

АВАДС® САР-эксперт

Руководство пользователя

Товарные знаки

АВАДС®, AVADS®, АВАДС САР-эксперт являются товарными знаками, принадлежащими ООО «АВАДС СОФТ» (далее по тексту – компания АВАДС СОФТ). Прочие названия и обозначения продуктов в документе являются товарными знаками их производителей, продавцов или разработчиков.

Интеллектуальная собственность

Правообладателем продукта АВАДС САР-эксперт является компания АВАДС СОФТ. Все права защищены. Данный документ является результатом интеллектуальной деятельности, права на который принадлежат компании АВАДС СОФТ. Все материалы данного документа, а также его части/разделы могут свободно размещаться на любых сетевых ресурсах при условии указания на них источника документа и активных ссылок на сайт компании АВАДС СОФТ: www.avads.ru. При использовании любого материала из данного документа несетевым/печатным изданием обязательно указание в этом издании источника материала и ссылок на сайт компании АВАДС СОФТ: www.avads.ru. Цитирование информации из данного документа в средствах массовой информации допускается при обязательном упоминании первоисточника информации и компании АВАДС СОФТ. Любое использование в коммерческих целях информации из данного документа, включая (но не ограничиваясь этим) воспроизведение, передачу, преобразование, сохранение в системе поиска информации, перевод на другой (в том числе компьютерный) язык в какой-либо форме, какими-либо средствами, электронными, механическими, магнитными, оптическими, химическими, ручными или иными, запрещено без предварительного письменного разрешения компании АВАДС СОФТ.

О документе

Материал, содержащийся в данном документе, прошел доскональную проверку, но компания АВАДС СОФТ не гарантирует, что документ не содержит ошибок и пропусков, поэтому оставляет за собой право в любое время вносить в документ исправления и изменения, пересматривать и обновлять содержащуюся в нем информацию.

Оглавление

Оглавление	3
Введение	5
Назначение продукта	5
Поддерживаемые платформы.....	5
Инсталляция САР-эксперт.....	6
Инсталляция под Windows.....	6
Инсталляция под Linux.....	9
Запуск приложения	10
Windows	10
Linux	10
ДЕМО-версия	10
Интерфейс программы САР-эксперт.....	11
Панель выбора.....	12
Панель навигации.....	12
Основное окно.....	12
Контурсы	12
Настройка подключений.....	14
Редактор формул.....	14
Настройки приложения.....	14
Настройка программы САР-эксперт	16
Настройка подключений.....	16
Контурсы.....	17
Описание полей закладки Свойства	20
Редактор формул.....	24
Настройки приложения	27
Работа с программой САР-эксперт	30
Сценарий использования программы АВАДС САР-эксперт.....	30
Подготовка программы	30
Архивирование данных и выделение из них фрагментов.....	30
Идентификация	31
Расчет настроек и моделирование	31
Архивы	32
Отчеты.....	32
Расчет статистики	32

Работа в интерфейсе	33
Подключение и подготовка	33
Архивирование данных и выделение из них фрагментов	33
Идентификация объекта	35
Расчет настроек и моделирование	36
Архивы	41
Отчеты.....	44
Расчет статистики	46
Приложение 1. Требования к переходным процессам и их типы	49
Требования к переходному процессу.....	49
Типы переходных процессов	49
Приложение 2. Два подхода к нормированию в реализации регуляторов	51
Без нормирования.....	51
С нормированием.....	51
Влияние нормирования на настройку регулятора	51
Приложение 3. Разновидности формы представления коэффициента фильтра	52
Приложение 4. Критерий минимального времени регулирования	53
Приложение 5. Структуры регулятора	54
Приложение 6. Симулятор замкнутого контура	55
ПИД-регулятор	56
Клапан	57
Объект.....	57
Нагрузка	57
Общие принципы работы	58

Введение

Назначение продукта

Программа АВАДС САР-эксперт (САР-эксперт) предназначена для настройки ПИД-регуляторов. Она выполняет идентификацию объекта регулирования, определяет его модель, рассчитывает настройки, проводит имитационное моделирование, архивирует результаты и формирует отчеты. Продукт ориентирован на повышение эффективности работы систем автоматического регулирования в производственных процессах.

