

Система мониторинга и настройки контуров  
**«iXyber PID Analyst»**

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

## **АННОТАЦИЯ**

В данном руководстве рассмотрены вопросы, связанные с эксплуатацией системы iXyber PID Analyst.

Настоящее руководство предназначено для пользователей системы iXyber PID Analyst, ответственных за настройку и мониторинг ПИД - контуров.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	4
1. Начало работы .....	5
1.1. Вход в систему.....	5
1.2. Переход к работе с ПИД-контурами .....	5
2. Уровень «Предприятие» .....	9
2.1. Вкладка «Дашборд» .....	9
2.2. Вкладка «Тепловая карта».....	10
2.3. Вкладка «События» .....	11
3. Уровень «Установка» .....	13
3.1. Вкладка «Дашборд» .....	13
3.2. Вкладка «Тепловая карта».....	14
3.3. Вкладка «Конфигурация» .....	15
3.4. Вкладка «События» .....	17
3.5. Вкладка «Анализ».....	17
4. Уровень «Регулятор» .....	20
4.1. Вкладка «Дашборд» .....	20
4.2. Вкладка «Тепловая карта».....	23
4.3. Вкладка «Конфигурация» .....	25
4.4. Вкладка «События» .....	29
4.5. Вкладка «Модель процесса».....	29
4.6. Вкладка «Настройка регулятора».....	35
5. Расчёт ключевых показателей эффективности (KPI).....	40

## **ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ИО	–	Исполнительный орган
КРІ	–	Ключевой показатель эффективности
ЛКМ	–	Левая кнопка мыши
ПИД	–	Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон работы регулятора
ПКМ	–	Правая кнопка мыши

## 1. Начало работы

### 1.1. Вход в систему

Доступ к Системе осуществляется по ссылке <https://<host>/> в браузерах Google Chrome или Microsoft Edge.

В дальнейшем необходимо авторизоваться: указать логин и пароль, а затем нажать кнопку «Вход» (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

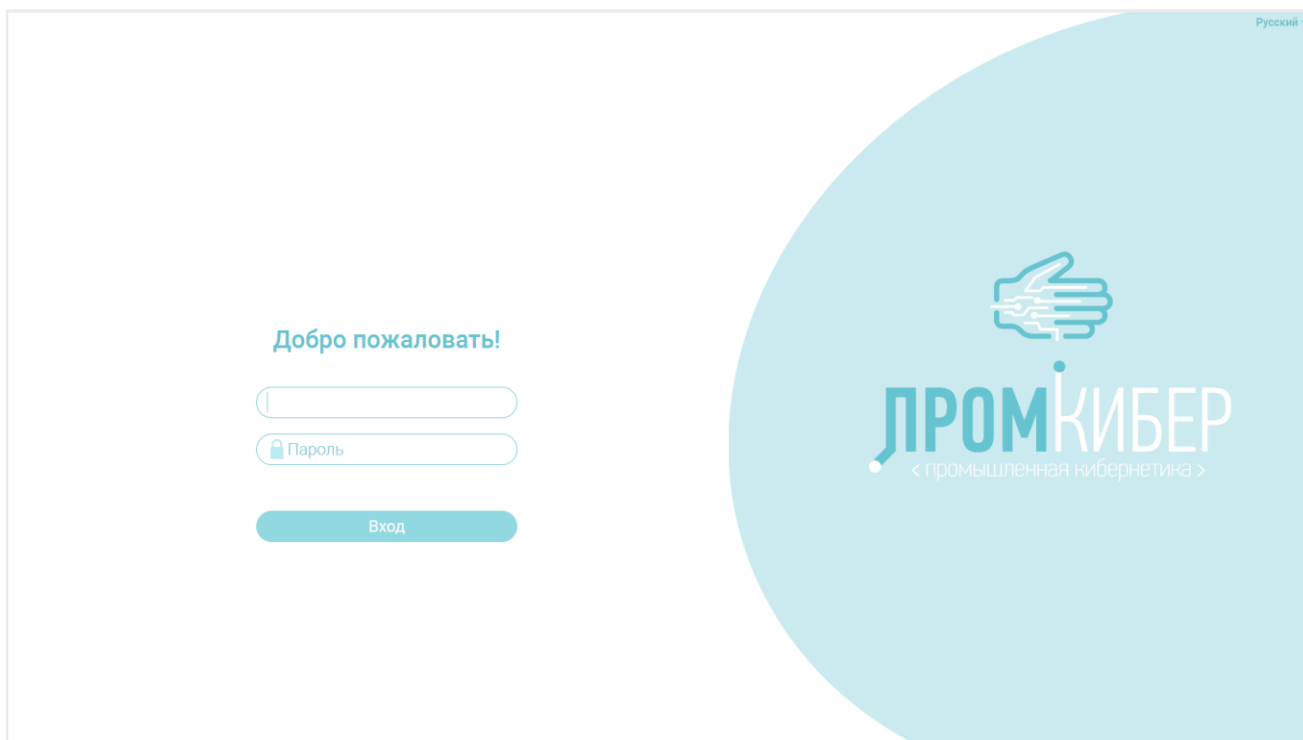


Рис. **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..1** – Страница авторизации

### 1.2. Переход к работе с ПИД-контурами

После проведения процедуры авторизации открывается основной экран, где необходимо выбрать область для работы – необходимо открыть «Дерево объектов» нажатием на иконку ≡ (А) в левом верхнем углу рабочей области или наведением указателем мыши на выплывающую шторку (Б) слева (рисунок 1.2).

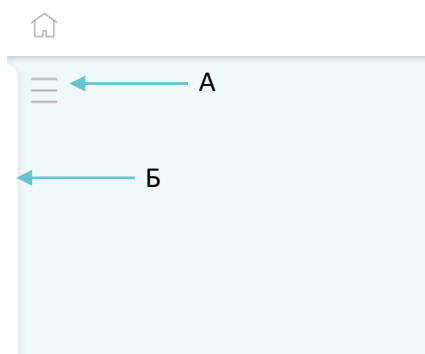


Рис. **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..2** – Элементы интерфейса для открытия «Дерева объектов»

В открывшемся «Дереве объектов», можно выбрать предприятие или объект, с которым требуется начать работу (рисунок 1.3).

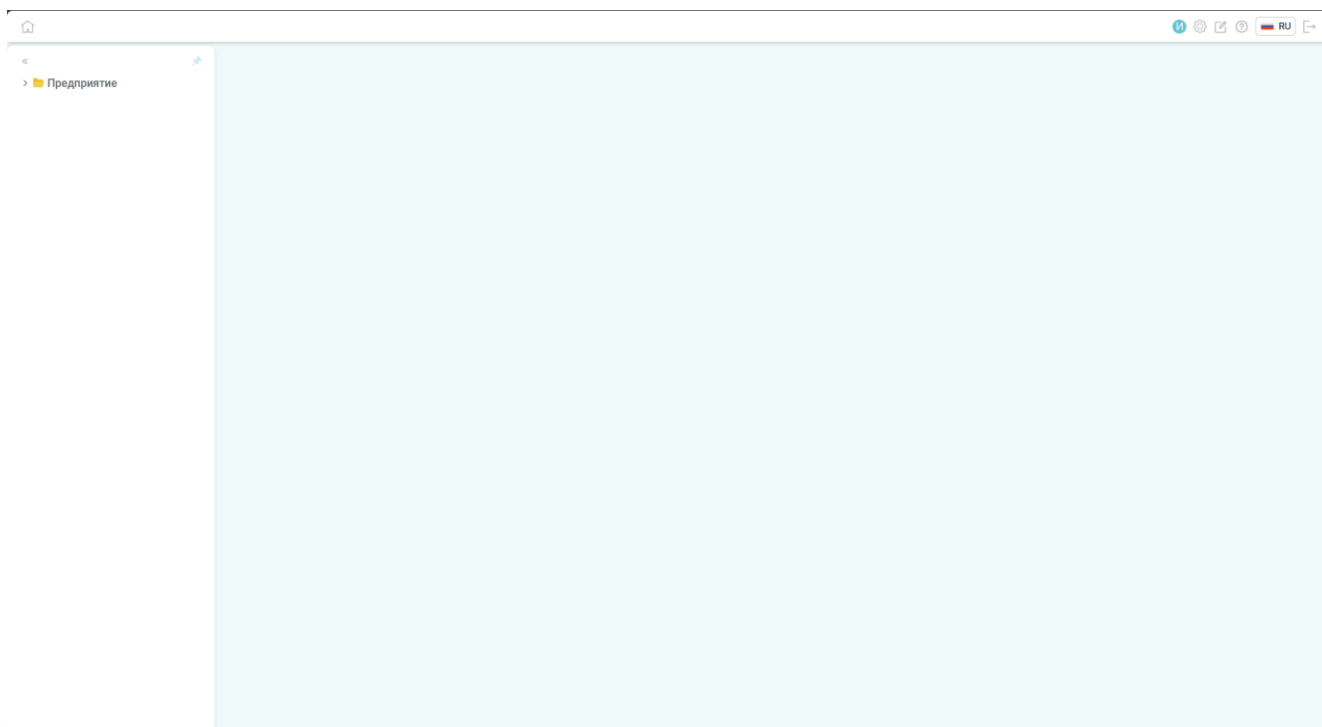


Рис. Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..3 – «Дерево объектов» на стартовой странице

«Дерево объектов» состоит из следующих уровней:

- Уровень предприятия
- Уровень установки
- Уровень ПИД - регулятора

Описание каждого из уровней представлено в таблице 1.1:

Таблица Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..1 – Описание уровней дерева объектов

Уровень	Описание
<b>Уровень предприятия</b>	Представлен дашборд с ключевыми показателями ПИД - регуляторов, тепловая карта, журнал событий, тренды-
<b>Уровень установки</b>	Включает в себя дашборд с ключевыми показателями ПИД - регуляторов, тепловую карту, окно с настройками конфигурации, журнал событий по установке, тренды, область проведения анализа ПИД - контуров.
<b>Уровень регулятора</b>	Здесь представлены экран дашборда с ключевыми показателями ПИД - регулятора, тепловая карта, окно с настройками конфигурации, журнал событий по ПИД - регулятору, тренды, вкладка «Модель процесса» с возможностью проведения идентификации, оценки созданной модели с представлением графического анализа и область для настройки ПИД - регулятора (вкладка «Настройка регулятора»).

Для обзора состояния установки необходимо нажатием на элемент > раскрыть раздел «Предприятие» в «Дереве объектов», затем нажатием на элемент > раскрыть раздел с нужным названием установки и нажать левой кнопкой мыши (далее – ЛКМ) на элемент мнемосхемы с дашбордом 📊 (рис. 1.4).

Для проведения мониторинга и настройки ПИД - регулятора необходимо нажатием на элемент > раскрыть раздел «Предприятие» в «Дереве объектов», затем нажатием на элемент > раскрыть раздел с нужным названием установки, далее нажатием на элемент > раскрыть раздел с нужным названием ПИД - регулятора 📊 и нажать ЛКМ на элемент мнемосхемы с дашбордом ПИД - регулятора 📊 (рис. 1.4).

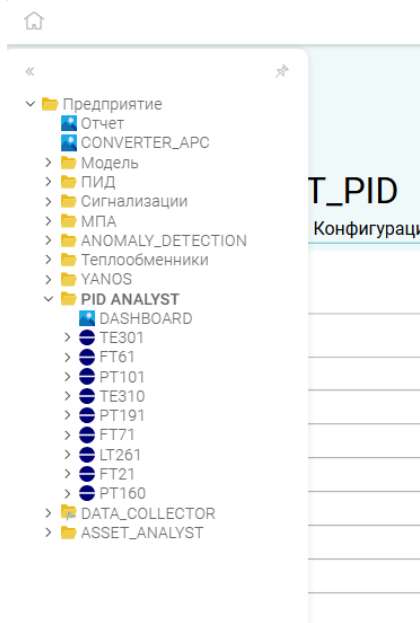


Рис. Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..4 – Дерево объектов

На мнемосхеме каждого уровня в нижней части экрана расположен таймлайн – инструмент для задания временного диапазона отображения данных (рис. 1.5). С помощью этого компонента можно изменить временные границы и выбрать наиболее подходящий вариант: месяц, неделя, сутки, ежеминутное обновление информации в режиме реального времени с интервалом в сутки. В таблице 1.2 представлены графические элементы таймлайна. Применяемый способ визуализации данных отображается в виде активированной кнопки.

Для удобства использования таймлайна предусмотрена возможность выбора временного периода заданием даты и времени в формате ДД:ММ:ГГГГ, ЧЧ:ММ. Задать дату и время можно при помощи календаря или сделать это вручную. Для переключения временного интервала можно использовать кнопки в виде стрелок <> .

Область таймлайна включает в себя выбор способа расчёта метрик и представления других параметров: «Среднее значение» или «Значение на маркере».



Рис. 1.5 – Таймлайн

В таблице 1.2 представлены все элементы таймлайна и их описание.

Таблица **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..2** – Графические элементы для выбора временного периода работы с данными

Иконка	Описание
	Иконка для выбора представления данных за предыдущий месяц
	Представление данных за предыдущий месяц
	Иконка для выбора представления данных за предыдущую неделю
	Представление данных за предыдущую неделю
	Иконка для выбора представления данных за предыдущие сутки
	Представление данных за предыдущие сутки
	Иконка для выбора ежеминутного обновления данных в режиме реального времени с интервалом в сутки
	Ежеминутное обновление данных в режиме реального времени с интервалом в сутки
	Кнопки для переключения фиксированного временного шага
	Отображение данных и коэффициентов метрик в момент времени, указанный ползунком
	Отображение данных и коэффициентов метрик в среднем значении за выбранный промежуток времени
	Поле для выбора даты и времени границ рассматриваемого диапазона времени
	Ползунок для выбора точки во временном периоде при визуализации данных варианта «Значение на маркере»

## 2. Уровень «Предприятие»

Уровень «Предприятие» представлен четырьмя вкладками: «Дашборд», «Тепловая карта» (в графическом и табличном виде), «События», «Тренды». На каждой мнемосхеме указано название предприятия, под которым размещена область навигации для переключения между вкладками. Недоступные для работы вкладки окрашены серым цветом (рис. 2.1).



ООО «Предприятие»

### ООО «Предприятие»

Дашборд   Тепловая карта   События   Тренды   Модель процесса   Настройка регулятора

Рис. 2.1 – Область навигации в виде вкладок на уровне «Предприятие»

### 2.1. Вкладка «Дашборд»

Дашборд предназначен для визуализации наиболее значимых показателей качества регулирования с целью проведения первичной оценки эффективности работы ПИД - регуляторов (рис. 2.2). Для перехода на экран с дашбордом следует нажать на вкладку «Дашборд» в области навигации.



Рис. 2.2 – Вкладка «Дашборд» на уровне предприятия

Вкладка «Дашборд» включает в себя график динамики ключевого показателя эффективности (далее – KPI) с возможностью изменения вида отображения: для одного регулятора в виде гистограммы, для двух и более регуляторов – в виде графика «Ящик с усами».

В данном окне представлены гистограмма «Неисправности», которая отображает количество регуляторов, имеющих неисправность(-и), и гистограмма «Топ-10 плохих регуляторов», акцентирующая внимание пользователя на ПИД - регуляторах с низким значением KPI. При нажатии ЛКМ на наименование ПИД - регулятора гистограммы

«Топ - 10 плохих регуляторов» открывается экран с дашбордом соответствующего ПИД - регулятора.

Для быстрой оценки эффективности предприятия представлены графики и круговые диаграммы по неисправностям регуляторов в процентном соотношении от их общего количества (% регуляторов, находящихся в оптимальном состоянии и % регуляторов с диагностированием проблемы) и по режимам работы ПИД - регуляторов (автоматический, ручной, каскадный).

## 2.2. Вкладка «Тепловая карта»

Тепловая карта позволяет понять, какие установки наиболее приоритетны для оптимального управления предприятием. Размеры прямоугольников с названием установок, отображением коэффициента KPI характеризуют их вес, а цвет – значение KPI, где оттенки бирюзового и зелёного цветов – высокое и выше среднего значение KPI (75%-100%), оттенки жёлтого – среднее значение (50%-75%), оттенки оранжевого и красного цветов – ниже среднего и низкое значение KPI (0%-50%). Для перехода на экран с тепловой картой следует нажать на вкладку «Тепловая карта» в области навигации.

Гибкость этого инструмента отражается в возможности сортировки веса установок («От большего к меньшему»/ «От меньшего к большему») и фильтрации по значению KPI (выбор диапазона от 0% до 100%). Тепловая карта доступна к просмотру в двух вариантах. На рисунке 2.3 представлена тепловая карта в графическом виде, на рисунке 2.4 – в табличном.



