, как тот же оптимизатор представлен в иерархии активов и в карточке настройки тегов.

Желаемые диапазоны для целевых параметров и допустимые диапазоны для управляющих задаются при настройке оптимизатора. Желаемый диапазон отражает технологические требования к качеству процесса, допустимый диапазон

3.3 КАК ФОРМИРУЮТСЯ РЕКОМЕНДАЦИИ

На каждом такте мониторинга оптимизатор решает следующую задачу: при текущих значениях входных тегов (внешних возмущений) подобрать такие значения управляющих параметров, при которых целевые параметры попадают в желаемые диапазоны с наилучшим качеством.

Оценка качества решения производится при помощи **целевой функции** — числовой меры, которая максимизируется в процессе оптимизации. Целевая функция включает четыре компоненты, каждая из которых отвечает за отдельный аспект качества рекомендации и имеет настраиваемый весовой коэффициент.

Знание состава целевой функции позволяет технологу осознанно настраивать поведение оптимизатора: усиливать те компоненты, которые наиболее важны в конкретной задаче, и ослаблять те, которые менее значимы.

3.3.1 ПОПАДАНИЕ В ЖЕЛАЕМЫЙ ДИАПАЗОН И СМЕЩЕНИЕ К ЦЕНТРУ

Основная компонента целевой функции — оценка попадания расчётных значений целевых параметров в заданный диапазон. При выходе расчётного значения за нижнюю или верхнюю границу начисляется штраф, пропорциональный квадрату величины отклонения. Такая зависимость обеспечивает существенно более высокую цену больших нарушений по сравнению с малыми.

Помимо удержания внутри диапазона, эта же компонента содержит механизм **смещения к центру**: оптимизатор стремится приводить целевой параметр не только в пределы желаемого диапазона, но и ближе к его середине.

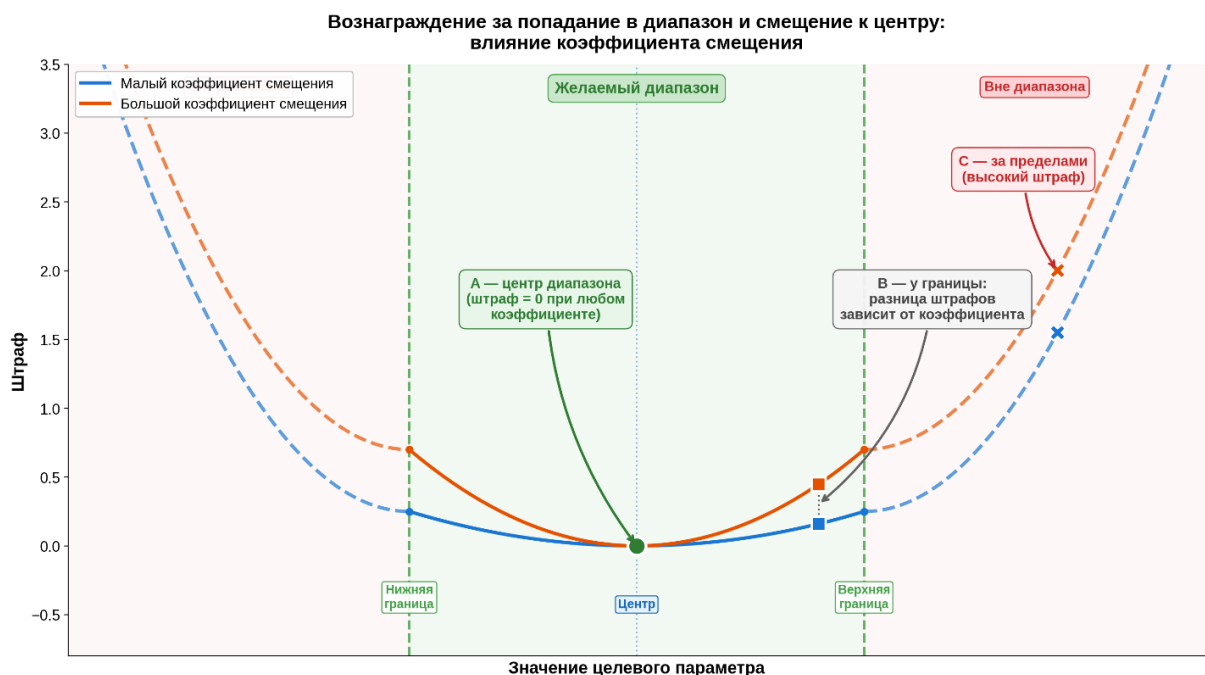


Рисунок 4. Вознаграждение за попадание в диапазон и смещение к центру: внутри диапазона штраф минимален в центре, за пределами — резко возрастает

Прикладной эффект применения этой компоненты состоит в следующем. При работе вблизи границы желаемого диапазона любое случайное возмущение технологического процесса может привести к выходу целевого параметра за пределы диапазона, что вызывает резкое вмешательство со стороны оптимизатора. При нахождении параметра в центре диапазона имеется запас в обе стороны: процесс становится более устойчивым к возмущениям, рекомендации — более плавными, а доля времени работы вблизи границ диапазона сокращается.

Сила центрирования регулируется отдельным коэффициентом. Увеличение коэффициента целесообразно в задачах с высокой амплитудой возмущений и значительной ценой выхода за пределы диапазона. В задачах, где приоритетной является минимизация (или максимизация) показателя, коэффициент центрирования уменьшается, чтобы не препятствовать достижению оптимума.

3.3.2 УЧЁТ УВЕРЕННОСТИ МОДЕЛИ

Любая модель имеет конечную точность, зависящую от того, насколько текущая ситуация соответствует условиям, представленным в обучающей выборке. В режимах, по которым историческая выборка содержит достаточно данных, модель работает уверенно. В режимах, далёких от обучающей выборки (зона экстраполяции), точность предсказаний снижается.

Для учёта этого фактора в составе целевой функции используется механизм оценки неопределённости методом Монте-Карло. Для каждой кандидатной комбинации значений управляющих параметров модель прогоняется многократно с введением небольших случайных возмущений входных значений. Разброс полученных предсказаний (стандартное отклонение) служит мерой неопределённости: при значительном разбросе модель в данной точке считается недостаточно уверенной, и в целевую функцию начисляется штраф; при малом разбросе штраф минимален.

Оценка неопределённости модели методом Монте-Карло

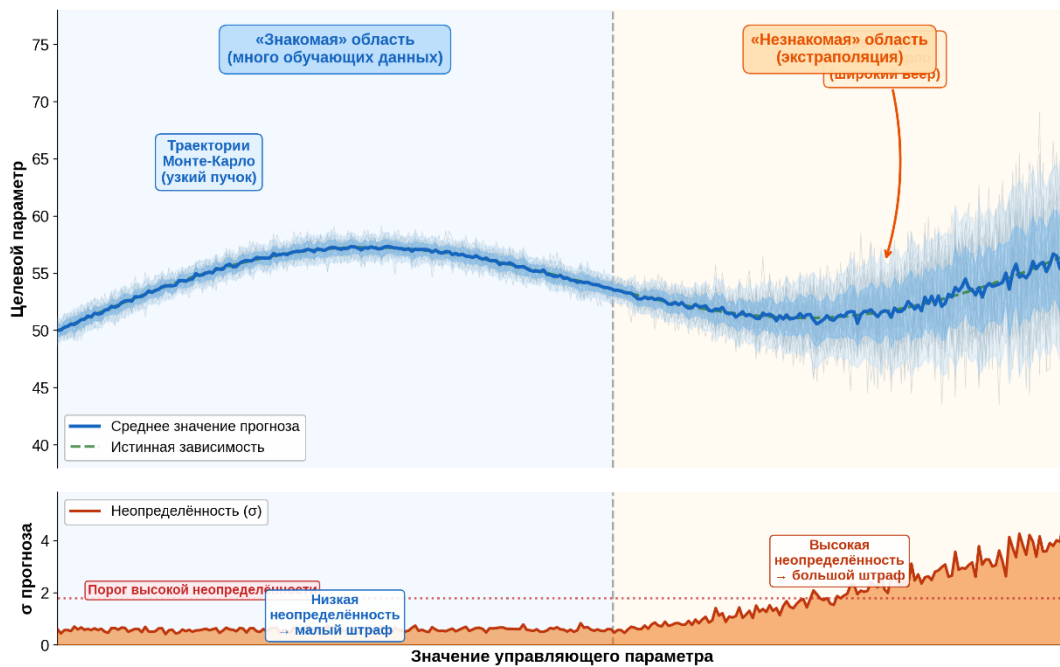


Рисунок 5. Оценка неопределённости методом Монте-Карло: в знакомой области разброс прогнозов мал, в области экстраполяции — велик

Прикладной эффект применения этой компоненты состоит в защите от рекомендаций, основанных на режимах, не охваченных обучающей выборкой. Без такой защиты возможны ситуации, когда формально модель показывает хороший результат в области экстраполяции, но в реальной эксплуатации этот результат может оказаться нефизичным. По мере накопления данных в новых режимах область, в которой оптимизатор формирует рекомендации с высокой уверенностью, расширяется автоматически.