САР-эксперт является российским продуктом.

Поддерживаемые платформы

САР-эксперт — кроссплатформенный продукт, использующий независимые от операционной системы и аппаратной платформы решения. Поддерживаются:

- Windows (AMD64)
- Linux (AMD64)

Работоспособность на конкретной платформе ARM64 следует уточнять в технической поддержке.

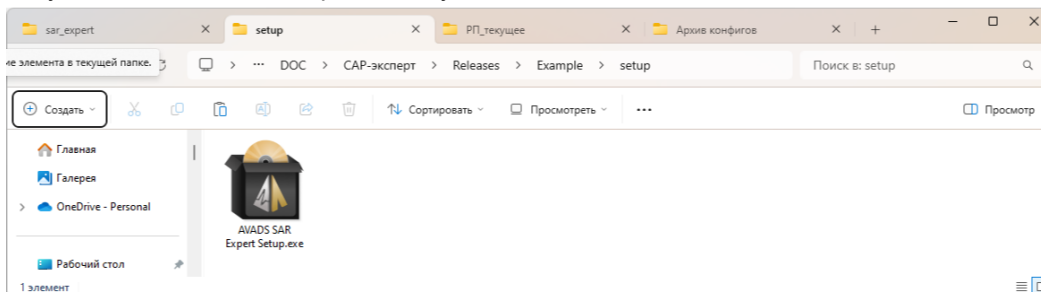
Инсталляция CAP-эксперт

Процедура инсталляции зависит от операционной системы, на которой будет работать.