Рис. 2.3 – Графический вид представления тепловой карты на уровне предприятия

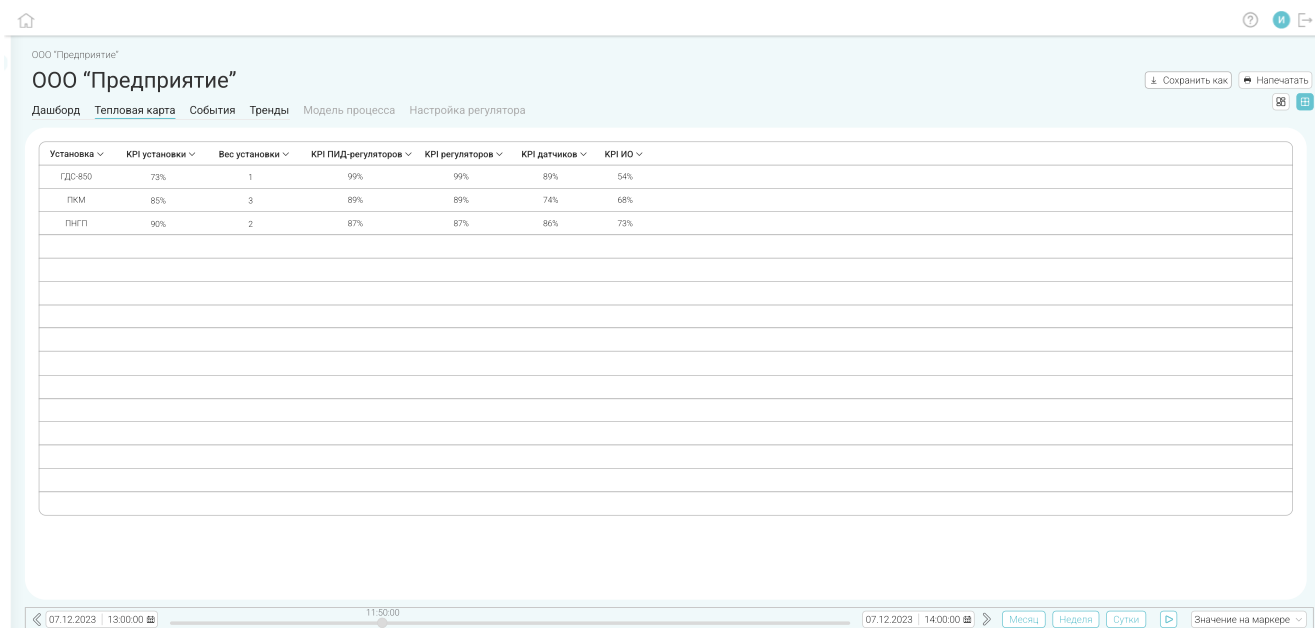


Рис. 2.4 – Табличный вид представления тепловой карты на уровне предприятия

Чтобы поменять вид представления данных, следует воспользоваться переключателем в правой верхней области экрана (рис. 2.5, слева – графическое отображение, справа – табличное).

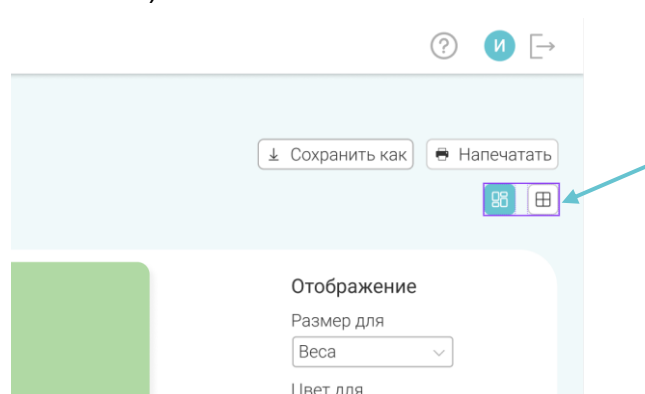


Рис. 2.5 – Переключение вида представления данных тепловой карты на уровне предприятия

При нажатии на прямоугольник тепловой карты в графическом виде с названием установки открывается экран с дашбордом соответствующего объекта. В случае табличного представления данных перейти на уровень установки можно при нажатии ЛКМ на нужное название объекта. При наведении курсора мыши на область прямоугольника появляется всплывающее окно с показателями метрик для каждой установки (KPI установки, вес установки, KPI ПИД - регулятора, KPI регулятора, KPI датчика, KPI исполнительного органа (далее – ИО)).

### 2.3. Вкладка «События»

На вкладке «События» представлены исторические данные появляющихся событий с указанием наименования установки, позиции ПИД - регулятора, текстового сообщения события, датой и временем возникновения. Есть возможность применения сортировки и фильтрации по столбцам «Дата и время», «Установка», «Позиция» и «Тип сообщения». На рисунке 2.6 изображён экран с событиями, для перехода на него следует нажать на вкладку «События» в области навигации.

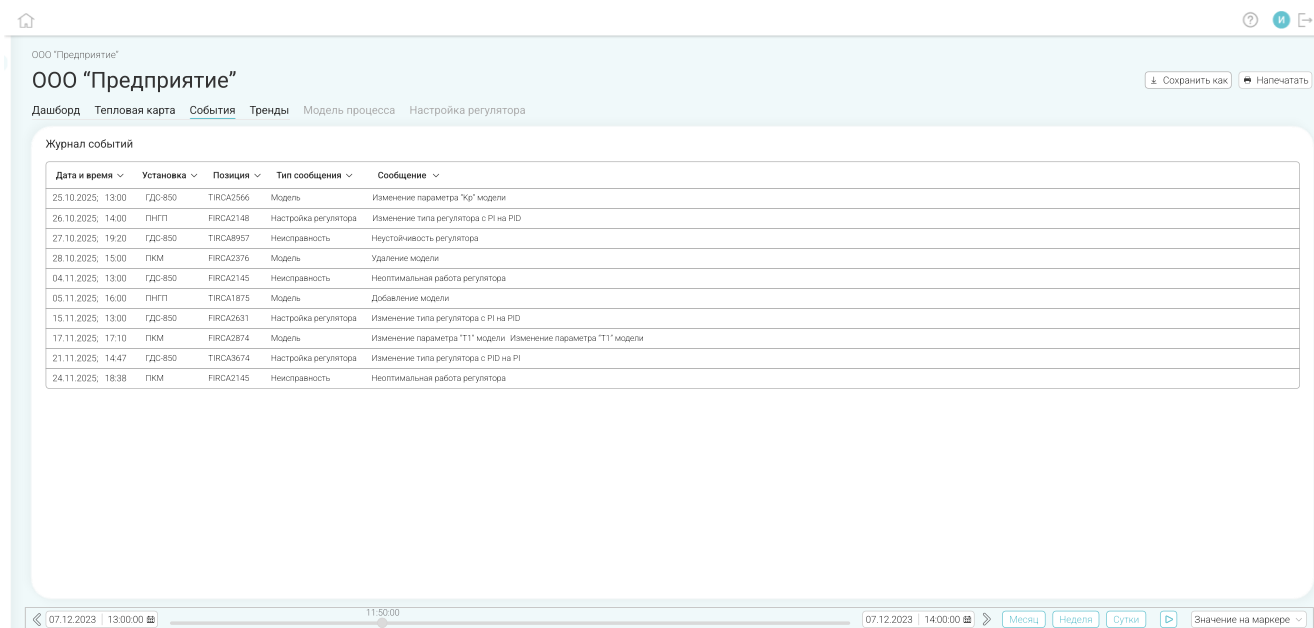


Рис. 2.6 – Вкладка «События» на уровне предприятия

При нажатии ЛКМ на наименование интересующего объекта открывается вкладка «Дашборд» установки или ПИД - регулятора соответственно.

### 3. Уровень «Установка»

Уровень «Установка» представлен шестью вкладками: «Дашборд», «Тепловая карта» (в графическом и табличном виде), «Конфигурация», «События», «Тренды», «Анализ». На каждой мнемосхеме указано название установки, под которым размещена область навигации для переключения между вкладками. Недоступные для работы вкладки окрашены серым цветом (рис. 3.1).



ООО "Предприятие" >> Установка

## Установка

Дашборд Тепловая карта Конфигурация События Тренды Анализ Модель процесса Настройка регулятора

Рис. Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..4 – Область навигации в виде вкладок на уровне «Установка»

### 3.1. Вкладка «Дашборд»

Дашборд предназначен для визуализации наиболее значимых показателей качества регулирования с целью проведения первичной оценки эффективности работы ПИД - регуляторов на установке (рис. 3.2). Для перехода на экран с дашбордом следует нажать на вкладку «Дашборд» в области навигации.



Рис. 3.2 – Вкладка «Дашборд» на уровне установки

Вкладка «Дашборд» содержит график динамики КРІ с возможностью выбора типа представления: для одного регулятора в виде гистограммы, для двух и более регуляторов – в виде графика «Ящик с усами».

На экране представлены гистограмма «Неисправности», отображающая количество регуляторов с дефектами в управлении технологическим процессом, и гистограмма «Топ-10 плохих регуляторов», привлекающая внимание пользователя на ПИД - регуляторы с низким значением КРІ. При нажатии ЛКМ на наименование ПИД - регулятора под гистограммой «Топ-10 плохих регуляторов» открывается экран с дашбордом соответствующего ПИД - регулятора.

Для оценки эффективности работы ПИД - регуляторов на установке представлен график и круговая диаграмма «Неисправности регуляторов» (количество регуляторов, находящихся в оптимальном состоянии и регуляторов с диагностированием проблемы, выраженное в процентном соотношении), а также график и круговая диаграмма «Режим регуляторов» (автоматический, ручной, каскадный).

### 3.2. Вкладка «Тепловая карта»

Тепловая карта визуализирует иерархичность ПИД - регуляторов по важности для эффективного управления технологическим процессом на установке. Данные представлены в виде цветных прямоугольников различного размера, на которых отображены названия ПИД - регуляторов, значение КРІ ПИД - регуляторов и их режим работы. Размер и цвет прямоугольников могут характеризовать вес ПИД - регуляторов, значение КРІ ПИД - регуляторов, значение КРІ регулятора, значение КРІ датчика или значение КРІ ИО по усмотрению пользователя. Для перехода на экран с тепловой картой следует нажать на вкладку «Тепловая карта» в области навигации.

Возможность сортировки прямоугольников по размеру («Размер по убыванию»/ «Размер по возрастанию») и фильтрации по типу регулятора («Все», «Давление», «Расход», «Температура», «Уровень»), режиму работы («Все», «АВТО», «РУЧ», «КАС»), неисправностям («Все», «Неоптимальная работа», «Неустойчивость», «Ненужный режим», «Выход за шкалу», «Некорректная работа», «Насыщение клапана», «Залипание клапана», «Нелинейность клапана»), значению КРІ ПИД - регулятора, КРІ регулятора, КРІ датчика, КРІ ИО (выбор диапазона от 0% до 100% при помощи ползунка) позволяет пользователю гибко настроить инструмент. При наведении курсора мыши на область прямоугольника появляется всплывающее окно с показателями метрик для каждого ПИД - регулятора (КРІ ПИД - регулятора, КРІ регулятора, КРІ датчика, КРІ ИО, вес ПИД - регулятора, тип контура регулирования, режим работы ПИД - регулятора, неисправности).

Тепловая карта доступна к просмотру в двух вариантах. На рисунке 3.3 представлена тепловая карта в графическом виде, на рисунке 3.4 – в табличном.

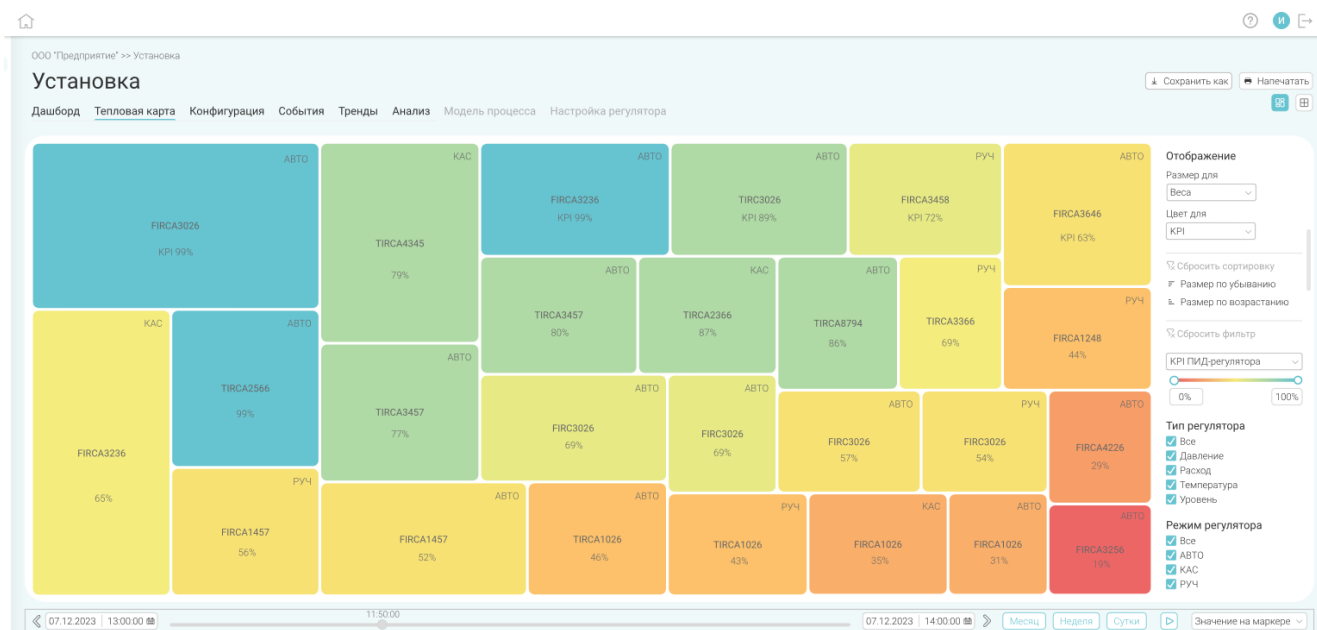


Рис. 3.3 – Графический вид представления тепловой карты установки

ООО "Предприятие" -> Установка

Установка

Сохранить как | Напечатать

Дашборд | Тепловая карта | Конфигурация | События | Тренды | Анализ | Модель процесса | Настройка регулятора

ПИД-регулятор	Тип контура	Режим ПИД-регулятора	KPI ПИД-регулятора	KPI регулятора	KPI датчика	KPI ИО	Вес ПИД-регулятора
TIRCA2566	Температура	АВТ	54%	54%	54%	54%	1
TIRCA3026	Температура	АВТ	68%	68%	68%	68%	2
TIRCA3457	Температура	РУЧ	73%	73%	73%	73%	3
TIRCA3366	Температура	АВТ	64%	64%	64%	64%	4
TIRCA3366	Температура	КАС	81%	81%	81%	81%	5
TIRCA8794	Температура	АВТ	58%	58%	58%	58%	6
TIRCA4345	Температура	АВТ	76%	76%	76%	76%	7
TIRCA2566	Температура	АВТ	90%	90%	90%	90%	1
FIRCA3026	Расход	РУЧ	76%	76%	76%	76%	2
FIRCA3457	Расход	КАС	67%	67%	67%	67%	3
FIRCA2366	Расход	АВТ	69%	69%	69%	69%	4
FIRCA3366	Расход	АВТ	85%	85%	85%	85%	5
FIRCA8794	Расход	РУЧ	91%	91%	91%	91%	6
FIRCA4345	Расход	КАС	83%	83%	83%	83%	7
FIRCA3026	Расход	АВТ	77%	77%	77%	77%	2

07.12.2023 | 13:00:00 | 11:50:00 | 07.12.2023 | 14:00:00 | Месяц | Неделя | Суток | Значение на маркере

Рис. 3.4 – Табличный вид представления тепловой карты установки

Чтобы поменять вид представления данных, следует воспользоваться переключателем в правой верхней области экрана (рисунок 3.5: слева – графическое отображение, справа – табличное).

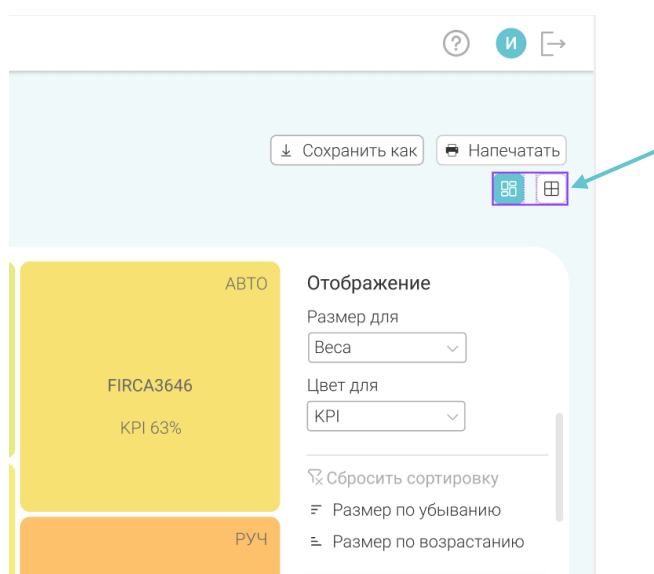


Рис. 3.5 – Переключение вида представления данных тепловой карты на уровне установки

При нажатии на прямоугольник с названием ПИД - регулятора тепловой карты в графическом виде открывается экран «Дашборд» соответствующего ПИД - регулятора. В случае табличной визуализации данных перейти на окно «Дашборд» ПИД - регулятора можно при нажатии ЛКМ на название нужной позиции.