3.3.3 УЧЁТ ТИПИЧНОСТИ РЕЖИМА

Помимо неопределённости модели, целевая функция учитывает **типичность** предлагаемого режима работы — степень соответствия комбинации управляющих и входных параметров режимам, фактически наблюдавшимся в эксплуатации.

Для оценки типичности применяется метод ядерной оценки плотности (KDE). Чем чаще в исторических данных встречались комбинации параметров, близкие к рассматриваемой, тем выше плотность в данной точке и тем меньше штраф. Нетипичные комбинации (например, расположенные в углу допустимой области, на границе одновременно по нескольким параметрам) штрафуются сильнее.

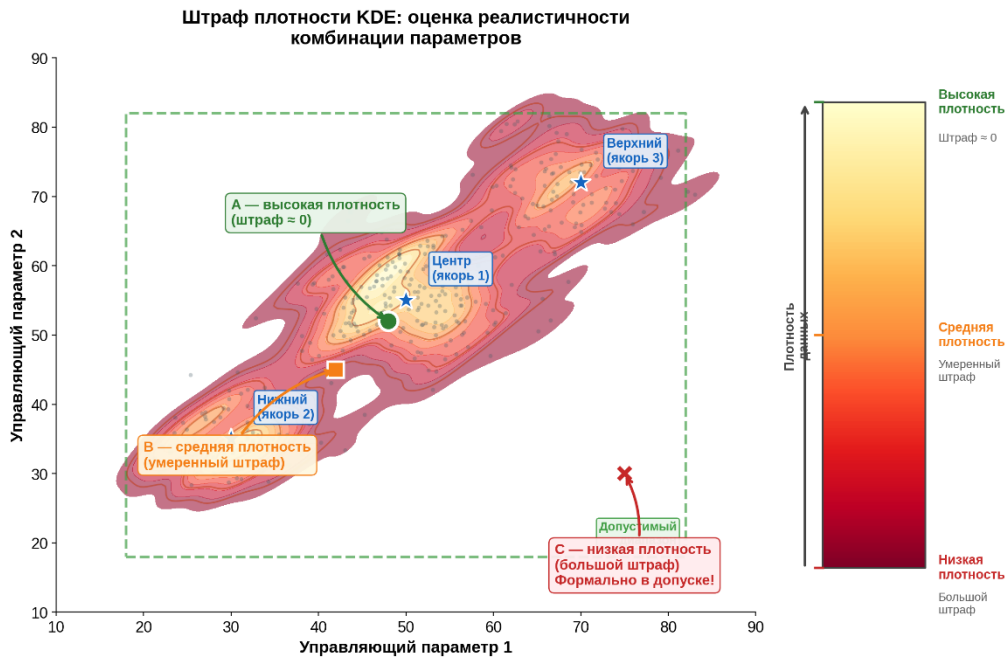


Рисунок 6. Штраф за удалённость от рабочей области: точки вблизи опорных (типичных режимов) штрафуются меньше, чем точки в углах допустимого диапазона

Прикладной эффект применения этой компоненты связан со следующим обстоятельством. Допустимые диапазоны управляющих параметров обычно задаются с запасом — конструктивные пределы, как правило, шире фактически используемого рабочего диапазона. В пределах этих расширенных границ формально могут существовать комбинации, оцениваемые целевой функцией как оптимальные, но не встречавшиеся на реальном оборудовании. Учёт типичности режима исключает рекомендации такого рода — формально допустимые, но практически нереализуемые.

3.3.4 ГЛУБИНА ОПТИМИЗАЦИИ

Глубина оптимизации — параметр, определяющий ширину окрестности текущей рабочей точки, в пределах которой оптимизатор выполняет поиск рекомендации.

При **малой глубине** область поиска ограничена узкой окрестностью текущих значений управляющих параметров. Формируемые рекомендации являются плавными и осторожными: за один такт оптимизатор предлагает изменение управляющего параметра в пределах небольшой величины. Такой режим уместен при работе с инерционными процессами и при строгих требованиях к стабильности уставок.

При **большой глубине** область поиска расширяется. Оптимизатор получает возможность предлагать значения, существенно отличающиеся от текущей рабочей точки. Это позволяет быстрее достигать принципиально лучших режимов работы, однако требует обоснованной уверенности в качестве модели.

Влияние глубины оптимизации на ширину окна поиска

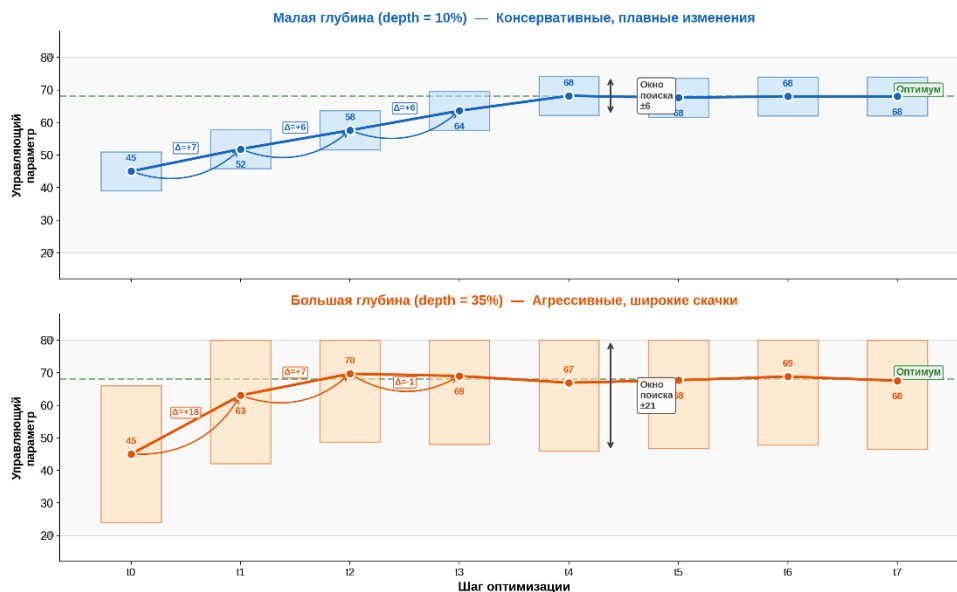


Рисунок 7. Влияние глубины оптимизации на рекомендации: при малой глубине рекомендации изменяют управляющие параметры плавно, при большой — более агрессивно

Прикладной эффект применения этой компоненты состоит в следующем. Глубина оптимизации — инструмент управления балансом между плавностью рекомендаций и скоростью достижения целевых режимов. Рекомендуемая практика — на этапе ввода в эксплуатацию начинать с малой глубины и увеличивать её по мере накопления уверенности в работе оптимизатора и в качестве модели.

3.4 МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КАК ОСНОВА ОПТИМИЗАТОРА

Качество рекомендаций оптимизатора напрямую определяется качеством модели, на которой он работает. Модель — это математическое описание зависимости целевых параметров от управляющих и внешних, восстановленное из исторических данных процесса.

Для использования в оптимизаторе платформа поддерживает два типа моделей:

- **Многослойный перцептрон (MLP)** — нейронная сеть универсального назначения. Подходит для большинства задач: способна описывать как линейные, так и нелинейные зависимости, не требует от технолога задания структуры модели вручную.
- **Регрессия главных компонент (PCR)** — линейная модель на основе главных компонент входных данных. Применяется в задачах, где зависимости между параметрами близки к линейным и важна интерпретируемость.

Другие типы моделей платформы (байесовские нейронные сети, кластерные и свёрточные модели, физико-математические модели) для оптимизатора в текущей версии не используются. Архитектура и гиперпараметры выбранной модели подбираются автоматически в режиме AutoML или задаются вручную.

Требования к обучающей выборке. Принципиальное требование к данным для обучения модели оптимизатора — **достаточное покрытие диапазона значений управляющих параметров**. Модель должна корректно воспроизводить зависимость

целевых параметров от управляющих воздействий не только вблизи привычной рабочей точки, но и при существенных отклонениях от неё.