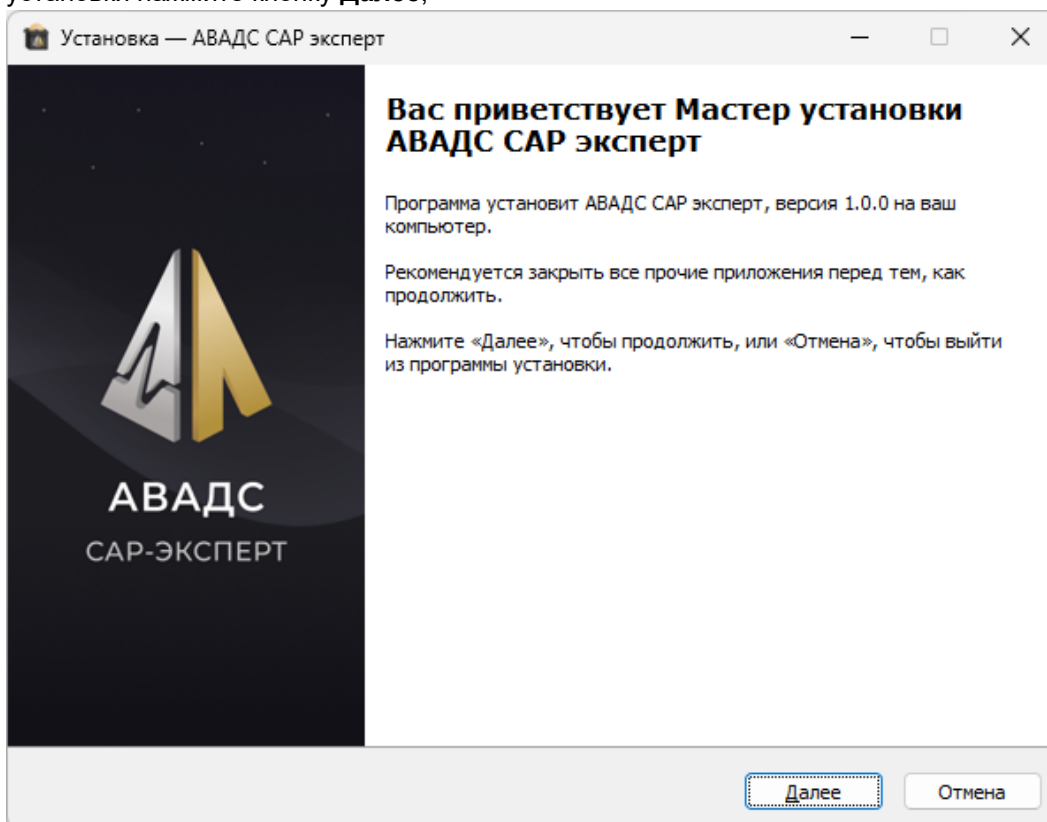
Инсталляция под Windows

Для инсталляции CAP-эксперт под ОС Windows:

- скачайте соответствующий дистрибутив с сайта **avads.ru**;
- запустите исполняемый файл для установки.

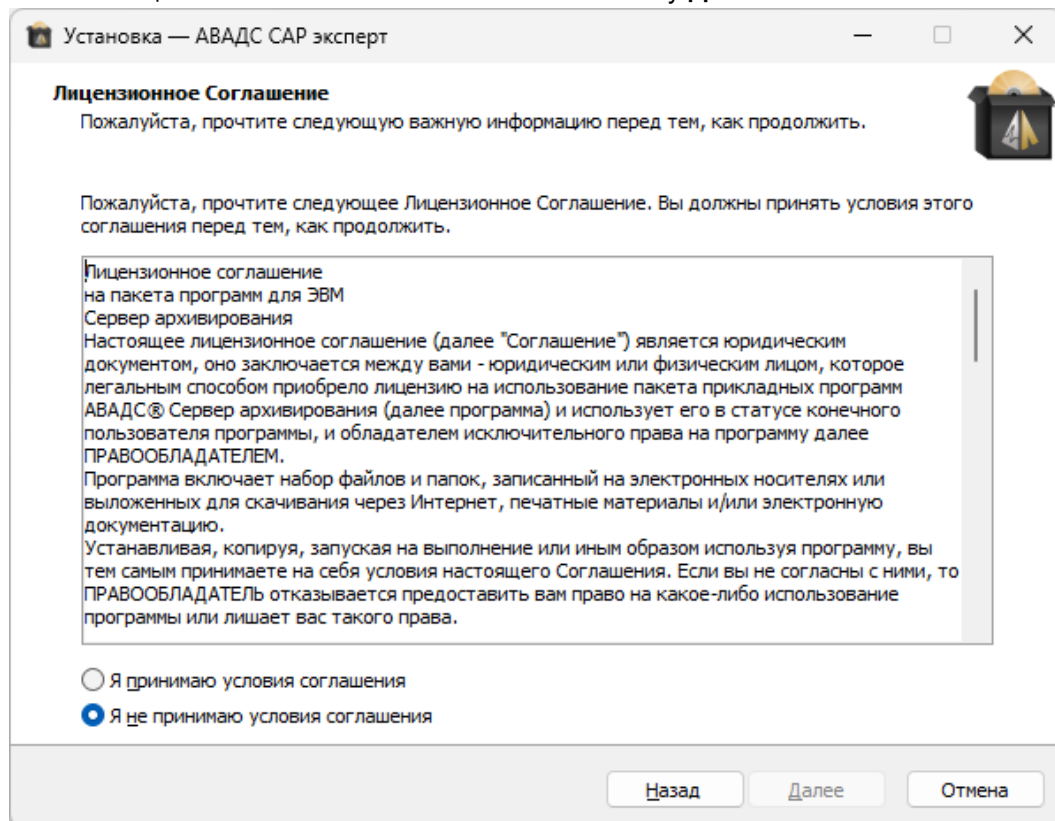


- На экране появится диалог с предложением инсталлировать CAP-эксперт. Для установки нажмите кнопку **Далее**;