### 3.3. Вкладка «Конфигурация»

На экране представлена таблица «Журнал контуров» с функциями редактирования и удаления, которая включает данные о наименовании контура, его описание, тип, дату добавления. На рисунке 3.6 изображена мнемосхема «Конфигурация» уровня установки.

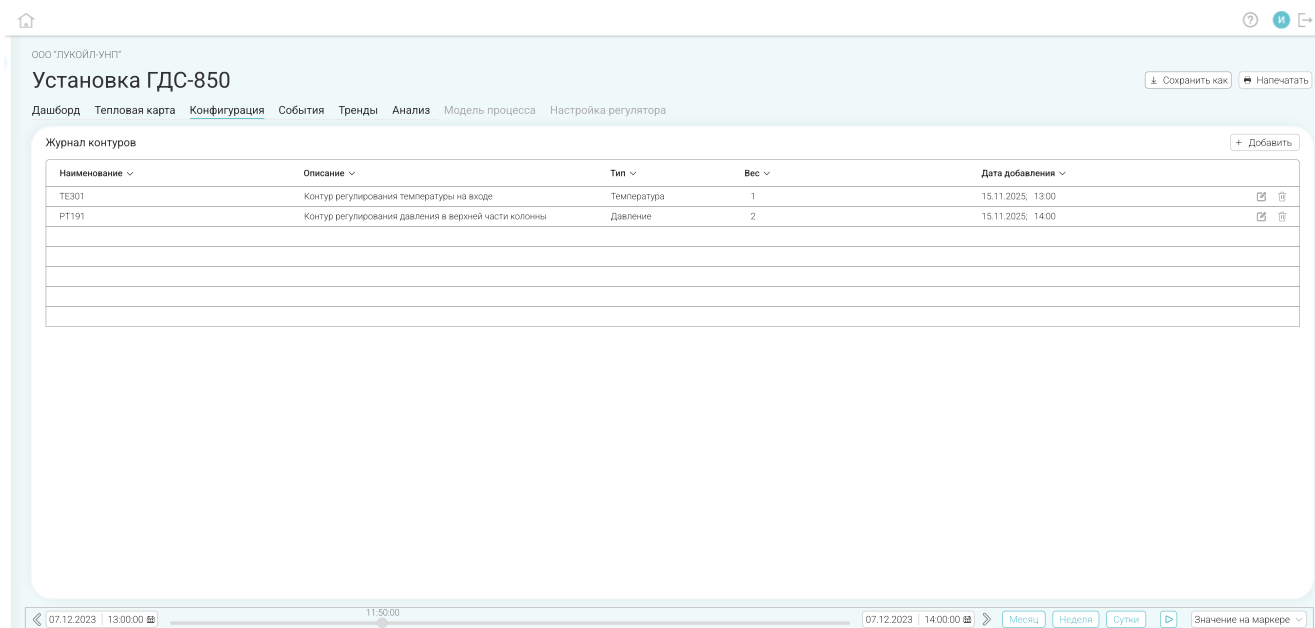


Рис. 3.6 – Вкладка «Конфигурация» на уровне установки

В верхнем правом углу экрана (рисунок 3.7) расположен инструмент для добавления новых контуров регулирования.

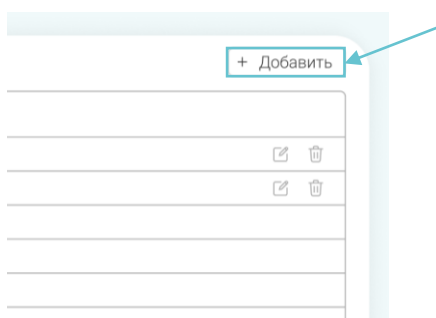


Рис. 3.7 – Инструмент добавления ПИД - контуров

При нажатии на кнопку «Добавить» открывается окно для добавления нового контура регулирования (рис. 3.8). Чтобы внести в журнал новый контур, необходимо заполнить поле с наименованием, выбрать OPC - сервер, определить время выборки и тип контура из предложенных вариантов выпадающего списка, заполнить поле «Описание контура». Далее нужно нажать кнопку «Добавить регулятор».

Имя контура

OPC-сервер

Время выборки

Тип контура

Описание контура

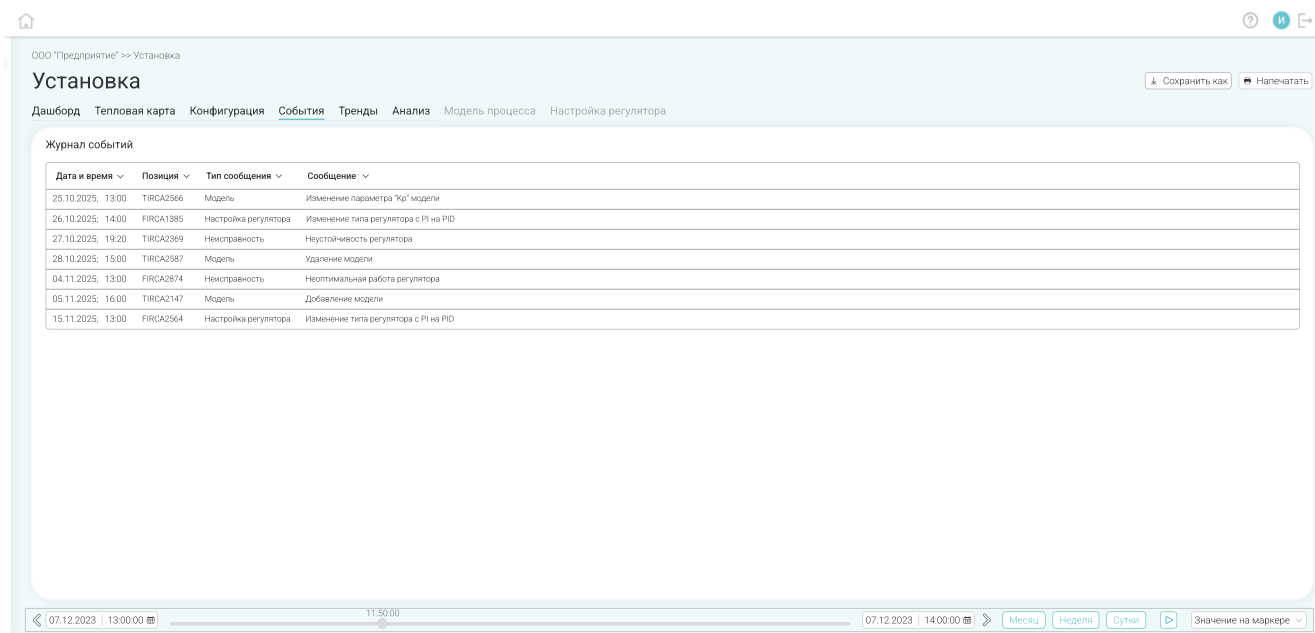
Рис 3.8 – Окно при добавлении нового контура регулирования

При нажатии ЛКМ на наименование ПИД - контура можно перейти на вкладку «Дашборд» соответствующего ПИД - регулятора.

### 3.4. Вкладка «События»

На вкладке «События» представлен обзор списка событий в табличном виде с указанием позиции ПИД - регулятора, сообщением возникающего события, датой и временем. Реализована возможность применения фильтрации для всех столбцов. На рисунке 3.9 изображён экран с событиями, для перехода на него следует нажать на вкладку «События» в области навигации.

При нажатии ЛКМ на название интересующей позиции открывается вкладка «Дашборд» соответствующего ПИД - регулятора.



Дата и время	Позиция	Тип сообщения	Сообщение
25.10.2025, 13:00	TIRCA2566	Модель	Изменение параметра "Kp" модели
26.10.2025, 14:00	FIRCA1385	Настройка регулятора	Изменение типа регулятора с PI на PID
27.10.2025, 19:20	TIRCA2369	Неисправность	Неустойчивость регулятора
28.10.2025, 15:00	TIRCA2587	Модель	Удаление модели
04.11.2025, 13:00	FIRCA2874	Неисправность	Неоптимальная работа регулятора
05.11.2025, 16:00	TIRCA2147	Модель	Добавление модели
15.11.2025, 13:00	FIRCA2564	Настройка регулятора	Изменение типа регулятора с PI на PID

Рис. 3.9 – Вкладка «События» на уровне установки

### 3.5. Вкладка «Анализ»

Мнемосхема «Анализ» на уровне установки позволяет провести визуальную оценку взаимовлияния контуров регулирования. Экран включает в себя 2 области: «Матрица корреляций» и «Временной анализ».

«Матрица корреляций» – пространство для анализа нескольких контуров регулирования с представлением данных в виде матрицы, которая отражает уровень взаимовлияния ПИД - контуров при помощи цветовой индикации с указанием числового значения коэффициента корреляции. Параметры для анализа представлены слева от матрицы корреляций в виде таблицы с возможностью множественного выбора и использования фильтрации наименований ПИД - контуров. Справа от матрицы корреляций расположен результат проведения корреляционного анализа – таблица с названиями исследуемых контуров регулирования и соответствующими значениями коэффициентов корреляции, отражающих степень их взаимовлияния. Снизу находится ползунок для корректировки диапазона значений коэффициентов корреляции. С его помощью можно гибко настроить визуализацию взаимосвязи только нужных контуров регулирования, значение коэффициента корреляции которых соответствует выбранному диапазону. На рисунке 3.10 представлен экран «Матрица корреляций» вкладки «Анализ» уровня установки.

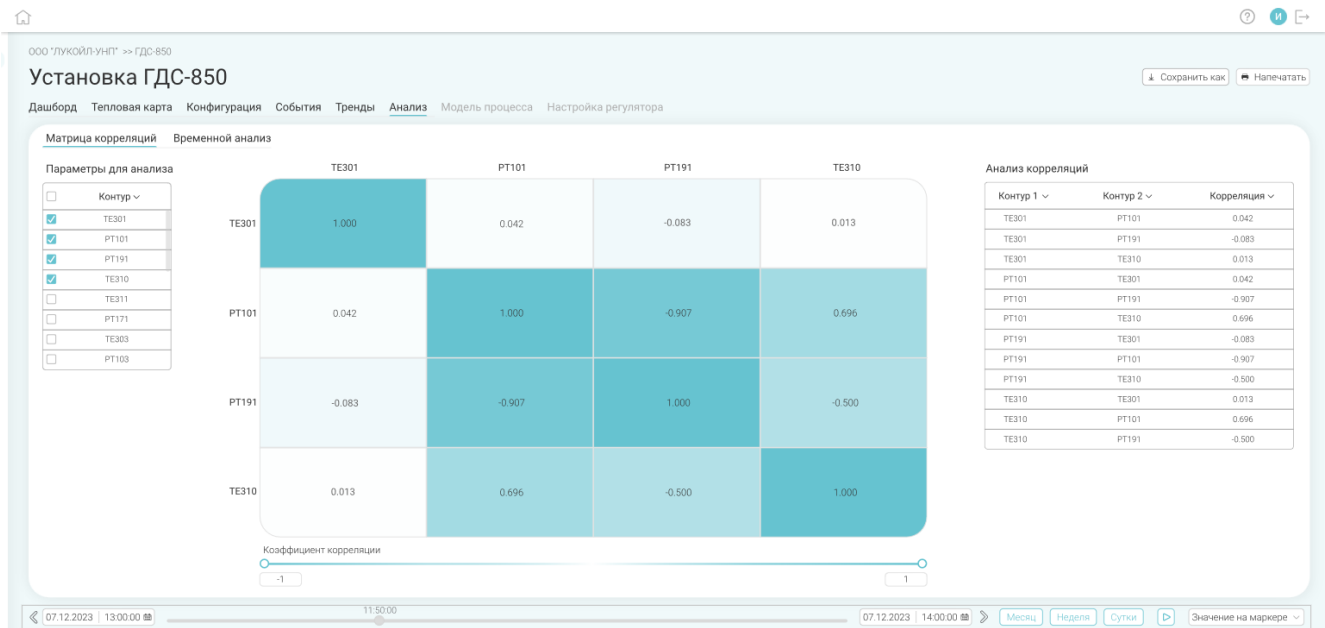


Рис. 3.10 – Окно «Матрица корреляций» вкладки «Анализ» уровня установки

Раздел «Временной анализ» даёт возможность проанализировать два отдельных контура регулирования. Для проведения анализа необходимо выбрать наименование ПИД - контуров и тип аппроксимации в верхней левой части экрана и нажать кнопку «Анализ» (рис. 3.11).

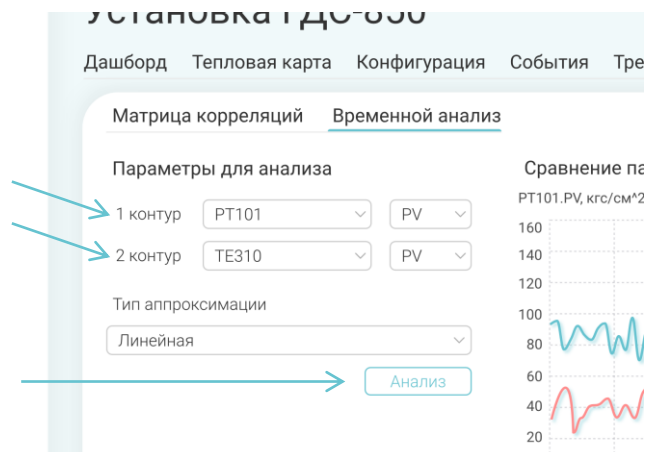


Рис. 3.11 – Выбор параметров для проведения анализа двух контуров регулирования

Итог проведения анализа представлен в виде графика сравнения параметров выбранных контуров регулирования, диаграммы рассеивания, уравнения регрессии, расчёта коэффициентов корреляции и детерминации. На рисунке 3.12 представлен экран «Временной анализ» вкладки «Анализ» уровня установки.

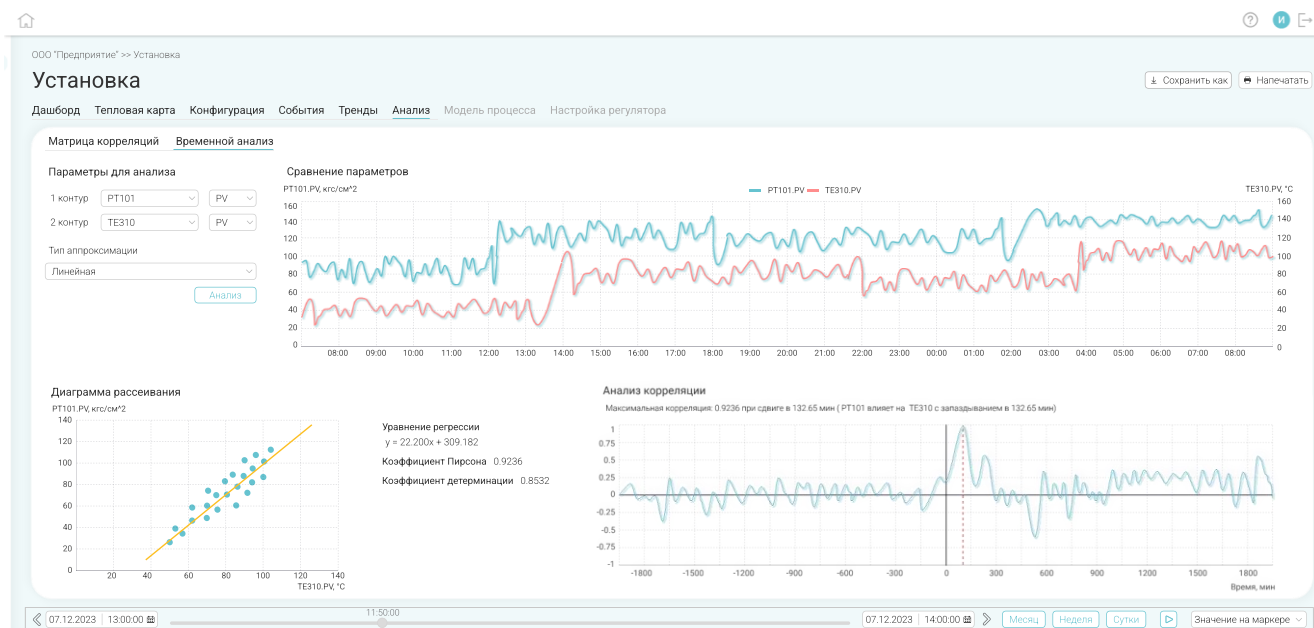


Рис. 3.12 – Окно «Временной анализ» вкладки «Анализ» уровня установки

Диаграмма рассеивания (рис. 3.13) позволяет визуально оценить зависимость между рассматриваемыми контурами регулирования. Рядом с построенным графиком отображается уравнение регрессии, представлены коэффициенты детерминации и корреляции (коэффициент Пирсона). Эти данные позволяют судить о степени взаимосвязи анализируемых контуров регулирования.