На практике это означает следующее:

- В обучающую выборку рекомендуется включать данные из периодов, когда оборудование работало в разных режимах: на разных нагрузках, при разных внешних условиях, на разном сырье.
- Узкая обучающая выборка (один и тот же режим во всех данных) приведёт к тому, что модель сможет рассчитывать целевые параметры только в этом режиме. Оптимизатор в таком случае будет ограничен в формировании рекомендаций — все предлагаемые отклонения от текущей точки будут попадать в зону высокой неопределённости.
- Качество модели оценивается по стандартным метрикам (ошибка на тестовой выборке, перекрёстная проверка). Платформа предоставляет графики сравнения фактических и расчётных значений целевых параметров на тестовом интервале.

Связь модели и оптимизатора. В платформе оптимизатор и его модель связаны напрямую: одна модель — один оптимизатор. При изменении условий работы оборудования (например, ввод нового агрегата, изменение характеристик сырья) выполняется дообучение модели, после чего оптимизатор автоматически использует обновлённую версию.

3.5 НАСТРОЙКА ОПТИМИЗАТОРА

Настройка оптимизатора в ПО CyberStudio выполняется по следующей последовательности шагов. Большая часть операций производится в режиме no-code через интерфейсы платформы.

Шаг 1. Создание блока в иерархии активов. В сервисе дизайна проекта (СДП) технолог создаёт блок типа «Оптимизация» на уровне узла, соответствующего оптимизируемому участку процесса. Блок размещается на холсте узла наряду с другими расчётными объектами (моделями, неисправностями, прогнозными блоками).

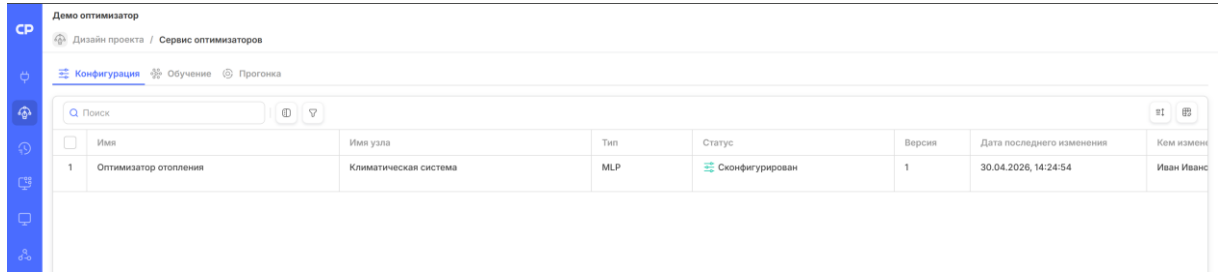
Шаг 2. Назначение тегов. Для оптимизатора задаётся структура входных и выходных параметров: каждому тегу назначается одна из трёх ролей — управляемый вход, входной тег (внешнее возмущение) или выходной тег. Соответствие тегов оптимизатора реальным тегам платформы (картирование) выполняется через интерфейс СДП.

Шаг 3. Обучение модели. Для оптимизатора создаётся и обучается модель типа MLP или PCR. Технолог:

- задаёт интервал исторических данных для обучения, обеспечивающий покрытие рабочих режимов оборудования;
- выбирает архитектуру модели (вручную или через AutoML);
- запускает обучение и оценивает качество по полученным метрикам и графикам.

При недостаточной точности возможно изменение интервала, добавление виртуальных тегов в качестве дополнительных входов модели, корректировка параметров обучения.

Шаг 4. Конфигурация и обучение оптимизатора. На стороне сервиса оптимизаторов оптимизатор связывается с обученной моделью. Создаётся конфигурация оптимизатора, в которой фиксируется ссылка на конкретную версию модели.



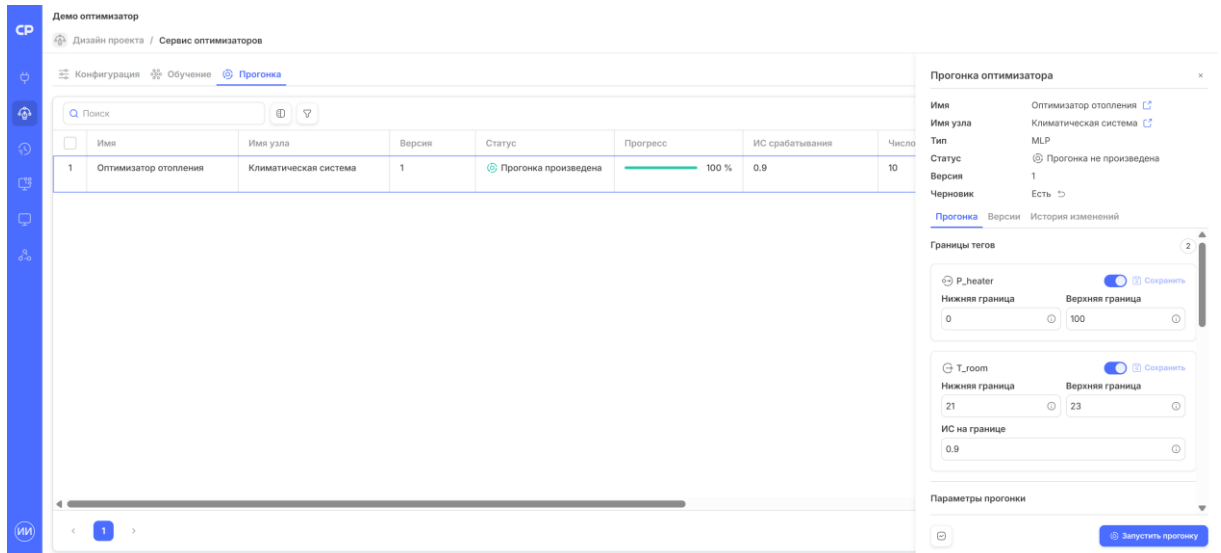
Имя	Имя узла	Тип	Статус	Версия	Дата последнего изменения	Кто изменил
1 Оптимизатор отопления	Климатическая система	MLP	Сконфигурирован	1	30.04.2026, 14:24:54	Иван Иванс

Рисунок 8. Сводная таблица сервиса оптимизаторов с тремя вкладками: «Конфигурация», «Обучение», «Прогонка»

Шаг 5. Задание границ и параметров прогонки. Для каждого тега оптимизатора технолог задаёт границы:

- для каждого управляющего параметра — допустимый диапазон изменения (минимальное и максимальное значение, в пределах которых оптимизатор может формировать рекомендации);
- для каждого целевого параметра — желаемый диапазон (нижняя и верхняя границы оптимальной области);
- значение **ИС на границе** — степень отклонения от желаемого диапазона, ниже которого оптимизатор начинает интерпретировать ситуацию как требующую вмешательства.

Также на этом шаге задаются весовые коэффициенты компонент целевой функции (вознаграждение за центрирование, штраф за неопределённость, штраф за типичность режима) и глубина оптимизации.



Имя	Имя узла	Версия	Статус	Прогресс	ИС срабатывания	Число
1 Оптимизатор отопления	Климатическая система	1	Прогонка произведена	100 %	0.9	10

Рисунок 9. Карточка прогонки оптимизатора с блоком «Границы тегов» и параметрами прогонки

Шаг 6. Запуск прогонки. Прогонка — расчёт оптимизатора на историческом интервале — запускается из сервиса оптимизаторов. По завершении становятся доступны графики и метрики, по которым оценивается адекватность сформированных рекомендаций (см. раздел «Прогонка и валидация»).

После успешной прогонки оптимизатор готов к работе в режиме мониторинга. Любое изменение настроек создаёт новую версию оптимизатора с сохранением полной

истории. Это позволяет переключаться между версиями и сравнивать поведение оптимизатора с разными настройками.

3.6 ПРОГОНКА И ВАЛИДАЦИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Перед запуском оптимизатора в режиме мониторинга обязательно выполняется его **прогонка** на историческом интервале данных. Цель прогонки — убедиться, что в реалистичных условиях работы установки оптимизатор формирует адекватные рекомендации.

При анализе результатов прогонки технолог проверяет следующие условия.