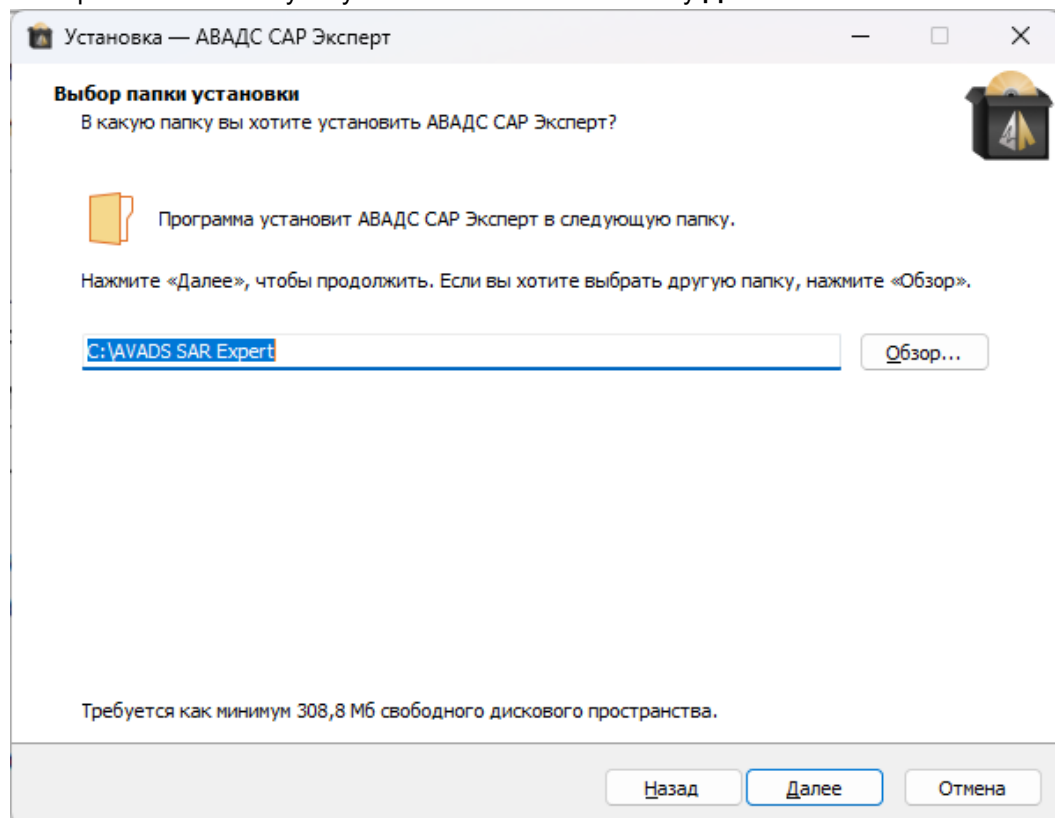


- на экране появится диалог с предложением принять лицензионное соглашение. Если Вы с ним согласны и принимаете, то выберите соответствующий пункт в меню под