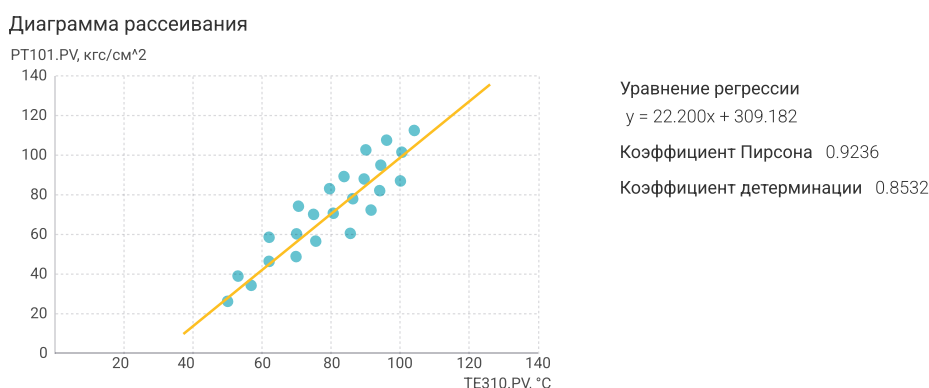


Рис. 3.13 – Область «Диаграмма рассеивания» окна «Временной анализ» уровня установки

График «Анализ корреляции» отображает данные о временном сдвиге, при котором фиксируется максимальное значение коэффициента корреляции (рис. 3.14).

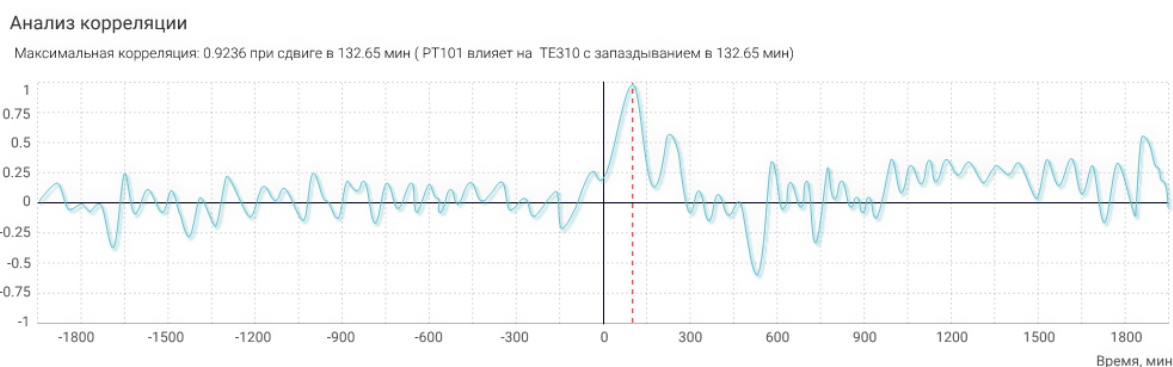


Рис. 3.14 – Область «Анализ корреляции» окна «Временной анализ» уровня установки

## 4. Уровень «Регулятор»

Уровень регулятора предоставляет возможность проводить мониторинг, анализ, идентификацию и настройку ПИД - регуляторов на семи вкладках: «Дашборд», «Тепловая карта» (в графическом и табличном варианте), «Конфигурация», «События», «Тренды», «Модель процесса» и «Настройка регулятора». На каждой мнемосхеме указано наименование ПИД - регулятора, в скобках обозначены тип контура и объект регулирования. Ниже размещена область навигации для переключения между вкладками (рис. 4.1).

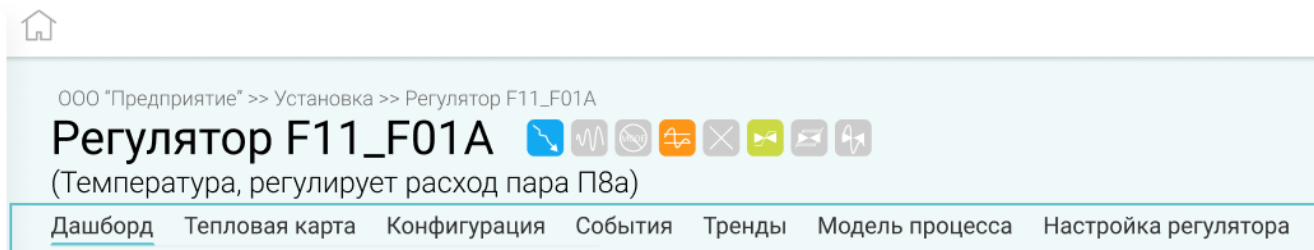


Рис. 4.5 – Область навигации в виде вкладок на уровне «Регулятор»

### 4.1. Вкладка «Дашборд»

Дашборд предназначен для визуализации ключевых показателей эффективности работы ПИД - регулятора (рисунок 4.2). Для перехода на экран с дашбордом следует нажать на вкладку «Дашборд» в области навигации.

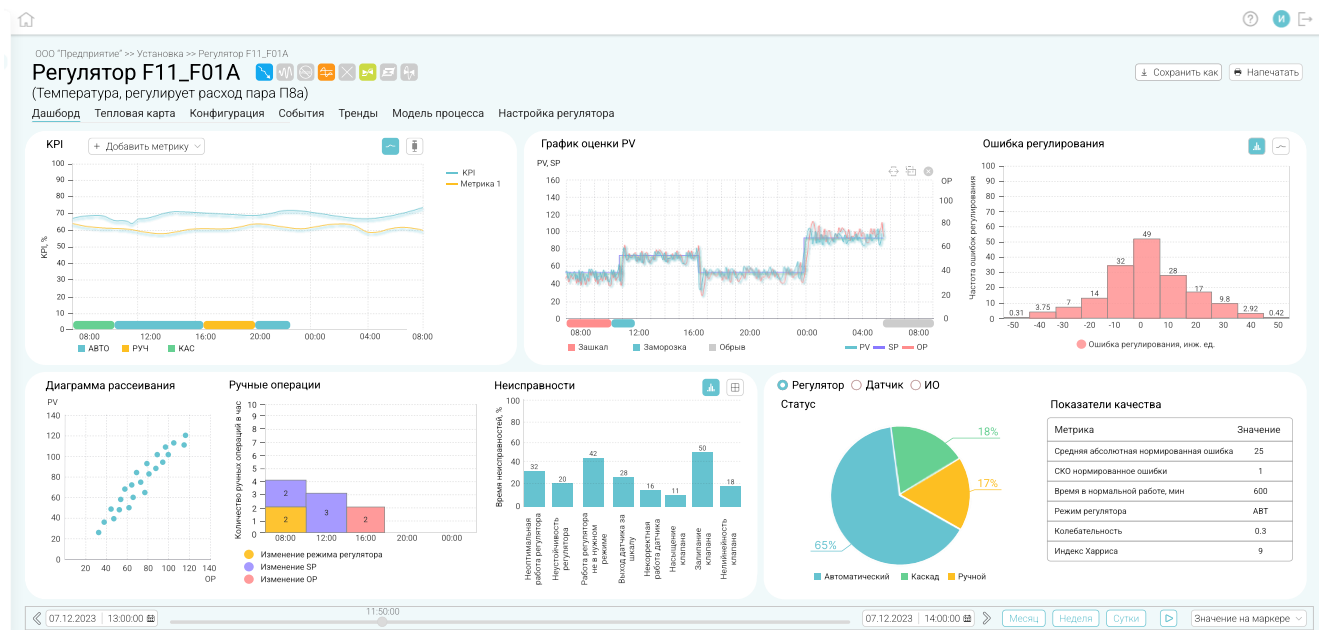


Рис. 4.2 – Вкладка «Дашборд» на уровне регулятора

Справа от строки с наименованием ПИД - регулятора отображаются графические элементы, характеризующие наличие и вид неисправностей ПИД - регулятора в текущий момент времени. В таблице 4.1 представлено описание иконок.

Таблица 4.1 – Графическое отображение неисправностей ПИД - регулятора

Иконка	Неисправность
	Неоптимальная работа регулятора
	Неустойчивость регулятора
	Работа регулятора не в нужном режиме
	Выход датчика за шкалу
	Некорректная работа датчика
	Насыщение клапана
	Залипание клапана
	Нелинейность клапана

Экран с дашбордом содержит график динамики КРІ с возможностью выбора типа представления: для одного регулятора в виде линейного графика или гистограммы, при добавлении метрик КРІ – в виде линейного графика или в виде графика «Ящик с усами».

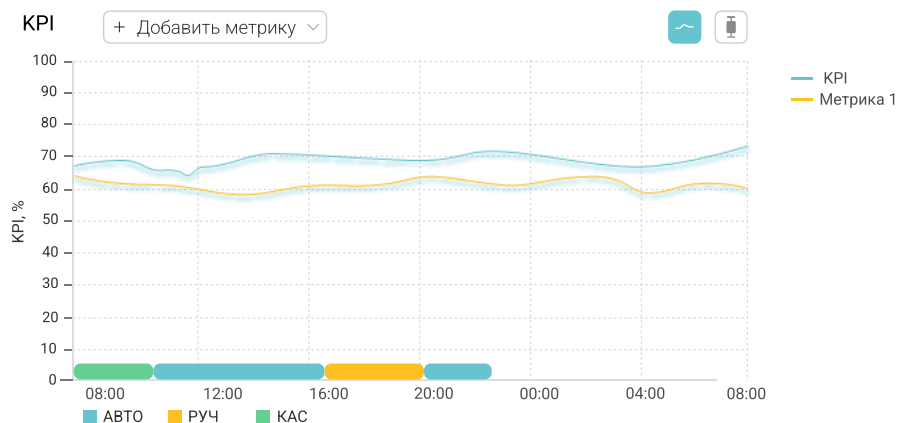


Рис. 4.3 – График «КРІ» (линейный во времени)

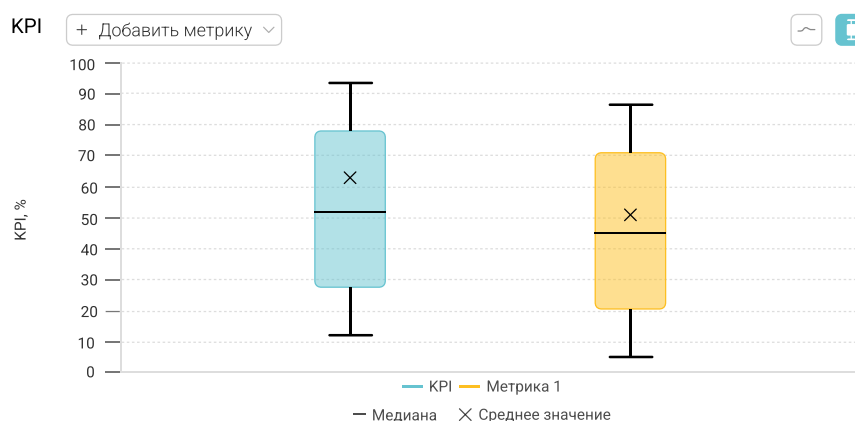


Рис. 4.4 – График «КРІ» (ящик с усами)

Область дашборда включает в себя «График оценки PV», на котором представлена динамика переменных «PV», «SP» и «OP» с обозначением неисправности датчика за рассматриваемый период: «Зашкал», «Заморозка», «Обрыв». Временной диапазон представления данных можно корректировать, используя функцию «Выделить»

срез» ↔ из рассматриваемого периода, в том числе «Множественный срез» ☰, который позволяет одновременно выделить несколько частей тренда. Также есть возможность одним нажатием очистить графическую область от выбранных диапазонов при помощи кнопки удаления – ✕.

Справа от графика оценки переменной PV представлен графический элемент «Ошибка регулирования» в двух вариантах отображения данных (гистограмма и тренд). Этот компонент наглядно показывает частоту ошибок регулирования в работе ПИД - регулятора, отражая характер изменчивости процесса регулирования и величину отклонений от заданных значений. На рисунке 4.5 представлены элементы «График оценки PV» и «Ошибка регулирования».

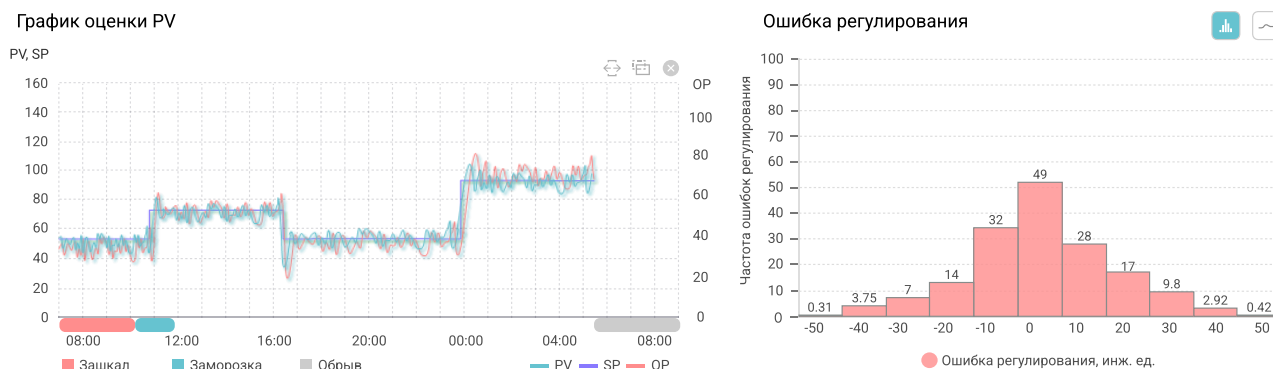


Рис. 4.5 – Элементы дашборда на уровне регулятора «График оценки PV» и «Ошибка регулирования»

Для проведения анализа работы ПИД - регулятора используются график «Диаграмма рассеивания», столбчатая диаграмма «Ручные операции», гистограмма «Неисправности» с возможностью представления данных в виде таблицы (рис. 4.6 и рис. 4.7).

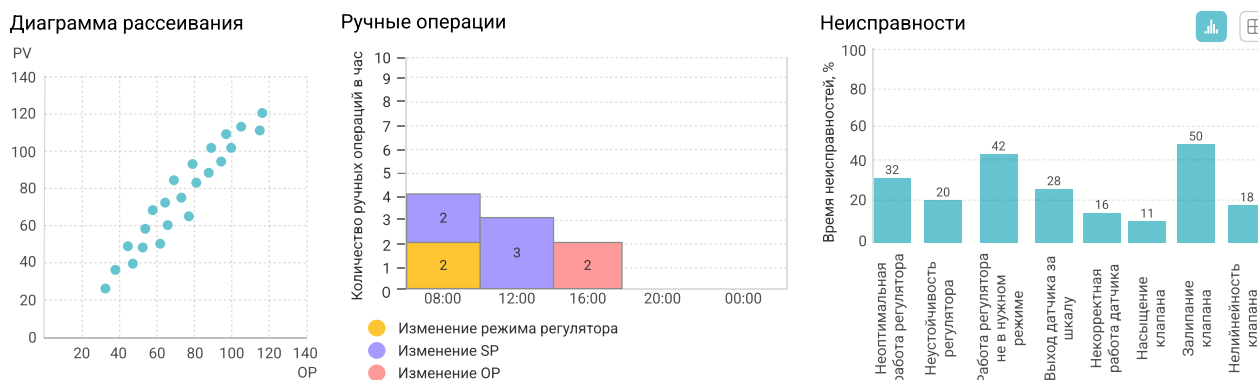


Рис. 4.6 – «Диаграмма рассеивания», «Ручные операции» и «Неисправности» в виде гистограммы

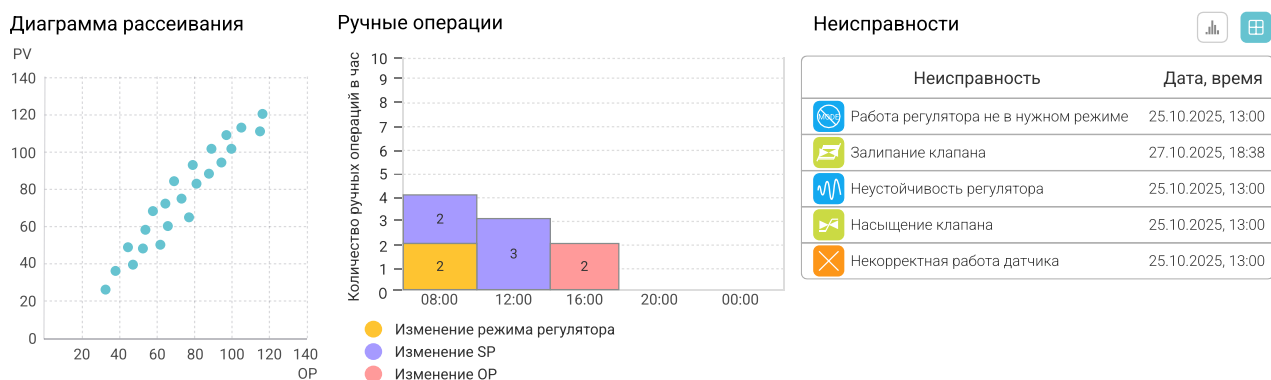


Рис. 4.7 – «Диаграмма рассеивания», «Ручные операции» и «Неисправности» в табличном виде

Для визуализации статуса ПИД - регулятора, датчика и ИО представлена круговая диаграмма. Выбор элемента контура регулирования (регулятор, датчик, ИО) осуществляется при помощи радиокнопок. При изменении позиции круговая диаграмма перестраивается, таблица с показателями качества отображает соответствующие метрики. На рисунке 4.8 (а, б, в) представлены возможные варианты визуализации данных в зависимости от выбора радиокнопки.