- **Соблюдение границ.** Рекомендованные значения управляющих параметров не выходят за заданные допустимые границы.
- **Соответствие физической логике процесса.** Направление рекомендуемых изменений соответствует физическому смыслу: например, для повышения температуры на выходе оптимизатор должен рекомендовать увеличение подачи топлива, а не уменьшение.
- **Реалистичность величины изменений.** Рекомендуемые изменения соответствуют динамике оборудования и не противоречат реалистичной скорости перевода процесса в новый режим.
- **Эффект на целевой параметр.** При гипотетическом применении рекомендаций целевые параметры приближаются к желаемым диапазонам или остаются в них с большим запасом, чем при фактических уставках.

Основной инструмент анализа результатов прогонки — графики сравнения фактических значений целевых параметров и тех значений, к которым процесс пришёл бы при следовании рекомендациям.



Рисунок 10. График прогонки: сопоставление фактической динамики целевого параметра и рекомендованных значений

Помимо графиков по конкретным тегам, в сервисе оптимизаторов доступны интегральные показатели прогонки: ИС оптимизатора, ИС срабатывания (ниже которого выдаётся подсказка оператору), длительность периодов, проведённых в зонах целевого диапазона и за его пределами.

Платформа предоставляет настраиваемый список **типов значений** для построения графиков по объектам оптимизатора. Доступны:

- фактические данные тегов (управляющие, входные, выходные);
- расчётные значения целевых параметров, полученные моделью;
- ИС по каждому целевому параметру и по оптимизатору в целом;
- рекомендованные значения управляющих параметров;
- состояние рабочего режима и периоды срабатываний.

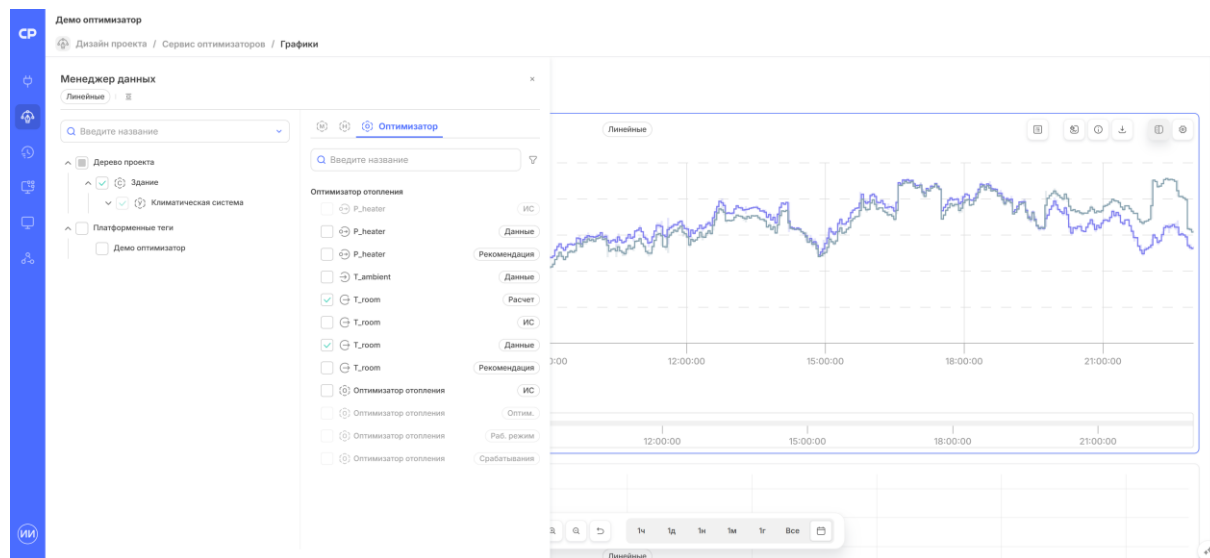


Рисунок 11. Менеджер данных оптимизатора: типы значений для построения графиков

Если рекомендации неадекватны. В случае, когда прогонка показывает некорректное поведение оптимизатора, причинами обычно являются:

- модель обучена на узкой выборке и плохо описывает текущие условия;
- допустимые диапазоны управляющих параметров заданы слишком широко по сравнению с реально доступными в эксплуатации;
- неправильно подобрана глубина оптимизации (слишком большая для инерционного процесса или слишком малая для задачи быстрого вывода в новый режим);
- весовые коэффициенты компонент целевой функции расставлены непропорционально решаемой задаче.

В таком случае технолог вносит соответствующие изменения и повторяет прогонку. Платформа сохраняет историю всех версий оптимизатора, что позволяет последовательно сравнивать конфигурации и отслеживать прогресс настройки.

3.7 РАБОТА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

После успешной прогонки оптимизатор переводится в режим мониторинга. Запуск выполняется через сервис дизайна проекта по операции «Запуск на мониторинг» с выбором конкретной версии оптимизатора.

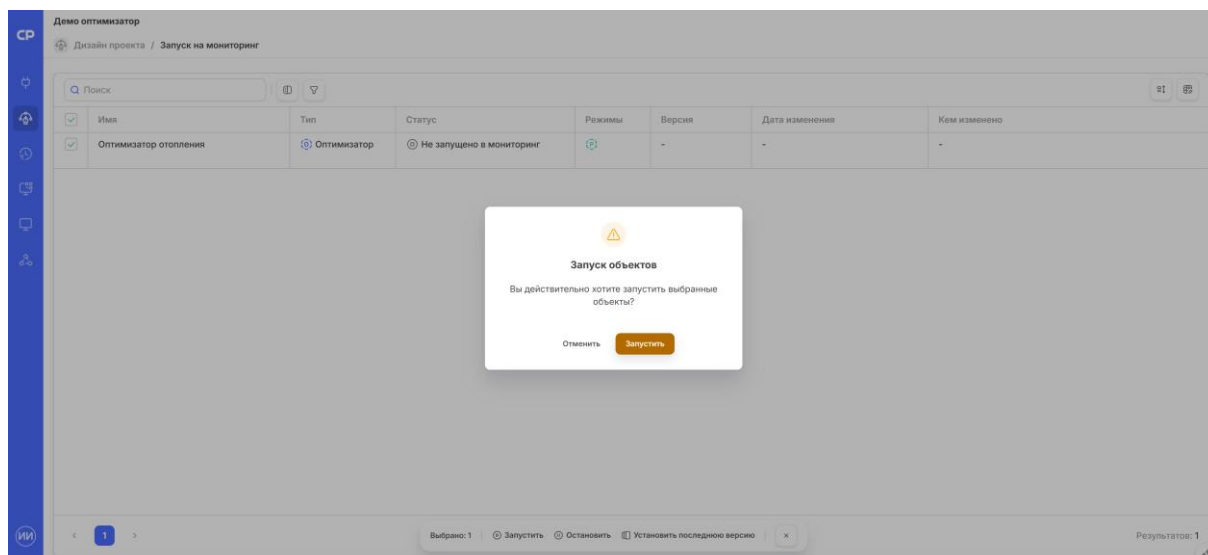


Рисунок 12. Запуск оптимизатора на мониторинг: выбор версии и подтверждение операции

В режиме мониторинга оптимизатор работает следующим образом:

- на каждом такте поступления данных платформа подаёт в модель оптимизатора текущие значения управляющих и входных параметров;
- модель рассчитывает текущие значения целевых параметров;
- алгоритм оптимизации перебирает возможные значения управляющих в окрестности текущих (с учётом заданной глубины оптимизации) и выбирает те, при которых целевая функция максимальна;
- результаты сохраняются как **рекомендованные значения** для каждого управляющего параметра.

Индекс состояния оптимизатора (ИС). Параллельно с расчётом рекомендаций оптимизатор формирует собственный индекс состояния — нормированную величину от 0 до 1, отражающую степень отклонения текущих значений целевых параметров от желаемых диапазонов.

- $ИС = 1$ — целевые параметры находятся в центре желаемых диапазонов; рекомендация оператору не требуется.
- ИС снижается по мере смещения целевых параметров от центра к границам диапазонов.
- $ИС = 0$ — соответствует значительному выходу за границы желаемого диапазона.

ИС срабатывания. Технолог задаёт пороговое значение ИС, при опускании ниже которого оптимизатор формирует **рекомендацию для оператора**. Параметр позволяет управлять чувствительностью системы: высокий порог обеспечивает формирование рекомендации при любом сколько-нибудь заметном отклонении; низкий порог — формирование рекомендации только при существенных отклонениях.

Вывод рекомендаций оператору. Рекомендации отображаются в сервисе мониторинга — на дашбордах (мнемосхемах) и в виджетах объектов. Типовая организация виджета оптимизатора включает следующие элементы:

- текущее значение управляющего параметра — уставка, при которой оборудование работает в данный момент;
- рекомендованное значение — уставка, предлагаемая оптимизатором;

- значение целевого параметра и индикация его положения относительно желаемого диапазона.