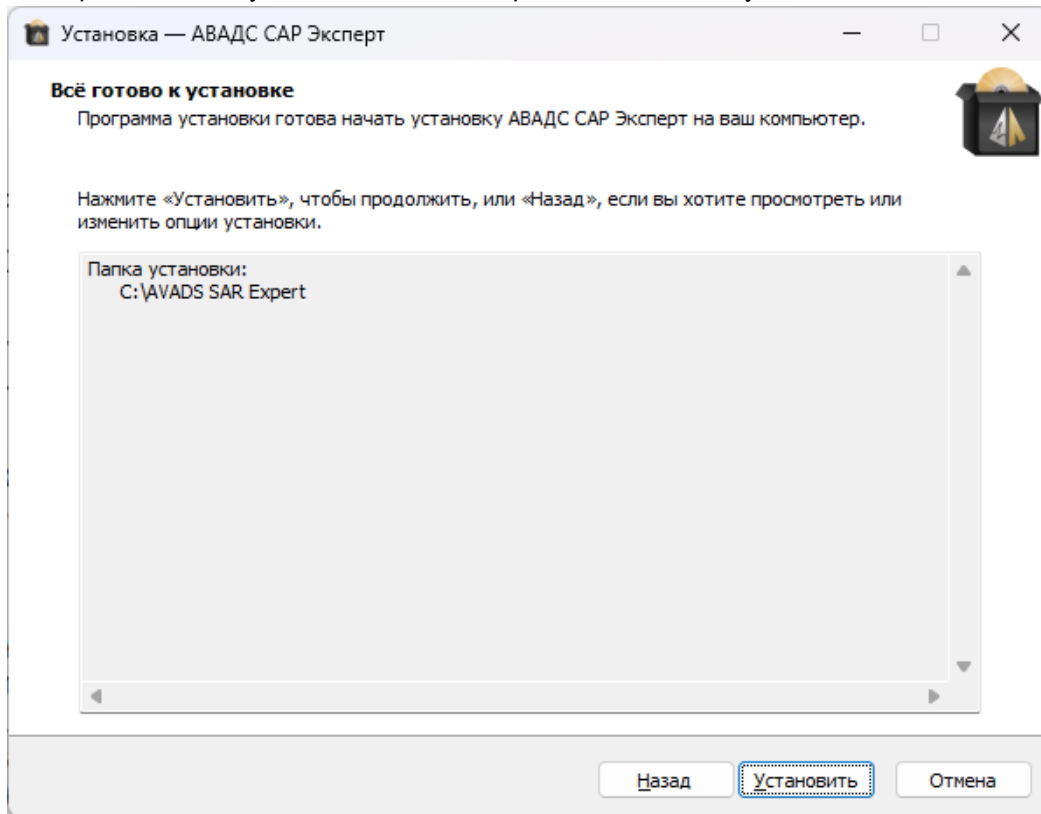
текстом лицензионного соглашения и нажмите кнопку **Далее**.



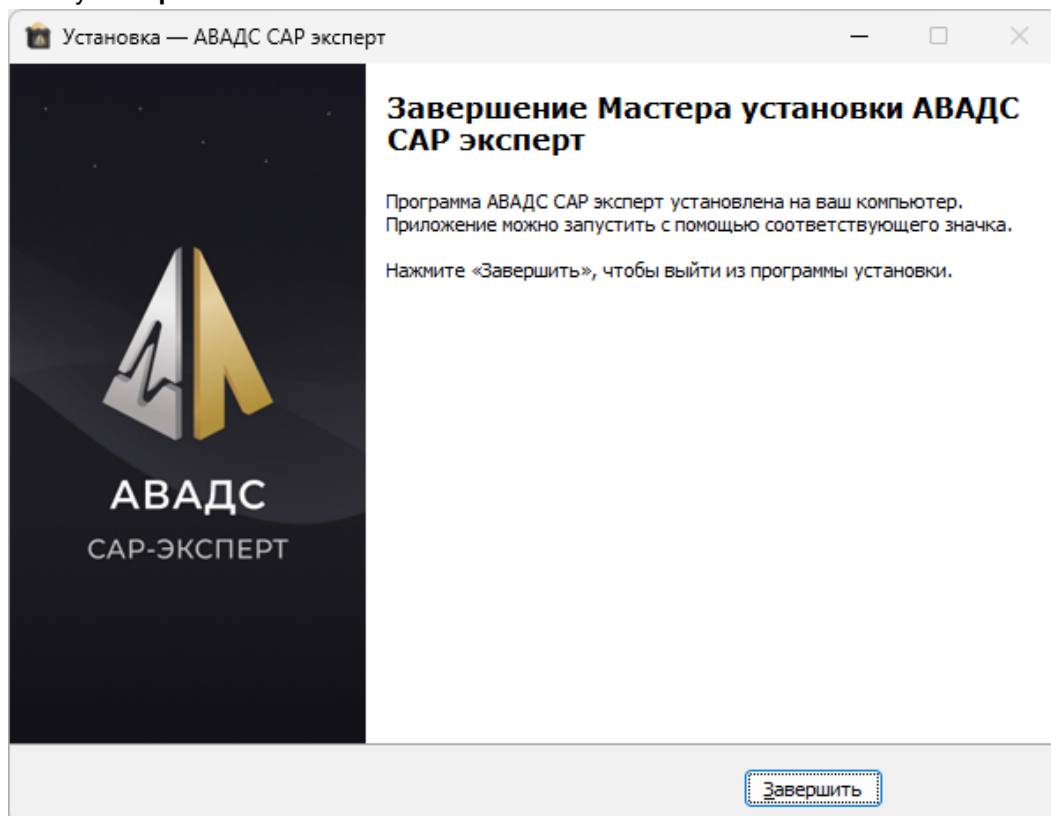
- На экране появится диалог для выбора папки, в которую будет установлен САР-эксперт. Укажите папку с путем к ней и нажмите кнопку **Далее**.