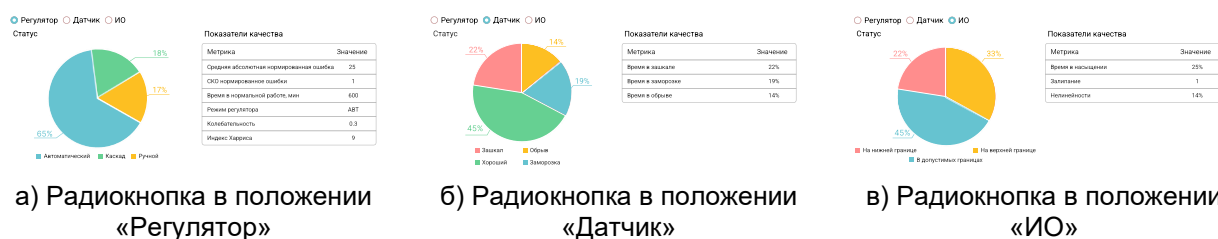


Рис. 4.8 – Статус и параметры качества для регулятора, датчика и ИО

## 4.2. Вкладка «Тепловая карта»

Для перехода на экран с тепловой картой следует нажать на вкладку «Тепловая карта» в области навигации. Тепловая карта отображает значение KPI ПИД - регулятора, KPI элементов контура регулирования (регулятора, датчика, исполнительный органа), значение и вес их метрик через размер и цвет прямоугольников. Размер прямоугольников определяется значением коэффициента KPI или величиной веса по усмотрению пользователя (наибольшему значению коэффициента/весу соответствует наибольший размер прямоугольника), а цвет – значением коэффициента метрики, категорией (регулятор, датчик, ИО) или весом.

Возможность сортировки («Размер по возрастанию»/ «Размер по убыванию») и фильтрации по типу элемента контура регулирования («Все», «Регулятор», «Датчик», «ИО») позволяет настроить инструмент под индивидуальные запросы. При наведении курсора мыши на область прямоугольника появляется всплывающее окно с показателями KPI и веса метрик.

Тепловая карта доступна к просмотру в двух вариантах: на рисунке 4.9 представлена тепловая карта в графическом виде, на рисунке 4.10 – в табличном.

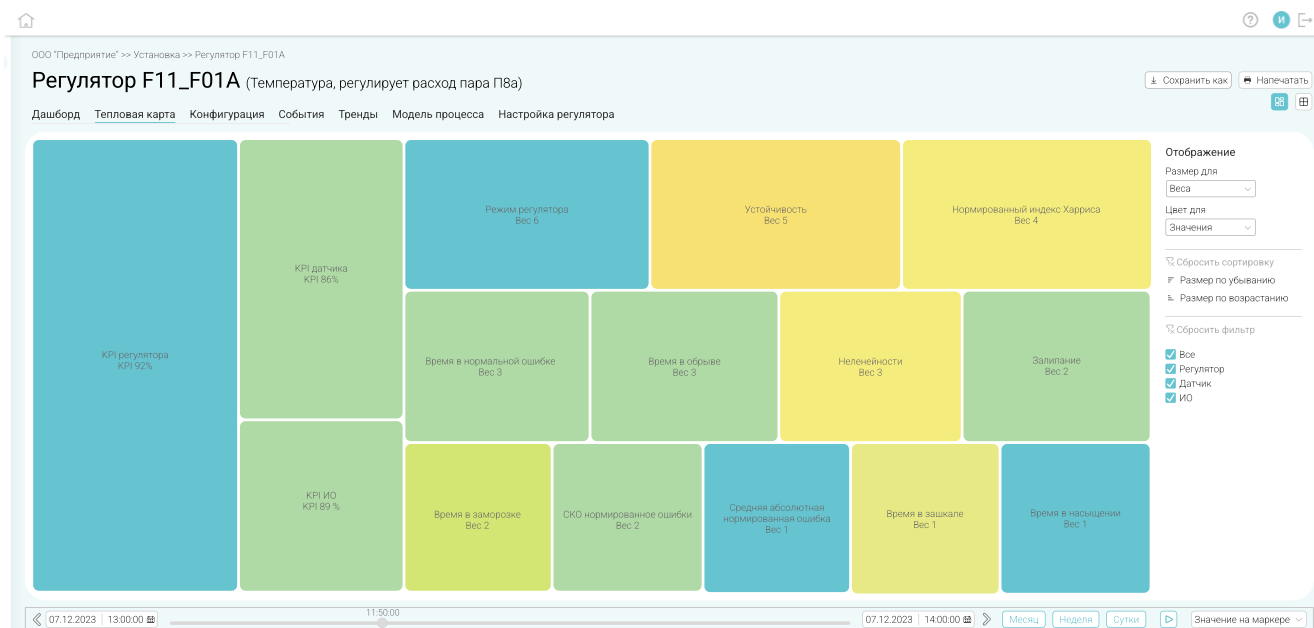


Рис. 4.9 – Графический вид представления тепловой карты на уровне регулятора

Регулятор F11\_F01A (Температура, регулирует расход пара П8а)

Дашборд **Тепловая карта** Конфигурация События Тренды Модель процесса Настройка регулятора

Элемент	Метрика	Значение	Вес метрики
Регулятор	КРП	79%	
	Средняя абсолютная нормированная ошибка	88%	1
	СКО нормированное ошибки	73%	2
	Время в нормальной ошибке	84%	3
	Нормированный индекс Харриса	81%	4
	Устойчивость	58%	5
	Режим регулятора	61%	6
Датчик	КРП	80%	
	Время в зашкале	79%	1
	Время в заморозке	76%	2
	Время в обрыве	84%	3
ИО	КРП	85%	
	Время в насыщении	91%	1
	Залипание	83%	2
	Нелнейности	61%	3

Рис. 4.10 – Табличный вид представления тепловой карты на уровне регулятора

Чтобы поменять вид представления данных, следует воспользоваться переключателем в правой верхней области экрана (рисунок 4.11, слева – графическое отображение, справа – табличное).

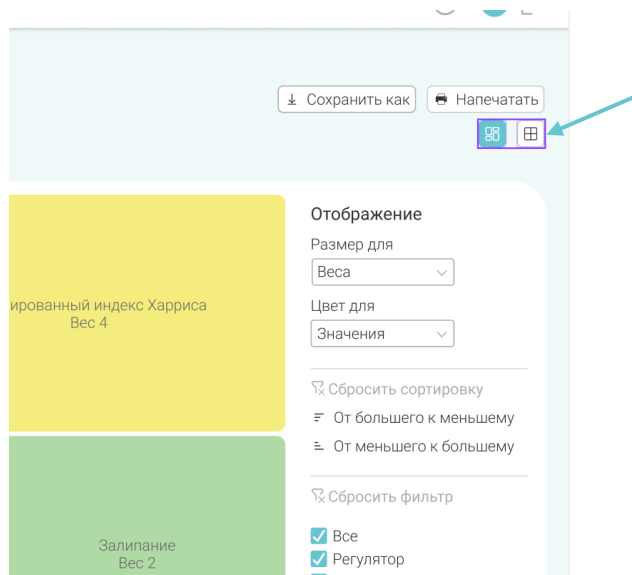


Рис. 4.11 – Переключение вида представления данных тепловой карты регулятора

### 4.3. Вкладка «Конфигурация»

Окно конфигурации включает в себя функционал для настройки параметров обмена данными и параметров ПИД - регулятора (рисунок 4.12).

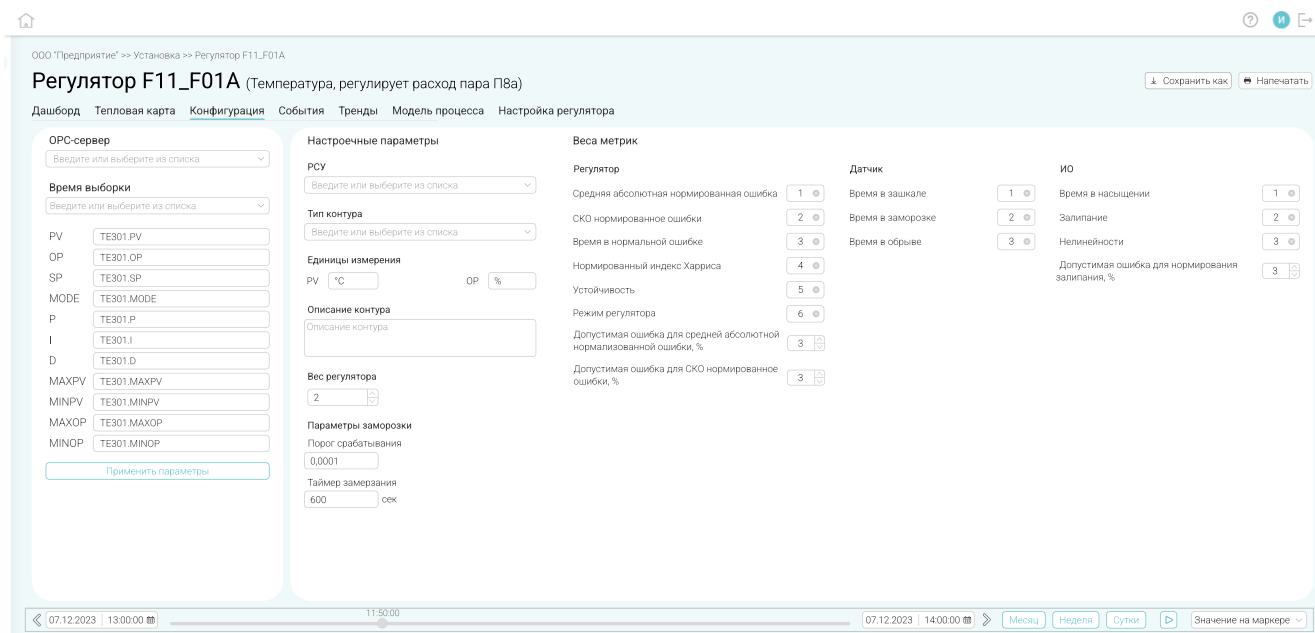


Рис. 4.12 – Вкладка «Конфигурация» на уровне регулятора

В полях с наименованием OPC - сервера, величиной «Время выборки» необходимо выбрать подходящий вариант из предложенного списка. Ниже расположены поля ввода наименования тэгов для переменных «PV», «OP», «SP», режима работы («MODE»), значений коэффициентов «P», «I», «D», «MAXPV», «MINPV», «MAXOP», «MINOP». Для применения введённых параметров необходимо нажать кнопку «Применить параметры» (рис. 4.13).

OPC-сервер  
 Введите или выберите из списка

Время выборки  
 Введите или выберите из списка

PV: ТЕ301.PV  
 OP: ТЕ301.OP  
 SP: ТЕ301.SP  
 MODE: ТЕ301.MODE  
 P: ТЕ301.P  
 I: ТЕ301.I  
 D: ТЕ301.D  
 MAXPV: ТЕ301.MAXPV  
 MINPV: ТЕ301.MINPV  
 MAXOP: ТЕ301.MAXOP  
 MINOP: ТЕ301.MINOP

Применить параметры

Рис. 4.13 – Настройка тэгов для обмена данными на вкладке «Конфигурация» уровня регулятора

Область настроечных параметров (рис. 4.14) позволяет выбрать название РСУ и тип контура регулирования из раскрывающегося списка. Для параметров «PV» и «OP» требуется определить единицы измерения в предназначенной для этого области. Дополнительно доступно поле для более подробного описания контура регулирования («Описание контура»). Для назначения параметра «Вес регулятора» предусмотрено поле ввода числового значения. Область «Параметры заморозки» включает в себя окна для определения показателей «Порог срабатывания» и «Таймер замерзания».

Настроечные параметры

PCY  
 Введите или выберите из списка

Тип контура  
 Введите или выберите из списка

Единицы измерения  
 PV: °C      OP: %

Описание контура  
 Описание контура

Вес регулятора  
 2

Параметры заморозки  
 Порог срабатывания: 0,0001  
 Таймер замерзания: 600 сек

Рис. 4.14 – Настроечные параметры вкладки «Конфигурация» на уровне регулятора

Вкладка «Конфигурация» даёт возможность настроить веса для метрик с целью определения их значимости при расчёте показателя KPI ПИД - регулятора. Для каждого параметра определяется вес в виде целого числа. Для метрик «Средняя абсолютная нормализованная ошибка», «СКО нормированное ошибки», «Залипание» дополнительно определяется допустимая ошибка, выраженная в процентах (рис 4.15).

Веса метрик

Регулятор	Датчик	ИО
Средняя абсолютная нормированная ошибка <input type="text" value="1"/>	Время в зашкале <input type="text" value="1"/>	Время в насыщении <input type="text" value="1"/>
СКО нормированное ошибки <input type="text" value="2"/>	Время в заморозке <input type="text" value="2"/>	Залипание <input type="text" value="2"/>
Время в нормальной ошибке <input type="text" value="3"/>	Время в обрыве <input type="text" value="3"/>	Нелинейности <input type="text" value="3"/>
Нормированный индекс Харриса <input type="text" value="4"/>		Допустимая ошибка для нормирования залипания, % <input type="text" value="3"/>
Устойчивость <input type="text" value="5"/>		
Режим регулятора <input type="text" value="6"/>		
Допустимая ошибка для средней абсолютной нормализованной ошибки, % <input type="text" value="3"/>		
Допустимая ошибка для СКО нормированное ошибки, % <input type="text" value="3"/>		

Рис 4.15 – Область определения весовых коэффициентов для метрик

В таблице 4.2 представлено описание всех настраиваемых параметров вкладки «Конфигурация» на уровне регулятора.

Таблица 4.2 – Описание настраиваемых параметров вкладки «Конфигурация»

Параметр / показатель	Описание
ОПС - сервер	Выбор наименования ОПС - сервера для обмена данными из предложенного списка
Время выборки	Выбор периода опроса РСУ/системы управления для обновления данных
PV	Ввод наименования тэга для переменной PV
OP	Ввод наименования тэга для переменной OP
SP	Ввод наименования тэга для переменной SP
MODE	Ввод наименования тэга режима работы
P	Ввод наименования тэга для коэффициента «P»
I	Ввод наименования тэга для коэффициента «I»
D	Ввод наименования тэга для коэффициента «D»
MAXPV	Ввод наименования тэга для максимального значения PV
MINPV	Ввод наименования тэга для минимального значения PV
MAXOP	Ввод наименования тэга для максимального значения OP
MINOP	Ввод наименования тэга для минимального значения OP
<b>Настроечные параметры</b>	
PCU	Выбор наименования PCU
Тип контура	Выбор типа контура (Температура/Давление/Расход/Уровень)
Единицы измерения	Ввод единиц измерения для переменных «PV» и «OP»
Описание контура	Ввод текстового описания контура регулирования
Вес регулятора	Определение числового значения веса для ПИД - регулятора. Вес – числовая характеристика, которая определяет важность ПИД - регулятора для эффективного управления производством и повышения качества управления технологическим процессом.

Параметр / показатель		Описание
Параметры заморозки	Порог срабатывания	Ввод числового значения для определения порога срабатывания заморозки данных. Если значение PV изменится на величину, меньшую или равную порогу срабатывания (как в большую, так и в меньшую сторону) по истечении времени, указанного в окне «Таймер замерзания», данные будут считаться замороженными.
	Таймер замерзания	Назначение временного интервала, по истечении которого данные, имеющие изменения, определяемые значением порога срабатывания, считаются замороженными.
<b>Веса метрик</b>		
Регулятор	Средняя абсолютная нормированная ошибка	Определение весового коэффициента для метрики «Средняя абсолютная нормированная ошибка»
	СКО нормированное ошибки	Определение весового коэффициента для метрики «СКО нормированное ошибки»
	Время в нормальной ошибке	Определение весового коэффициента для метрики «Время в нормальной ошибке»
	Нормированный индекс Харриса	Определение весового коэффициента для метрики «Нормированный индекс Харриса»
	Устойчивость	Определение весового коэффициента для метрики «Устойчивость»
	Режим регулятора	Определение весового коэффициента для метрики «Режим регулятора»
	Допустимая ошибка для средней абсолютной нормализованной ошибки, %	Определение значения допустимой ошибки для средней абсолютной нормализованной ошибки, % (по умолчанию равна 3%)
	Допустимая ошибка для СКО нормированное ошибки, %	Определение значения допустимой ошибки для СКО нормированное ошибки, % (по умолчанию равна 3%)
Датчик	Время в зашкале	Определение весового коэффициента для метрики «Время в зашкале»
	Время в заморозке	Определение весового коэффициента для метрики «Время в заморозке»
	Время в обрыве	Определение весового коэффициента для метрики «Время в обрыве»

Параметр / показатель		Описание
ИО	Время в насыщении	Определение весового коэффициента для метрики «Время в насыщении»
	Залипание	Определение весового коэффициента для метрики «Залипание»
	Нелинейности	Определение весового коэффициента для метрики «Нелинейности»
	Допустимая ошибка для нормирования залипания, %	Определение значения допустимой ошибки для нормирования залипания, % (по умолчанию равна 3%)

#### 4.4. Вкладка «События»

На вкладке «События» представлен обзор списка событий в табличном виде с указанием позиции ПИД - регулятора, сообщением возникающего события, фиксацией даты и времени. Есть возможность применения сортировки и фильтрации по всем столбцам. На рисунке 4.16 изображён экран с событиями, для перехода на него следует нажать на вкладку «События» в области навигации.