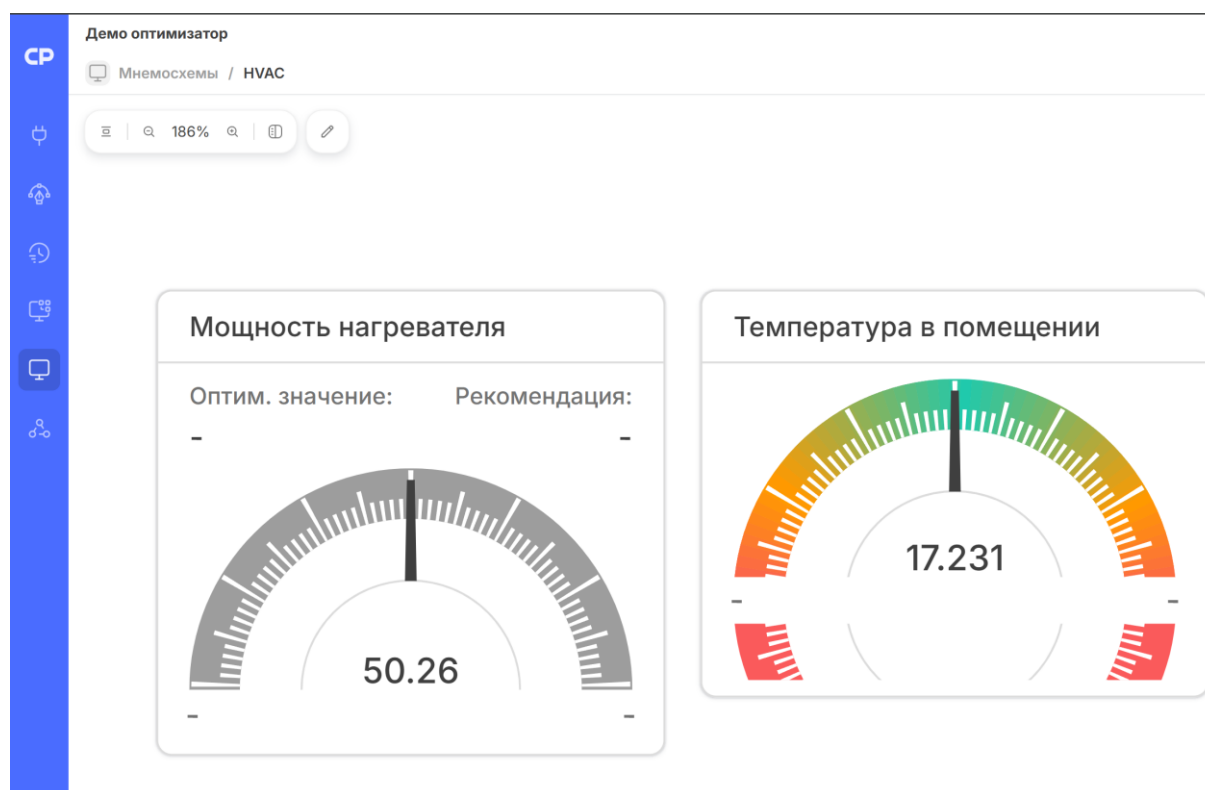


Рисунок 13. Виджет оптимизатора на мнемосхеме: текущее значение управляющего параметра и рекомендация

Все рекомендации, формируемые оптимизатором в режиме мониторинга, сохраняются в исторических данных платформы. Сохранённые данные используются для последующего ретроспективного анализа: оценки динамики формирования рекомендаций, доли применяемых оператором рекомендаций, фактического эффекта применения рекомендаций на целевые параметры.

При формировании рекомендаций оптимизатор учитывает также **рабочие режимы**, заданные на уровне узла. Если оборудование находится в нештатном режиме (пуск, останов, неполная нагрузка), рекомендации не формируются — оптимизатор не должен «вмешиваться» в нерасчётные ситуации.

3.8 ГРАНИЦЫ ФУНКЦИОНАЛА ОПТИМИЗАЦИИ

Для корректного позиционирования функционала и согласования ожиданий заказчика ниже приведены ограничения, явно не входящие в реализованные возможности оптимизатора.

Оптимизатор является советующей системой, а не системой управления. Реализованный функционал ограничивается формированием рекомендаций по изменению уставок и их отображением оператору. Оптимизатор не передаёт рекомендации в АСУ ТП, не замыкает контур управления на исполнительные механизмы и не выполняет автоматическое изменение режима работы оборудования. Решение об изменении уставок принимает оператор.

Принятое архитектурное решение обусловлено следующими соображениями:

- **Распределение ответственности.** Изменение уставок в ответственных технологических процессах требует контроля со стороны человека, способного учесть факторы, не отражённые в данных платформы: текущее состояние смежного оборудования, плановые и внеплановые операции, организационные ограничения.
- **Постепенность ввода в эксплуатацию.** Работа в режиме советующей системы позволяет накапливать доверие к оптимизатору: на первом этапе оператор наблюдает за рекомендациями и оценивает их адекватность, на последующих — начинает применять рекомендации и фиксирует результирующий эффект на технологический процесс.
- **Простота интеграции.** Внедрение советующей системы не требует доработки логики АСУ ТП и согласования изменений в контурах управления — достаточно обеспечить отображение рекомендаций на средствах визуализации оперативного персонала.

Оптимизатор не подменяет регламентные документы и инструкции по управлению процессом. Функционал работает в дополнение к существующим регламентам: технолог при настройке оптимизатора задаёт допустимые диапазоны управляющих параметров в соответствии с действующими ограничениями, а в пределах этих диапазонов оптимизатор выполняет подбор наиболее эффективных значений.

Оптимизатор требует наличия накопленных исторических данных. Поскольку рекомендации формируются на основе модели, обученной по историческим данным процесса, применение оп

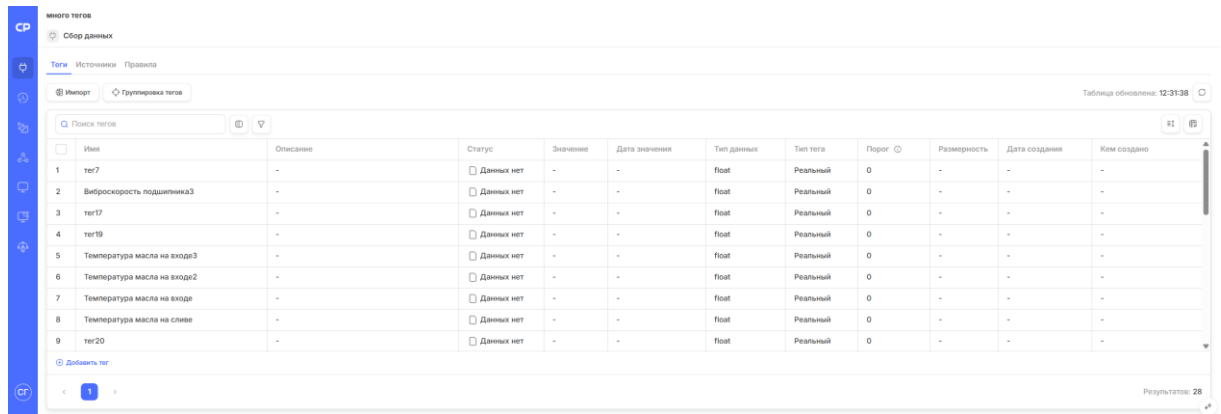
4 СВЯЗАННЫЙ ФУНКЦИОНАЛ ПЛАТФОРМЫ

Помимо функционала оптимизации, ПО CyberStudio предоставляет ряд смежных возможностей, обеспечивающих сбор и хранение данных, визуализацию рекомендаций, управление процессами реагирования и проектированием иерархии активов. В настоящей главе они описаны компактно — в объёме, достаточном для понимания общей картины. Подробное описание возможностей платформы вне функционала оптимизации приведено в основном документе «ПО CyberStudio: описание функционала».

4.1 СБОР И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ

Сервис сбора данных (ССД) обеспечивает получение, очистку и хранение данных о работе оборудования. Платформа поддерживает два типа источников: внешние (подключение к промышленным системам в режиме реального времени) и ретроспективные (загрузка исторических данных из CSV-файлов).