Дата и время	Позиция	Тип сообщения	Сообщение
25.10.2025, 13:00	TIRCA2566	Модель	Изменение параметра "Kp" модели
26.10.2025, 14:00	TIRCA2566	Настройка регулятора	Изменение типа регулятора с PI на PID
27.10.2025, 19:20	TIRCA2566	Неисправность	Неустойчивость регулятора
28.10.2025, 15:00	TIRCA2566	Модель	Удаление модели
04.11.2025, 13:00	TIRCA2566	Неисправность	Неоптимальная работа регулятора
05.11.2025, 16:00	TIRCA2566	Модель	Добавление модели
15.11.2025, 13:00	TIRCA2566	Настройка регулятора	Изменение типа регулятора с PI на PID

Рис. 4.16 – Вкладка «События» на уровне регулятора

#### 4.5. Вкладка «Модель процесса»

Мнемосхема «Модель процесса» на уровне регулятора позволяет проидентифицировать объект управления для получения модели на выбранном временном диапазоне, оценить полученные модели и провести визуальный графический анализ. Экран включает в себя две области: левая часть предназначена для добавления модели, выбора диапазона проведения идентификации, просмотра журнала существующих моделей. Правая часть включает в себя разделы «Результаты идентификации», «Оценка», «Графический анализ» (рисунки 4.17 – 4.19).

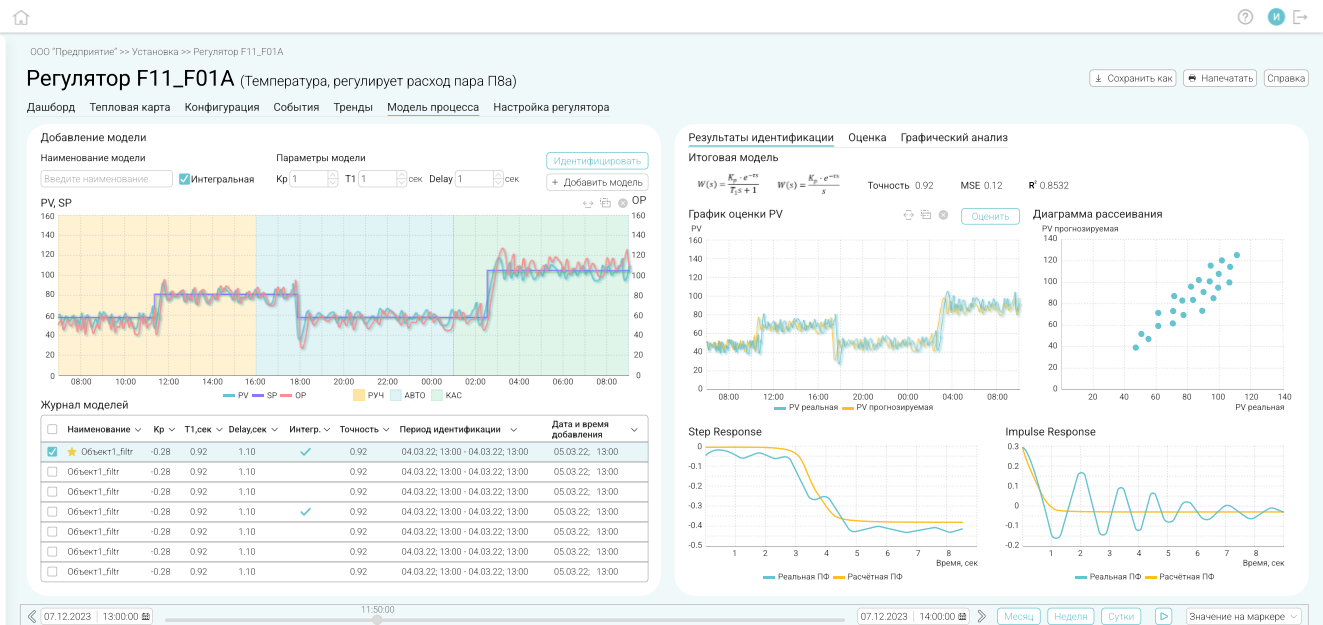


Рис. 4.17 – Вкладка «Модель процесса», раздел «Результаты идентификации»

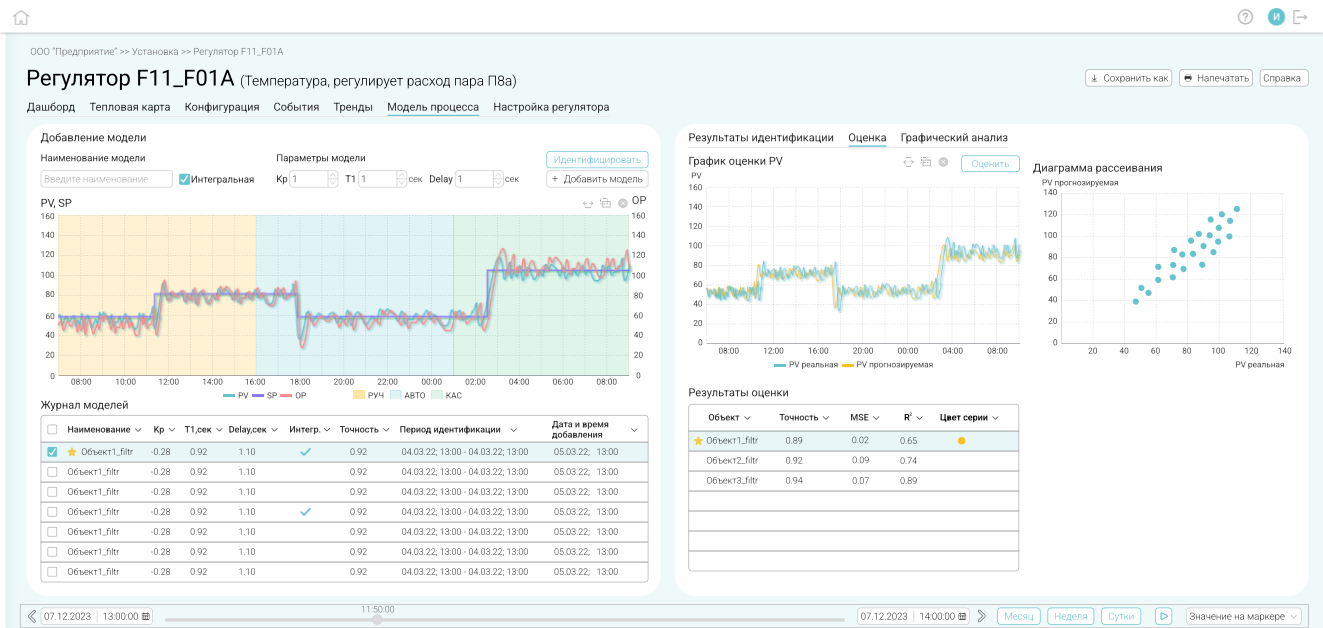


Рис. 4.18 – Вкладка «Модель процесса», раздел «Оценка»

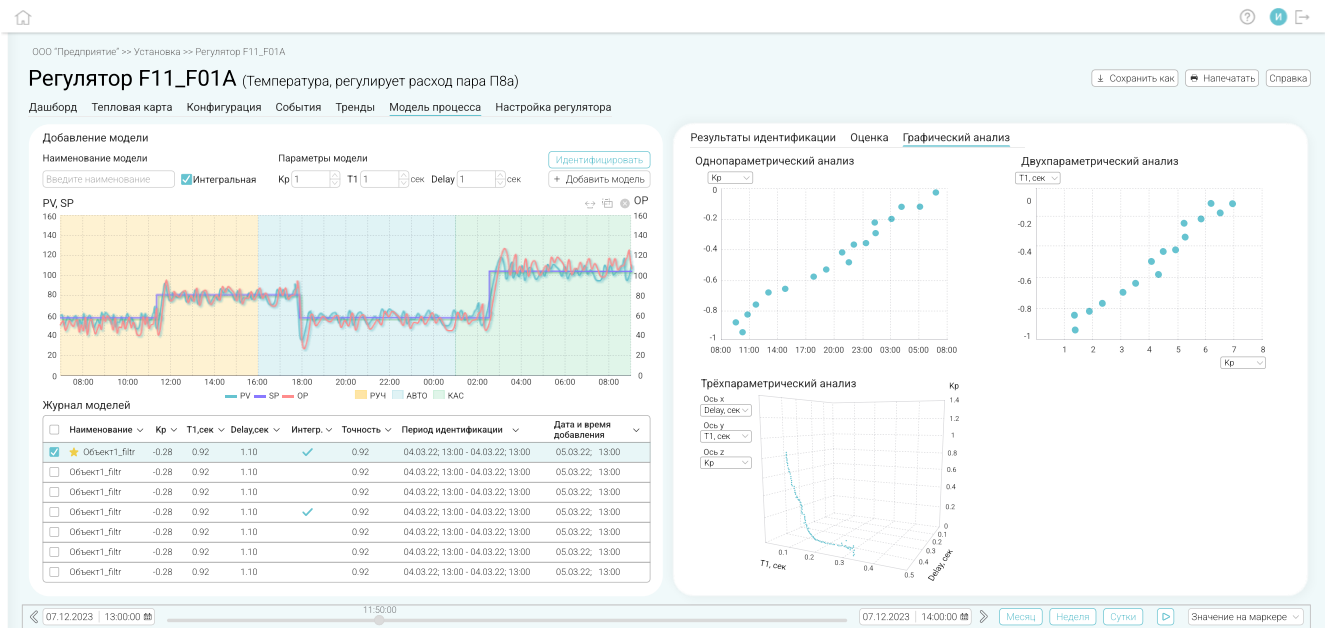


Рис. 4.19 – Вкладка «Модель процесса», раздел «Графический анализ»

Окно «Модель процесса» обеспечивает возможность ввода наименования модели, отметки её интегральности (чекбокс), ввода значений коэффициентов «К<sub>р</sub>», «Т1» и «Delay». Ниже представлен график динамики переменных PV, SP, OP во времени с обозначением режима работы регулятора (ручной – «РУЧ» – закрашивание фона жёлтым цветом, автоматический – «АВТО» – закрашивание фона голубым цветом, каскадный – «КАС» – закрашивание фона зелёным цветом).

Под графической частью расположен журнал моделей, где представлен список добавленных ранее моделей с указанием их наименования и значений коэффициентов «К<sub>р</sub>», «Т1», «Delay», отображением отметки интегральности, значения точности модели, обозначением периодов проведения идентификации, датой и временем добавления модели. Для всех позиций предусмотрена возможность фильтрации и сортировки. На рисунке 4.20 представлен журнал моделей.

Журнал моделей

<input type="checkbox"/>	Наименование	Кр	T1,сек	Delay,сек	Интегр.	Точность	Период идентификации	Дата и время добавления
<input checked="" type="checkbox"/>	★ Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input checked="" type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input checked="" type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Объект1_filtr	-0.28	0.92	1.10	<input type="checkbox"/>	0.92	04.03.22; 13:00 - 04.03.22; 13:00	05.03.22; 13:00

Рис. 4.20 – Журнал моделей вкладки «Модель процесса» на уровне регулятора

Для визуализации некоторых обозначений и возможности редактирования журнала моделей приняты следующие положения:

- 1) Строка с данными текущей модели (работа производится в данный момент времени), подсвечена светло-бирюзовым цветом;
- 2) Слева в каждой строке расположен чекбокс, который активирует режим построения графиков модели во вкладках «Результаты идентификации» и

«Графический анализ» (активированный чекбокс – отображение графиков, неактивированный – скрытие графиков). Это позволяет провести сравнительный анализ нескольких моделей и принять оптимальную.

- 3) Для обозначения статуса модели «Актуальная» принято графическое обозначение ★. Актуальной считается модель процесса, используемая до момента добавления и утверждения новой модели;
- 4) При нажатии ПКМ на область строки журнала моделей открывается функциональное меню с возможностью отредактировать параметры модели, удалить модель из журнала событий, дублировать выбранную строку с параметрами модели и сделать модель актуальной, если она таковой не является. На рисунке 4.21 представлено функциональное меню. При выборе ЛКМ строки «Редактировать» открывается окно с настройками модели (рис. 4.22), в котором необходимо ввести новое наименование модели, значение коэффициентов «Kp», «T1» и «Delay». Для активирования изменений необходимо нажать кнопку «Применить».

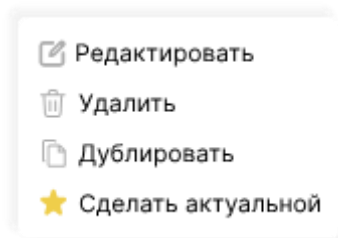


Рис. 4.21 – Функциональное меню при нажатии ПКМ по строке из журнала моделей

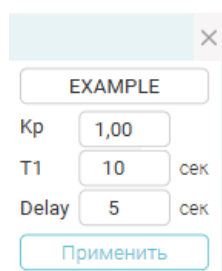





Рис. 4.22 – Окно с настройками при редактировании модели

Перед проведением идентификации в графической области следует выделить временной период, используя инструменты «Выделить срез»  или «Множественный срез»  (позволяет одновременно выделить несколько частей тренда). Одним нажатием можно очистить графическую область от выбранных диапазонов при помощи кнопки удаления – . Для получения результатов идентификации после выбора временного периода необходимо нажать на кнопку «Идентифицировать» – рисунок 4.23, после чего появляется окно (рис. 4.24) для уточнения принятия модели с рассчитанными коэффициентами.

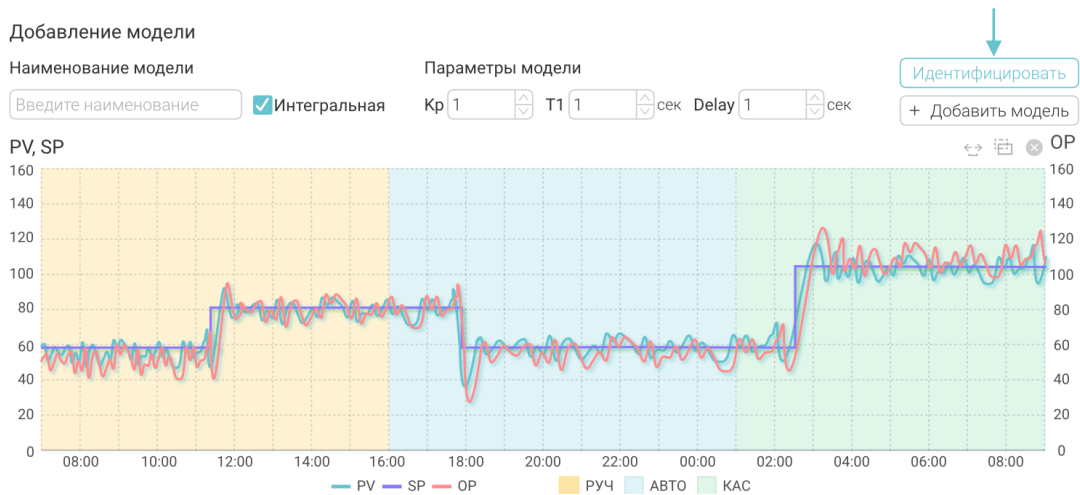


Рис. 4.23 – Графическая область с возможностью выбора временного периода для проведения идентификации

Использовать модель с полученными параметрами?

Кр: 0.0313  
 T1: 350.00 сек  
 Delay: 100 сек  
 Точность: 0 %

Рис. 4.24 – Окно для подтверждения принятия рассчитанной модели

В разделе «Результаты идентификации» представлена итоговая модель процесса по выбранному промежутку времени, рассчитаны метрики «Точность», среднеквадратичная ошибка (MSE), коэффициент детерминации. В качестве результата проведения идентификации рассматриваемой (текущей) модели отображается «График оценки PV» с выбором фрагмента для оценки модели на другом временном промежутке (используются инструменты «Выделить срез» – , «Множественный срез» – для выделения нескольких частей тренда, «Удалить все выделения» – ). После выбора временного диапазона и нажатия кнопки «Оценить» в графической области производится оценка модели процесса путём проведения анализа графиков: «Диаграмма рассеивания», «Step Response», «Impulse Response» (рисунок 4.25).

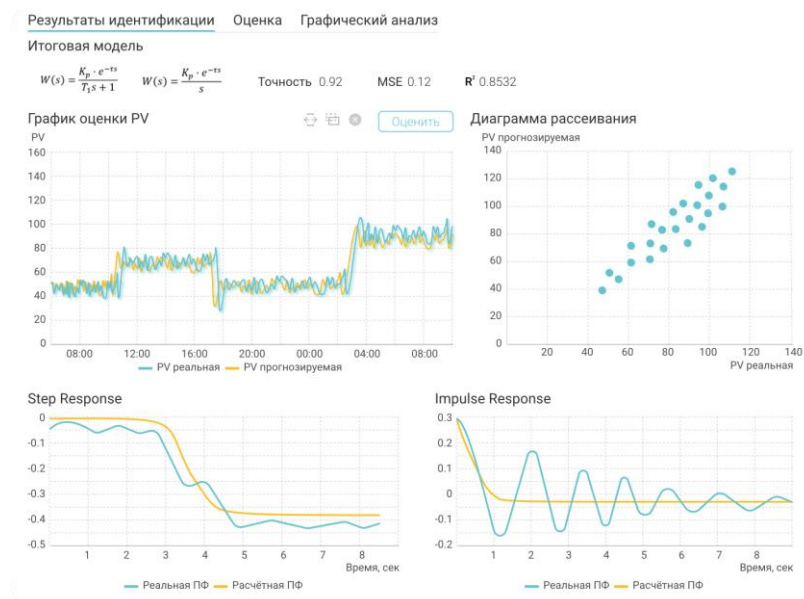


Рис. 4.25 – Раздел «Результаты идентификации» вкладки «Модель процесса» на уровне регулятора

Раздел «Оценка» помимо графических элементов «График оценки PV» и «Диаграмма рассеивания» включает в себя результаты оценки применения полученных моделей процесса к объектам регулирования. Таблица «Результаты оценки» отображает список для сравнения по метрикам «Точность», «Среднеквадратичная ошибка» (MSE) и коэффициенту детерминации ( $R^2$ ) текущей модели и других моделей, позволяя применять сортировку и фильтрацию по этим показателям (рисунок 4.26). Строка с текущей моделью выделена светло - бирюзовым цветом, актуальная модель отмечена символом ★, а обозначение цвета линии тренда на графиках для каждой модели представлено в столбце «Цвет серии».

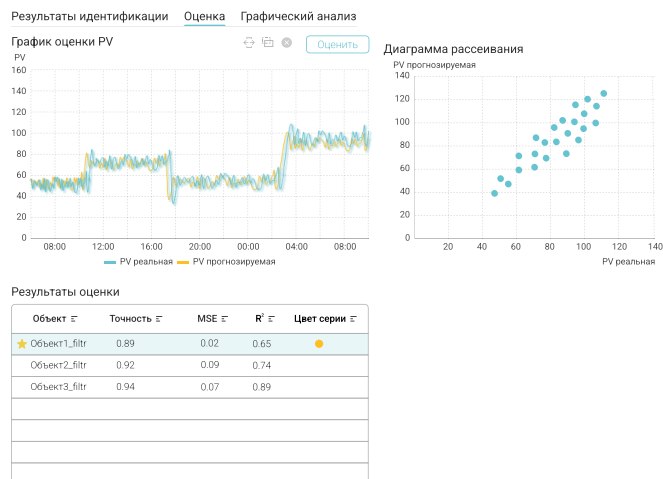


Рис. 4.26 – Раздел «Оценка» вкладки «Модель процесса»

Область с графическим анализом вкладки «Модель процесса» (рисунок 4.27) предназначена для проведения визуального анализа динамики параметров текущей модели в трёх вариантах. График «Однопараметрический анализ» позволяет проследить изменение параметров модели ( $K_p$ ,  $T_1$ , Delay) во времени. Точечные диаграммы «Двухпараметрический анализ» и «Трёхпараметрический анализ» представлены в двухмерном и трёхмерном пространстве соответственно. Для каждой оси предусмотрена возможность выбора параметров модели ( $K_p$ ,  $T_1$ , Delay) через выпадающий список.

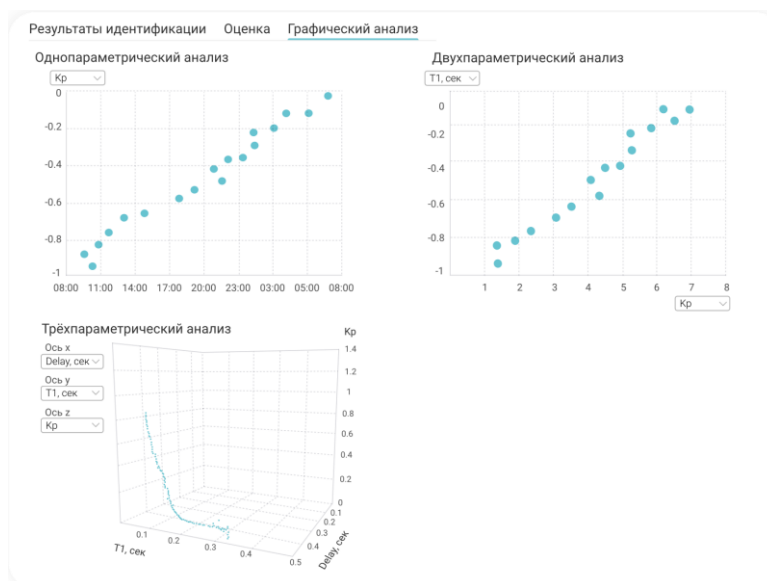


Рис. 4.27 – Раздел «Графический анализ» вкладки «Модель процесса» на уровне регулятора

## 4.6. Вкладка «Настройка регулятора»

Мнемосхема «Настройка регулятора» предназначена для определения параметров ПИД - регулятора по модели технологического процесса. Вкладка поделена на две части: левая позволяет произвести выбор наименования объекта регулирования, визуализацию параметров текущей модели и наименования РСУ, включает в себя область с настроечными параметрами по регулятору и журнал настроек. Правая часть состоит из разделов «Симуляция» и «Графический анализ» (рисунки 4.28 – 4.29).

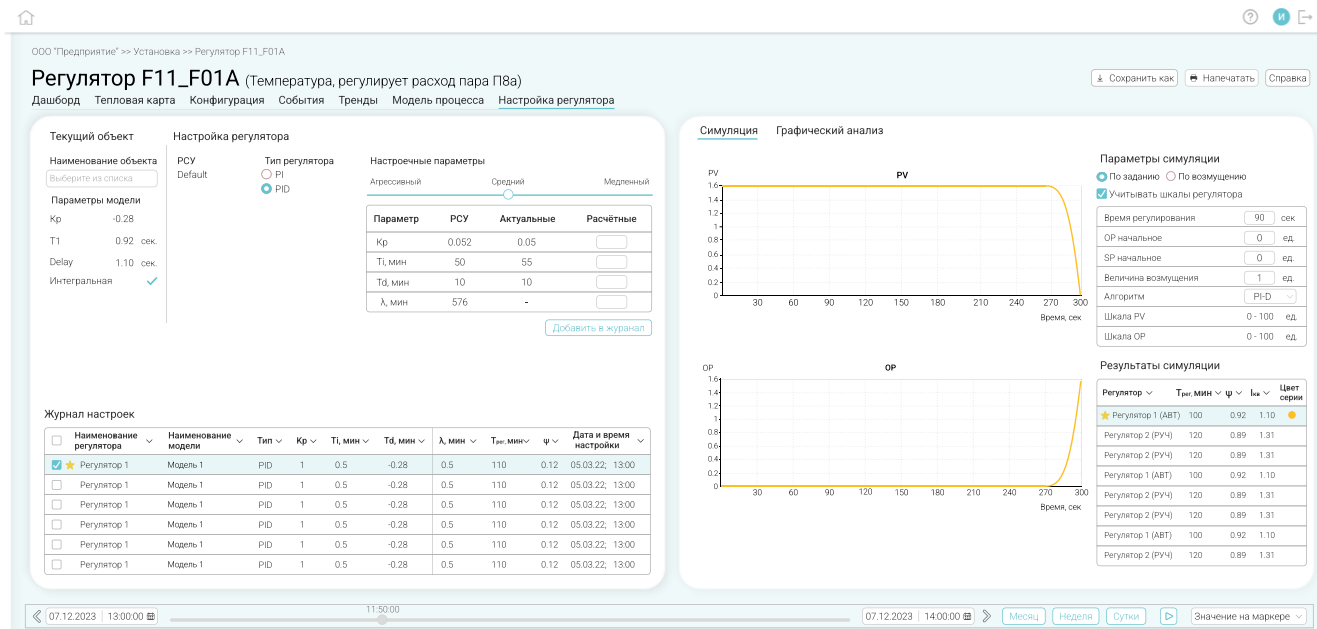


Рис. 4.28 – Вкладка «Настройка регулятора», раздел «Симуляция» на уровне регулятора

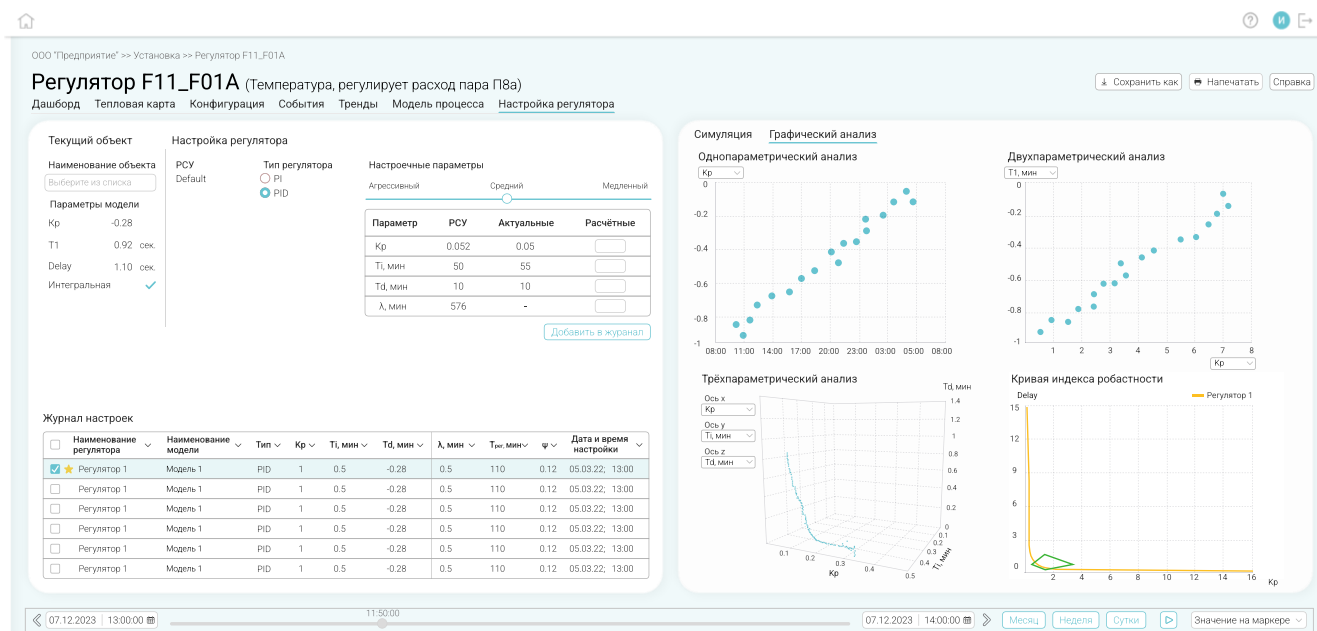


Рис. 4.29 – Вкладка «Настройка регулятора», раздел «Графический анализ» на уровне регулятора

Для настройки параметров ПИД - регулятора доступны выбор типа регулятора (PI или PID), определение степени агрессивности при помощи ползунка (медленный, средний, агрессивный), после чего автоматически заполняются поля с расчётными параметрами ПИД - регулятора – значения коэффициентов  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ,  $\lambda$ , которые можно изменить при необходимости. Для добавления параметров настроенного

ПИД - регулятора необходимо нажать на кнопку «Добавить параметры в журнал» (рисунок 4.30).

Текущий объект      Настройка регулятора

Наименование объекта      РСУ      Тип регулятора      Настроечные параметры

Выберите из списка      Default       PI      Агрессивный      Средний      Медленный

Параметры модели       PID

Кр      -0.28

T1      0.92 сек.

Delay      1.10 сек.

Интегральная     

Параметр	PCY	Актуальные	Расчётные
Кр	0.052	0.05	<input type="text"/>
T <sub>i</sub> , мин	50	55	<input type="text"/>
T <sub>d</sub> , мин	10	10	<input type="text"/>
λ, мин	576	-	<input type="text"/>

[Добавить в журнал](#)

Рис. 4.30 – Область настройки параметров ПИД - регулятора вкладки «Настройка регулятора»

Ниже области с настроечными параметрами ПИД - регулятора расположен журнал настроек, отражающий список рассматриваемых ранее настроек с указанием даты и времени их принятия. В табличном виде представлены данные о наименовании настроенного ПИД - регулятора и соответствующей модели процесса, способ настройки (автоматический, ручной), тип регулятора (PI или PID), значения коэффициентов « $K_p$ », « $T_i$ », « $T_d$ », « $\lambda$ », времени регулирования в секундах, степени затухания. Для всех позиций журнала предусмотрена возможность фильтрации и сортировки. На рисунке 4.31 представлен журнал настроек.

Журнал настроек

<input type="checkbox"/>	Наименование регулятора	Наименование модели	Тип	Кр	T <sub>i</sub> , мин	T <sub>d</sub> , мин	λ, мин	T <sub>рег</sub> , мин	ψ	Дата и время настройки
<input checked="" type="checkbox"/>	★ Регулятор 1	Модель 1	PID	1	0.5	-0.28	0.5	110	0.12	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Регулятор 1	Модель 1	PID	1	0.5	-0.28	0.5	110	0.12	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Регулятор 1	Модель 1	PID	1	0.5	-0.28	0.5	110	0.12	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Регулятор 1	Модель 1	PID	1	0.5	-0.28	0.5	110	0.12	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Регулятор 1	Модель 1	PID	1	0.5	-0.28	0.5	110	0.12	05.03.22; 13:00
<input type="checkbox"/>	Регулятор 1	Модель 1	PID	1	0.5	-0.28	0.5	110	0.12	05.03.22; 13:00

Рис. 4.31 – Журнал настроек вкладки «Настройка регулятора»

Коэффициент  $\lambda$  – это числовое значение степени агрессивности ПИД - регулятора, рассчитываемое по определённым формулам, которые имеют различный вид в зависимости от вида модели и силы агрессивности ПИД - регулятора. В таблице 4.3 представлены формулы для расчёта коэффициента  $\lambda$ .

Время регулирования ( $T_{рег}$ ) характеризует скорость отклика системы регулирования на возникающие изменения в процессе управления технологическим процессом. Иными словами, это промежуток времени, за который система достигает требуемого состояния при внесении корректировок в параметры ПИД - регулятора или при смене условий протекания технологического процесса.

Степень затухания ( $\psi$ ) – характеристика, показывающая, насколько быстро затихают колебания в системе после возмущения и через какое время система возвращается к своему первоначальному состоянию.

Для получения параметров « $K_p$ », « $T_1$ » и «Delay» ПИД - регулятора используется лямбда - метод. Расчёт коэффициентов производится по определённым формулам в

зависимости от вида модели (модель первого порядка с запаздыванием – FOPTD или интегральная модель – IPTD) и степени агрессивности ПИД - регулятора (определяется пользователем).

Таблица 4.3 – Формулы для расчёта коэффициента  $\lambda$

Вид модели	Степень агрессивности	Формула для расчёта коэффициента $\lambda$
FOPTD	Агрессивный	$\lambda = 0,1 \cdot \max(T1, 8 \cdot \text{Delay})$
	Медленный	$\lambda = 10 \cdot \max(T1, 8 \cdot \text{Delay})$
	Определяется пользователем	$\lambda = r \cdot \max(T1, 8 \cdot \text{Delay})$
IPTD	Агрессивный	$\lambda = 0,5 \cdot \frac{1,5}{K_p + 2 \cdot \text{Delay}}$
	Медленный	$\lambda = 10 \cdot \frac{1,5}{K_p + 2 \cdot \text{Delay}}$
	Определяется пользователем	$\lambda = r \cdot \frac{1,5}{K_p + 2 \cdot \text{Delay}}$

Где  $r$  – коэффициент Пирсона.

В таблице 4.4 представлены формулы для расчёта коэффициентов «P», «I», «D» на основе полученного значения коэффициента  $\lambda$ .