Все данные хранятся в виде **тегов платформы** — именованных переменных, привязанных к параметрам оборудования. Также поддерживается создание **виртуальных тегов**, рассчитываемых из других тегов по математическим выражениям или Python-скриптам. Виртуальные теги применяются для расчёта производных показателей: КПД, удельных расходов, разностей температур и других величин, удобных в качестве целевых параметров оптимизатора.



Имя	Описание	Статус	Значение	Дата значения	Тип данных	Тип тега	Порог	Размерность	Дата создания	Кем создано
1	тег7	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
2	Виброскорость подшипника3	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
3	тег17	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
4	тег19	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
5	Температура масла на входе3	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
6	Температура масла на входе2	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
7	Температура масла на входе	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
8	Температура масла на сливе	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-
9	тег20	Данных нет	-	-	float	Реальный	0	-	-	-

Рисунок 14. Сводная таблица тегов платформы в сервисе сбора данных

Сервис исторический (СИ) обеспечивает визуализацию всех собранных и расчётных данных в виде настраиваемых графиков. Сервис исторический используется на всех этапах работы с оптимизатором: для анализа исторических данных перед обучением модели, для оценки результатов прогонки, для последующего ретроспективного анализа работы системы.

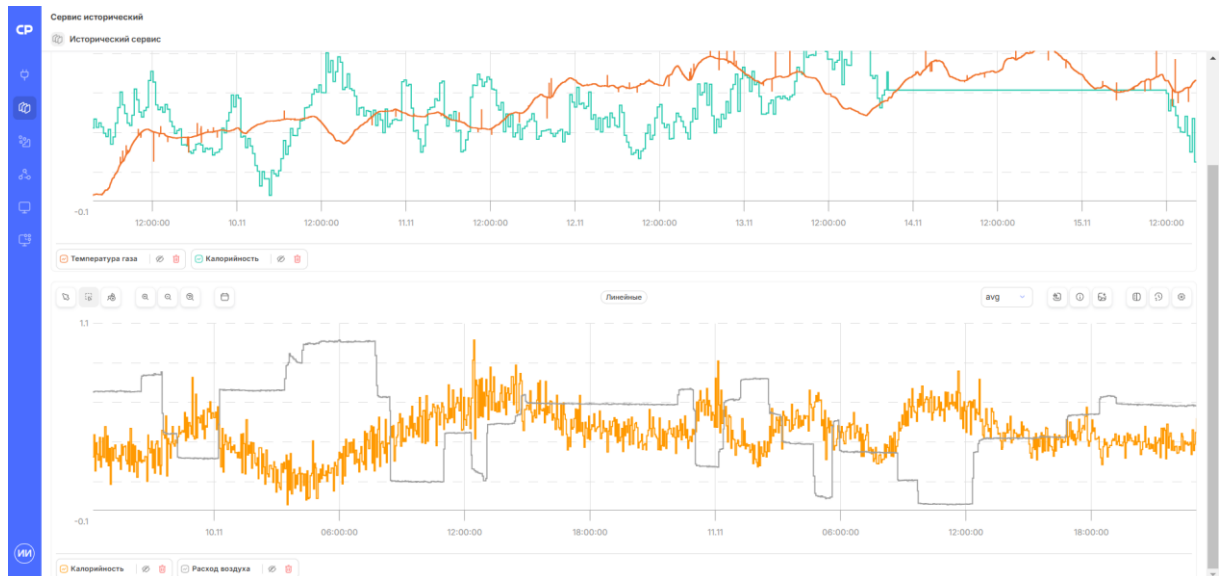


Рисунок 15. Графики в историческом сервисе

Все рекомендации оптимизатора, индексы состояния и расчётные значения целевых параметров сохраняются в базе данных временных рядов и доступны через сервис исторический наравне с фактическими данными.

4.2 ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА КАК СМЕЖНЫЙ ФУНКЦИОНАЛ

Помимо оптимизации режимов, ПО CyberStudio реализует функционал предиктивной аналитики — выявление развивающихся дефектов оборудования по отклонениям диагностических параметров от модельных значений.

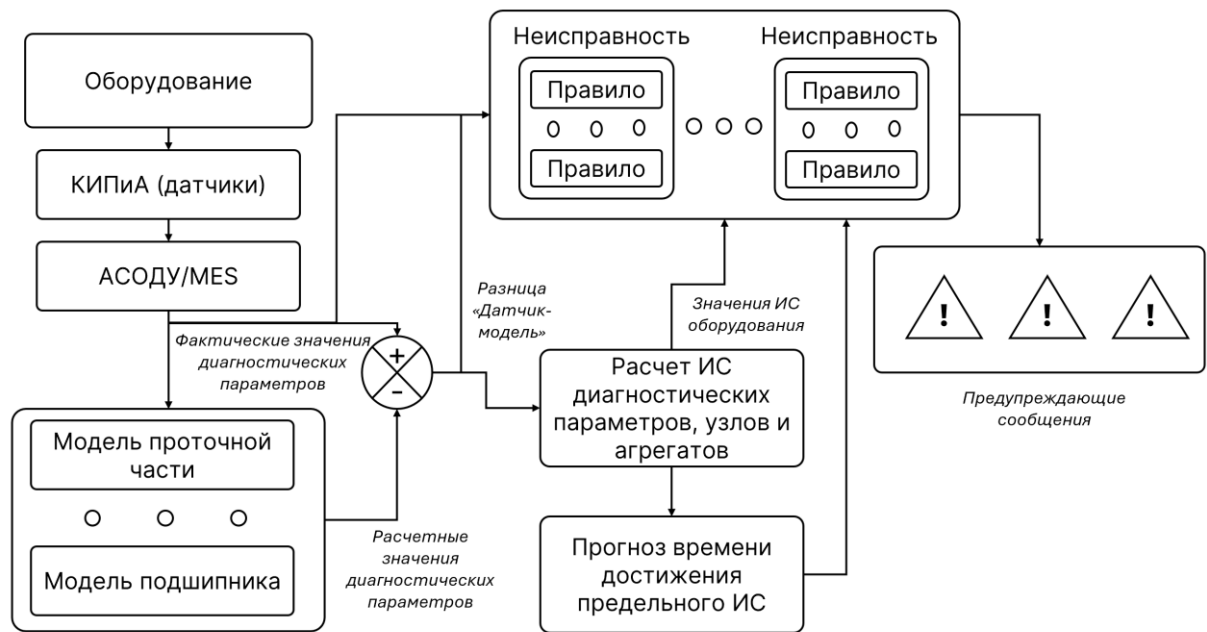


Рисунок 16. Принципиальная схема предиктивной аналитики в ПО CyberStudio

Предиктивная аналитика и оптимизация — два независимых применения единой платформы, использующих общие компоненты (сбор данных, иерархию активов, моделирование, мониторинг), но решающих разные задачи:

- **Предиктивная аналитика** обеспечивает контроль технического состояния оборудования: выявляет развивающиеся дефекты до их перехода в аварийную стадию и прогнозирует остаточный ресурс.
- **Оптимизация** обеспечивает повышение эффективности ведения технологического процесса: формирует рекомендации по уставкам управляющих параметров для улучшения показателей процесса.

Оба функционала могут применяться одновременно на одном и том же оборудовании. Для типового внедрения возможны три варианта:

- **проект только по предиктивной аналитике** — мониторинг технического состояния, оповещение о развивающихся дефектах, прогноз ресурса;
- **проект только по оптимизации** — формирование рекомендаций по уставкам, без диагностики дефектов;
- **совмещённый проект** — обе функции на одном оборудовании; единая иерархия активов, общая модель данных, разные расчётные объекты для каждой задачи.

Ключевые объекты предиктивной аналитики:

- **Модели исправного состояния** — рассчитывают эталонные значения диагностических параметров при условии исправного состояния оборудования.
- **Неисправности** — наборы правил, описывающих характерные отклонения параметров для конкретных типов дефектов; формируют предупреждающие сообщения.
- **Прогнозные блоки** — экстраполяция параметров с монотонной деградацией для оценки остаточного ресурса.



Рисунок 17. Принцип работы модели исправного состояния: фактические и расчётные значения; область расхождения соответствует развитию дефекта

Подробное описание объектов предиктивной аналитики, алгоритмов их работы и сценариев использования приведено в основном документе «ПО CyberStudio: описание функц

4.3 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И МОНИТОРИНГ

Сервис мониторинга (СМ) — основной интерфейс оператора для оперативного контроля состояния оборудования и приёма рекомендаций оптимизатора. Информация представляется двумя способами:

- **Дашборды (мнемосхемы)** — индивидуализированные экраны, создаваемые в конструкторе мнемосхем под конкретный технологический объект.
- **Встроенные виджеты** — стандартные формы визуализации для каждого объекта в иерархии: сборки, узла, модели, оптимизатора.

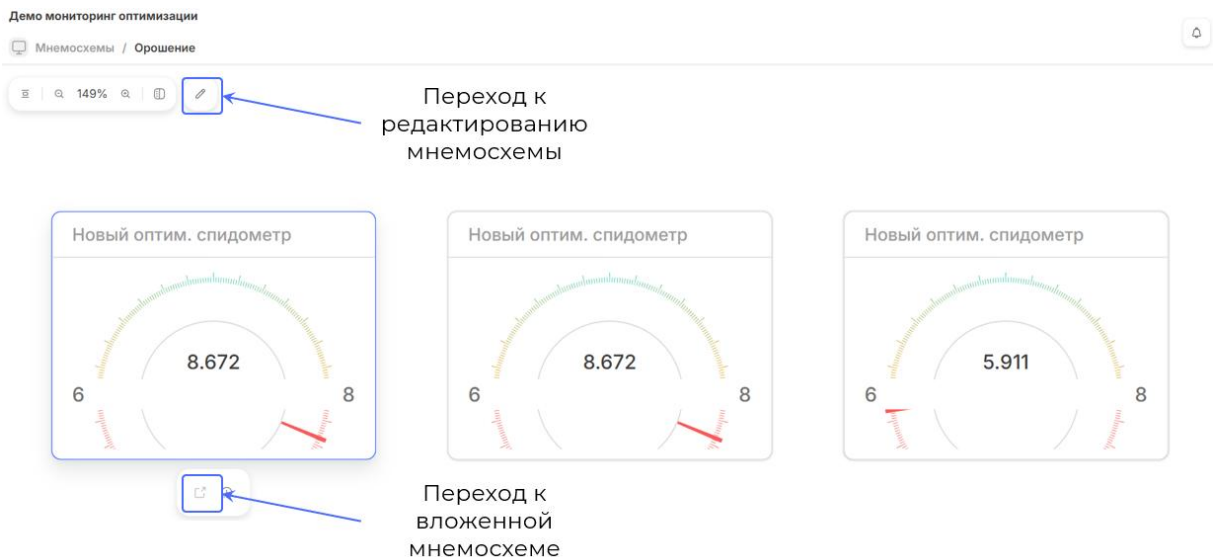


Рисунок 18. Мнемосхема в сервисе мониторинга

Для оптимизатора типичный виджет содержит:

- значение целевого параметра с индикатором попадания в желаемый диапазон;
- значение управляющего параметра в данный момент;

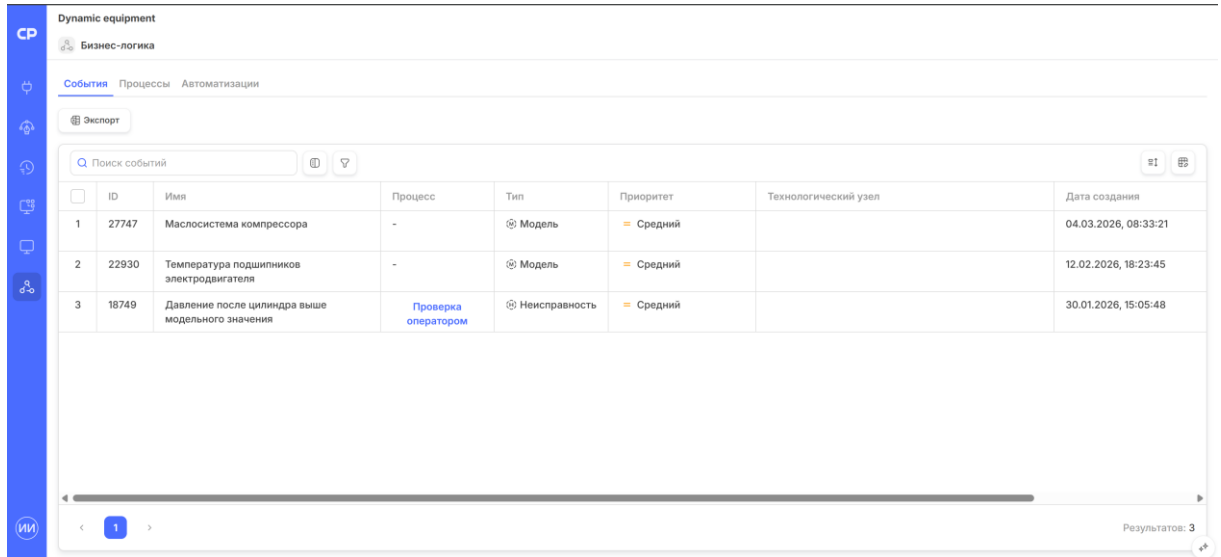
- рекомендованное оптимизатором значение управляющего параметра;
- индекс состояния оптимизатора и состояние рабочего режима.

Сервис дизайна мнемосхем (СДМ) предоставляет конструктор дашбордов из стандартных блоков (изображения, текст, спидометры, блоки значений и др.) с привязкой к данным платформы. Технолог может разрабатывать собственные мнемосхемы, ориентированные на восприятие рекомендаций оператором: спидометры с подсветкой целевых диапазонов, индикаторы изменения уставок, графики целевых параметров с отметкой границ.

Количество и состав мнемосхем определяется при настройке платформы. Типичная организация — от обзорных экранов (сводка по работе всех оптимизаторов установки) до детальных (один экран на оптимизатор с рекомендациями, графиками и метриками работы).

4.4 ПРОЦЕССЫ РЕАГИРОВАНИЯ И СОБЫТИЯ

Сервис бизнес-логики (СБЛ) обеспечивает управление процессами реагирования на события, формируемые расчётными объектами платформы — в том числе оптимизаторами.



The screenshot shows the 'События' (Events) tab in the 'Бизнес-логика' (Business Logic) section. It features a search bar, a table with 3 results, and a sidebar with navigation icons. The table columns are: ID, Имя (Name), Процесс (Process), Тип (Type), Приоритет (Priority), Технологический узел (Technological node), and Дата создания (Creation date).

ID	Имя	Процесс	Тип	Приоритет	Технологический узел	Дата создания
1	27747	Маслосистема компрессора	-	Модель	Средний	04.03.2026, 08:33:21
2	22930	Температура подшипников электродвигателя	-	Модель	Средний	12.02.2026, 18:23:45
3	18749	Давление после цилиндра выше модельного значения	Проверка оператором	Неисправность	Средний	30.01.2026, 15:05:48

Рисунок 19. Интерфейс сервиса бизнес-логики

Когда оптимизатор фиксирует длительное отклонение целевых параметров от желаемого диапазона (ИС опускается ниже ИС срабатывания), он формирует **событие**. Событие содержит атрибуты: рекомендация оптимизатора, текущие значения целевого и управляющих параметров, длительность отклонения, наименование объекта.

Процессы реагирования. При формировании события автоматически создаётся процесс отработки на основе заранее настроенного шаблона. Процесс включает набор задач с назначенными исполнителями: рассмотреть рекомендацию, при необходимости применить её, зафиксировать результат, оставить комментарий или вложение.

Шаблоны процессов создаются в визуальном конструкторе. Типичные шаблоны для оптимизатора:

- ознакомление оператора с новой рекомендацией и фиксация решения о её применении;

- эскалация на технолога-моделиста при повторном отсутствии ожидаемого эффекта от применения рекомендаций — как признак необходимости дообучения модели или коррекции настроек оптимизатора;
- регулярные обзорные процессы оценки эффективности работы оптимизатора за период.

Автоматизации. Механизм автоматических действий при выполнении условий: создание процесса при появлении события заданного типа, рассылка уведомлений ответственным пользователям при формировании рекомендации, эскалация при отсутствии действий в течение заданного времени.

История работы. Все процессы и сопровождающие их комментарии сохраняются в истории. Это обеспечивает прозрачность работы операторов и накопление аналитической информации: какие рекомендации применялись, какие — нет, и какие были обос

4.5 ИЕРАРХИЯ АКТИВОВ И ШАБЛОНЫ

Сервис дизайна проекта (СДП) предоставляет инструменты для создания иерархии оборудования и управления расчётными объектами, в том числе оптимизаторами.