Таблица 4.4 – Формулы для расчёта коэффициентов «P», «I», «D»

Вид модели	Тип регулятора	P	I	D
FOPTD	PI	$100 / \left( \frac{T1}{K_p \cdot (\lambda + \text{Delay})} \right)$	T1	-
	PID	$100 / \left( \frac{T1 + 0,5 \cdot \text{Delay}}{K_p \cdot (\lambda + 0,5 \cdot \text{Delay})} \right)$	$T1 + 0,5 \cdot \text{Delay}$	$\frac{T1 \cdot \text{Delay}}{2 \cdot T1 + \text{Delay}}$
IPTD	PI	$100 / \left( \frac{2 \cdot \lambda + \text{Delay}}{K_p \cdot (\lambda + \text{Delay})^2} \right)$	$2 \cdot \lambda + \text{Delay}$	-
	PID	$100 / \left( \frac{2 \cdot \lambda + \text{Delay}}{K_p \cdot (\lambda + 0,5 \cdot \text{Delay})^2} \right)$	$2 \cdot \lambda + \text{Delay}$	$\frac{\lambda \cdot \text{Delay} + 0,25 \cdot \text{Delay}^2}{2 \cdot \lambda + \text{Delay}}$

Для визуализации некоторых обозначений и возможностей редактирования журнала настроек приняты следующие обозначения:

- 1) Строка с характеристиками текущего регулятора (работа ведётся в данный момент времени), подсвечена светло-бирюзовым цветом;
- 2) Слева от наименования ПИД - регулятора в каждой строке расположен чекбокс, который устанавливает режим построения графиков для симуляции и графического анализа по принятым настройкам (активированный чекбокс – отображение графиков, неактивированный – скрытие графиков). Это позволяет сравнить несколько вариантов настроек и принять оптимальные;
- 3) Для обозначения актуальных настроек ПИД - регулятора принято графическое обозначение ★. Актуальными считаются настроечные

параметры ПИД - регулятора, действующие на производстве до момента добавления и утверждения новых;

- 4) При нажатии ПКМ на область строки журнала настроек открывается функциональное меню с возможностью отредактировать параметры, удалить регулятор из журнала, дублировать выбранную строку с настроечными параметрами и сделать регулятор актуальным, если он таковым не является. На рисунке 4.32 представлено функциональное меню.

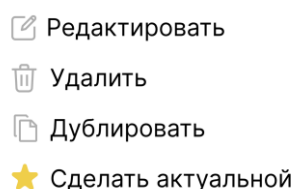


Рис. 4.32 – Функциональное меню при нажатии ПКМ по строке из журнала настроек

В разделе «Симуляция» (рисунок 4.33) предусмотрена визуализация динамики переменных PV и OP в виде графика во времени. Для анализа и оценки реагирования системы на изменяющиеся условия реализована возможность выбора проведения способа симуляции при помощи радиокнопок: по заданию или по возмущению. При помощи чекбокса можно активировать или отключать учёт шкал регулятора.

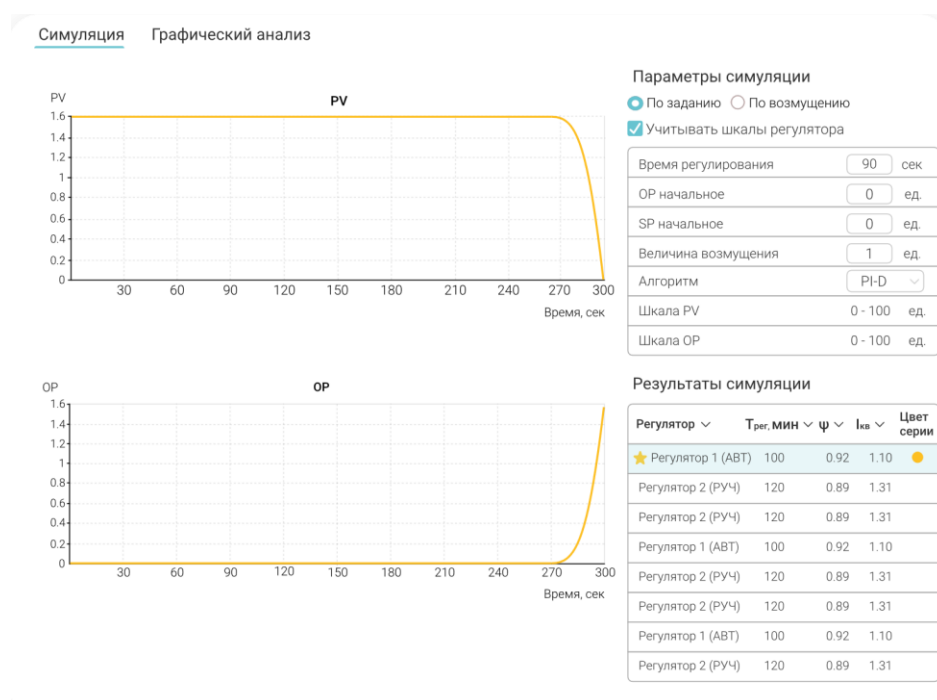


Рис. 4.33 – Раздел «Симуляция», вкладка «Настройка регулятора»

Таблица «Параметры симуляции» позволяет вручную определить значение следующих параметров: «Время регулирования», «OP начальное», «SP начальное», «Величина возмущения», «Алгоритм» (PID, PI-D, I-PD). Для переменных «PV» и «OP» отмечены диапазоны шкал.

Результаты симуляции представлены в виде таблицы, содержащей столбцы «Регулятор» с наименованием ПИД - регулятора и указанием способа настройки в скобках («АВТ» – автоматический, «РУЧ» – ручной); «Т<sub>рег</sub>» со значением времени регулирования в секундах; «ψ» – величина степени затухания; «I<sub>кв</sub>» – интегральный квадратичный критерий, характеризующий оптимальность системы управления; «Цвет

серии» – обозначение цвета линии тренда на графиках для рассматриваемых ПИД - регуляторов. Для каждой позиции возможно применение сортировки и фильтрации. Строка с текущим ПИД - регулятором выделена светло - бирюзовым цветом, актуальный ПИД - регулятор отмечен символом ★.

Раздел «Графический анализ» вкладки «Настройка регулятора» (рисунок 4.34) предназначен для проведения анализа динамики параметров ПИД - регулятора (« $K_p$ », « $T_i$ », « $T_d$ ») в трёх вариантах и оценки эффективности работы ПИД - регулятора через визуализацию границ устойчивости системы управления.

График «Однопараметрический анализ» позволяет проследить изменение параметров ПИД - регулятора (« $K_p$ », « $T_i$ », « $T_d$ ») во времени. Точечные диаграммы «Двухпараметрический анализ» и «Трёхпараметрический анализ» представлены в двумерном и трёхмерном пространстве соответственно. Для каждой оси предусмотрена возможность выбора параметров ПИД - регулятора (« $K_p$ », « $T_i$ », « $T_d$ ») через выпадающий список. График «Кривая индекса робастности» визуально показывает, как изменения настроек ПИД - регулятора могут повлиять на устойчивость системы управления при возникающих возмущениях.

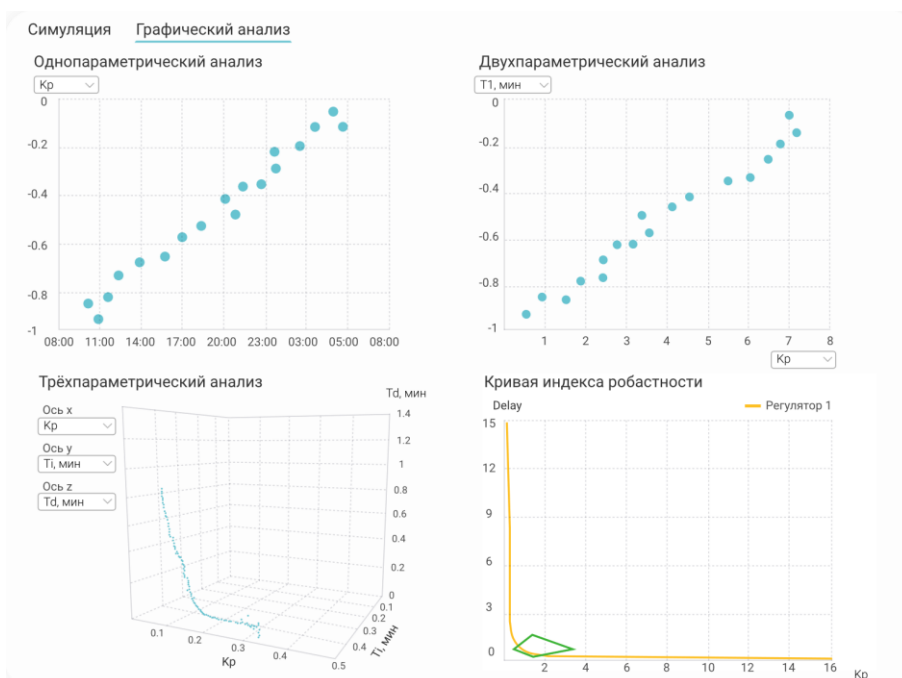


Рис. 4.34 – Раздел «Графический анализ» вкладки «Настройка регулятора»

## 5. Расчёт ключевых показателей эффективности (КРІ)

Качество регулирования оценивается по показателю КРІ на каждом из уровней: предприятие, установка, регулятор.

### 1. КРІ на уровне предприятия.

Вычисляется как среднее значение показателей КРІ установок, входящих в состав этого предприятия, диапазон от 0% до 100%.

Показатель КРІ по предприятию вычисляется следующим образом:

$$КРІ_{\text{пред}} = \frac{\alpha \cdot КРІ_{\text{уст}_1} + \beta \cdot КРІ_{\text{уст}_2} + \dots + n \cdot КРІ_{\text{уст}_n}}{\alpha + \beta + \dots + n}$$

где

- $КРІ_{\text{уст}_1}, КРІ_{\text{уст}_2}, \dots, КРІ_{\text{уст}_n}$  – значения КРІ установок, входящих в состав предприятия;
- $\alpha, \beta, \dots, n$  – коэффициенты, определяющие вес для каждой установки.

### 2. КРІ на уровне установки.

Вычисляется как среднее значение показателей КРІ ПИД - регуляторов, входящих в состав этой установки, диапазон от 0% до 100%.

Показатель КРІ по установке вычисляется следующим образом:

$$КРІ_{\text{уст}} = \frac{\alpha \cdot КРІ_{\text{пид}_1} + \beta \cdot КРІ_{\text{пид}_2} + \dots + n \cdot КРІ_{\text{пид}_n}}{\alpha + \beta + \dots + n}$$

где

- $КРІ_{\text{пид}_1}, КРІ_{\text{пид}_2}, \dots, КРІ_{\text{пид}_n}$  – значения КРІ ПИД - регуляторов, входящих в состав установки;
- $\alpha, \beta, \dots, n$  – коэффициенты, определяющие вес для каждого ПИД - регулятора.

### 3. КРІ ПИД - регулятора.

Вычисляется как среднее значение показателей КРІ его элементов: регулятора, датчиков и ИО, диапазон от 0% до 100%.

Показатель КРІ ПИД - регулятора вычисляется следующим образом:

$$КРІ_{\text{пид}} = \frac{КРІ_{\text{рег}} + КРІ_{\text{дат}} + КРІ_{\text{ио}}}{\alpha + \beta + \dots + n}$$

где

- $КРІ_{\text{рег}}$  – значение КРІ регулятора, входящего в состав контура регулирования;
- $КРІ_{\text{дат}}$  – значение КРІ датчика, входящего в состав контура регулирования;
- $КРІ_{\text{ио}}$  – значение КРІ исполнительного органа, входящего в состав контура регулирования;

- $\alpha, \beta, \dots, n$  – коэффициенты, определяющие вес для каждого значения КРІ регулятора, датчика и ИО, по умолчанию равны 1.

#### 4. КРІ регулятора контура.

КРІ регулятора контура зависит от шести метрик:

- MASE – средняя абсолютная нормированная ошибка, диапазон измерения от 0% до 100%.

Для показателя MASE необходимо провести дополнительное преобразование с вводом параметра допустимой ошибки (по умолчанию 3%).

$$\text{MASE} = \left(1 - \frac{\text{MASE}}{\text{средняя абсолютная допустимая ошибка}}\right) \cdot 100\%$$

- SKO – SKO нормированное ошибки, диапазон измерения от 0% до 100%.

Для показателя SKO необходимо провести дополнительное преобразование с вводом параметра допустимой ошибки (по умолчанию 3%).

$$\text{SKO} = \left(1 - \frac{\text{SKO}}{\text{допустимая ошибка SKO}}\right) \cdot 100\%$$

- $t_{\text{норм}}$  – время, в течение которого регулятор имел допустимую ошибку регулирования, диапазон измерения от 0% до 100%.

- $I_x$  – нормированный индекс Харриса, диапазон измерения от 0% до 100%.

Индекс Харриса определяется как отношение дисперсии ошибки (PV - SP) при данной оценке к дисперсии, достижимой с помощью регулятора с минимальной дисперсией. Чем больше значение, тем ниже производительность регулирования. Индекс Харриса варьируется в диапазоне от 1 до бесконечности. Значение 1 означает минимальную дисперсию, высоким коэффициентом индекса Харриса можно считать значения от 50 до 100, но оно может варьироваться в зависимости от контура и зависит от изменений уставки и возникающих внешних воздействий.

- УСТ (устойчивость) – показатель колебательности по автокорреляционной функции, диапазон измерения от 0% до 100%.

$$\text{УСТ} = (1 - \text{колебательность}) \cdot 100\%$$

Значение УСТ от 0% до 40% – неудовлетворительно;

Значение УСТ от 40% до 60% – удовлетворительно;

Значение УСТ от 60% до 100% – оптимально.

- Режим – время нахождения регулятора в нужном режиме, диапазон измерения от 0% до 100%.

Показатель КРІ регулятора вычисляется следующим образом:

$$КРІ_{рег} = \frac{\alpha \cdot MASE + \beta \cdot СКО + \gamma \cdot t_{норм} + \delta \cdot I_x + \varepsilon \cdot УСТ}{\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon} \cdot \text{Режим}^{\zeta}$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$  – коэффициенты, определяющие вес для каждой метрики, по умолчанию равны 1.

Диапазон измерения КРІ регулятора от 0% до 100%.

#### 5. КРІ датчика контура.

КРІ датчика контура зависит от трёх метрик:

- $T_{заш}$  – время датчика в зашкале, диапазон измерения от 0% до 100%.

Для показателя  $T_{заш}$  необходимо провести дополнительное преобразование:

$$T_{заш} = 100 - \text{время в зашкале}$$

- $T_{зам}$  – время датчика в заморозке, диапазон измерения от 0% до 100%.

Для показателя  $T_{зам}$  необходимо провести дополнительное преобразование:

$$T_{зам} = 100 - \text{время в заморозке}$$

- $T_{обр}$  – время датчика в обрыве, диапазон измерения от 0 до 100%.

Для показателя  $T_{обр}$  необходимо провести дополнительное преобразование:

$$T_{обр} = 100 - \text{время в обрыве}$$

Показатель КРІ датчика вычисляется следующим образом:

$$КРІ_{дат} = T_{заш}^{\alpha} \cdot T_{зам}^{\beta} \cdot T_{обр}^{\gamma}$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты, определяющие вес для каждой метрики, по умолчанию равны 1.

Диапазон измерения КРІ датчика от 0% до 100%.

#### 6. КРІ ИО контура.

КРІ ИО контура зависит от трёх метрик:

- $T_{нас}$  – время ИО в насыщении, диапазон измерения от 0% до 100%.

Для показателя  $T_{нас}$  необходимо провести дополнительное преобразование:

$$T_{нас} = 100 - \text{время в насыщении}$$

- Залипание – степень залипания в регулирующем ИО, процент движения клапана, его получают путём определения максимальной длины эллипса, вписанного в график PV-OP, диапазон измерения от 0% до 100%.

Залипание характеризуется как сопротивление началу движения ИО, означает разницу в «ОР», необходимую для преодоления сухого трения. Может ошибочно проявиться в контуре с высоким коэффициентом нелинейности.

Для показателя «Залипание» необходимо нормировать величину и ввести параметр допустимой ошибки (по умолчанию 3%):

$$\text{Залипание}_{\text{норм}} = \frac{\text{Залипание}}{\text{Шкала}}$$

$$\text{Залипание} = \left(1 - \frac{\text{Залипание}_{\text{норм}}}{\text{допустимая ошибка}}\right) \cdot 100\%$$

- Нелинейности – значение степени нелинейности в системе, значение 0,1 или выше означает высокую степень нелинейности, диапазон измерения от 0 до 1.

Для показателя «Нелинейности» необходимо провести дополнительное преобразование:

$$(1 - \text{Нелинейность}) \cdot 100\%$$

Показатель КРІ ИО вычисляется следующим образом:

$$\text{КРІ}_{\text{ИО}} = T_{\text{нас}}^{\alpha} \cdot \left(\frac{\beta \cdot \text{Залипание} + \gamma \cdot \text{Нелинейности}}{\beta + \gamma}\right)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты, определяющие вес для каждой метрики, по умолчанию равны 1.

Диапазон измерения КРІ ИО от 0% до 100%.