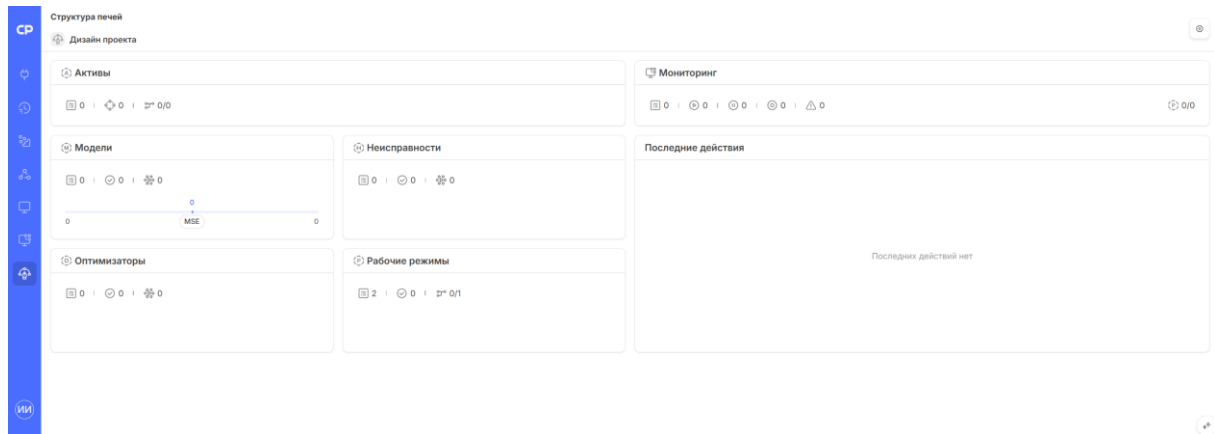


Рисунок 20. Главная страница сервиса дизайна проекта

Иерархия активов. Оборудование организуется в произвольную древовидную структуру из сборок (контейнеров) и узлов (конечных элементов). Глубина и наименование уровней определяются при настройке в соответствии со структурой конкретного предприятия. Внутри узлов размещаются расчётные объекты: модели, оптимизаторы, неисправности, прогнозные блоки.

Шаблоны. Любой актив (сборку, узел, оптимизатор вместе с моделью и тегами) можно сохранить как шаблон. Шаблон сохраняет полную структуру объекта и связи между вложенными элементами. При создании нового актива на основе шаблона достаточно выполнить картирование тегов — привязать параметры расчётных объектов к реальным тегам платформы.

Применительно к функционалу оптимизации шаблоны особенно эффективны при тиражировании на однотипное оборудование: однократно настроенный оптимизатор (с моделью, ролями тегов, диапазонами и весовыми коэффициентами) применяется к новым однотипным агрегатам путём создания из шаблона и переназначения тегов.

Дублирование. Поддерживается создание полной копии актива со всеми вложенными объектами. Применяется при необходимости локальной модификации уже настроенного объекта с сохранением исходного варианта.

Управление статусом мониторинга. Технолог управляет запуском и остановкой расчётов для отдельных оптимизаторов. При остановке мониторинга сбор данных продолжается, но расчёт оптимизатора и формирование рекомендаций приостанавливаются — это используется при настройке, дообучении или временном выводе оптимизатора и

4.6 АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ЭКСПОРТ/ИМПОРТ НАСТРОЕК

Сервис администрирования (СА) обеспечивает управление доступом к платформе.

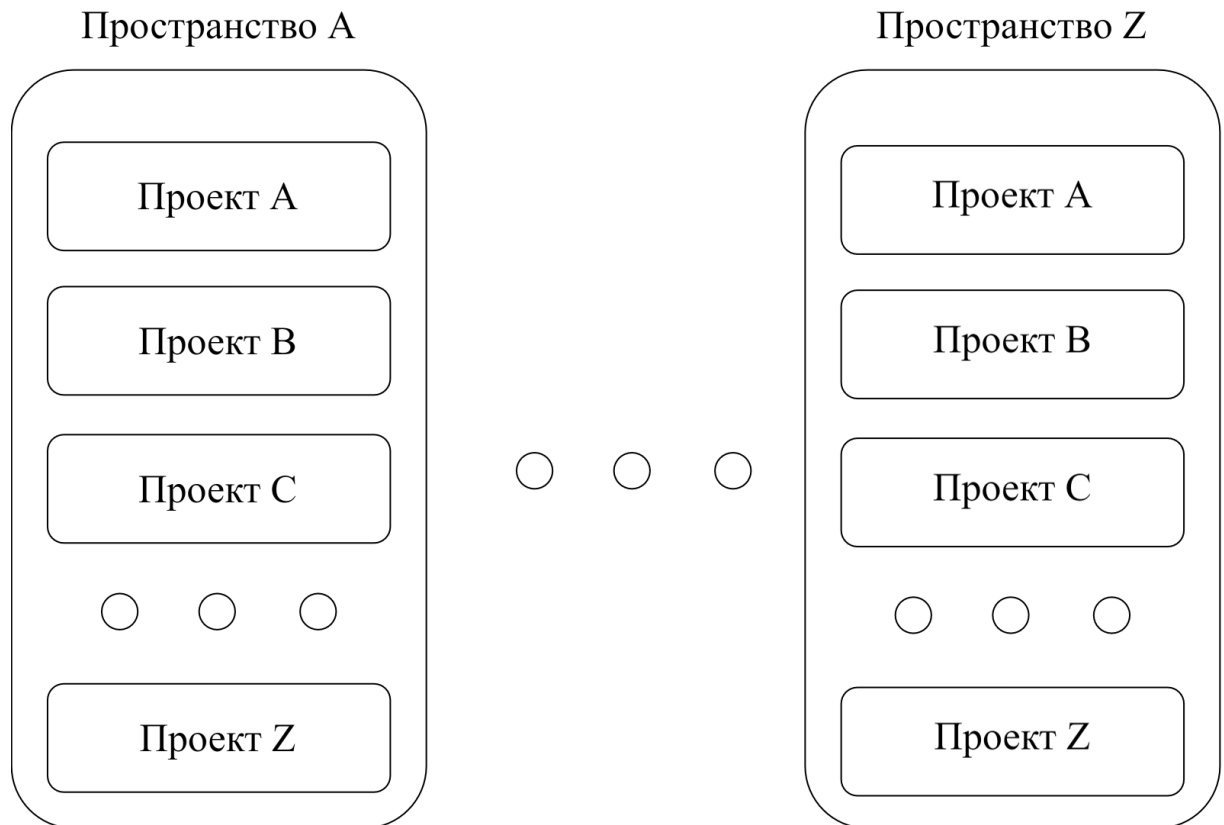


Рисунок 21. Иерархия пространств и проектов в сервисе администрирования

Пространства и проекты. Данные в ПО CyberStudio изолированы при помощи двухуровневой иерархии: пространство (контейнер верхнего уровня) и проект (основная единица работы, в которой создаётся иерархия активов и настраиваются оптимизаторы). Пользователи имеют доступ только к тем пространствам и проектам, членами которых они являются.

Управление пользователями. Аутентификация выполняется через внешний сервис аутентификации (Keycloak). Сервис администрирования управляет назначением пользователей в пространства и проекты, а также правами доступа в соответствии с ролевой моделью.

Сервис экспорта/импорта позволяет переносить настройки проекта (иерархию активов, модели, оптимизаторы, шаблоны процессов) между средами — например, из тестовой среды в продуктивную, либо тиражировать настройки между однотипными проектами разных подразделений предприятия. Операции экспорта и импорта доступны пользователям с правами администратора.

5 ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ИСТОЧНИКАМ ДАННЫХ

Работа оптимизатора в режиме реального времени требует непрерывного поступления актуальных значений управляющих и входных параметров процесса. По этим данным на каждом такте выполняется расчёт целевых параметров и формируется рекомендация для оператора. Чем меньше задержка между измерением и поступлением данных в платформу, тем оперативнее формируется рекомендация.

ПО CyberStudio обеспечивает подключение к источникам данных предприятия двумя способами.

Подключение в режиме реального времени. Используется при работе оптимизатора на действующем оборудовании. Данные поступают через интеграционные модули, опрашивающие внешние источники с заданной периодичностью (типичный период опроса — одна минута). Поддерживаются:

- стандартные протоколы промышленной автоматизации семейства OPC: OPC DA, OPC UA, OPC HDA;
- системы долговременного хранения данных временных рядов (например, OSIsoft PI — через PI Web API);
- системы оперативного управления и автоматизации производственных процессов (SCADA, MES) — через разработку интеграционных модулей под архитектуру конкретной системы.

Данные передаются в формате «тег — метка времени — значение» и сохраняются в базе данных временных рядов платформы. Одновременно эти же значения используются как входные данные для расчётов оптимизато