- На экране появится диалог с установленными настройками инсталляции. Для их изменения нажмите кнопку **Назад**. Если все задано верно, то для перехода непосредственно к установке САР-эксперта нажмите кнопку **Установить**.



- Если процесс установки САР-эксперта завершился успешно, то на экране появится диалог завершения установки. Чтобы закончить инсталляцию нажмите на этом диалоге кнопку **Завершить**.



После установки в меню **Пуск Windows** появится ярлык **АВАДС САР-эксперт**.

Инсталляция под Linux

Для инсталляции САР-эксперт под операционную систему Linux выполните следующие действия:

- Скачайте с сайта avads.ru дистрибутив, соответствующий используемой аппаратной платформе. Дистрибутив представляет из себя архивный файл;
- Создайте на компьютере директорию, в которую собираетесь установить САР-эксперт;
- Распакуйте содержимое архива в эту директорию;
- Прочитайте файл `readme.txt` для получения информации об особенностях запуска САР-эксперт на используемой аппаратной платформе и версии Linux;

Запуск приложения

Windows

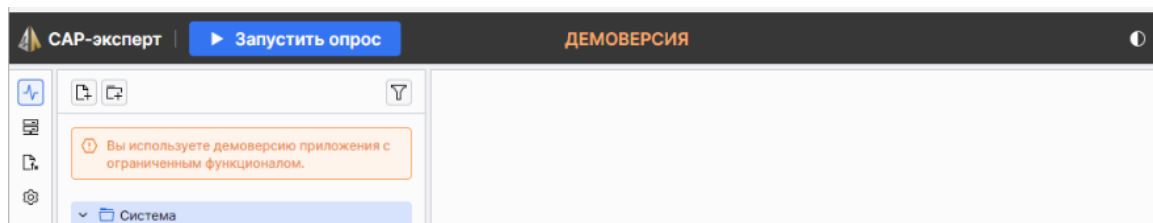
Приложение запускается двойным кликом по исполняемому файлу (.exe). Также можно открыть через меню **Пуск** или создать ярлык на рабочем столе.

Linux

Запуск осуществляется через терминал командой `./имя_файла` в каталоге с приложением при наличии прав выполнения. Также можно использовать команду `run` или открыть файл через графическую оболочку, выбрав **Запустить**.

ДЕМО-версия

При первом запуске САР-эксперт работает в демо-режиме с ограничением на подключение: программа может опрашивать только OPC-сервер программного симулятора контура регулирования, который входит в комплект поставки. При этом вся расчетная часть остается полнофункциональной.



После активации лицензии становится возможным подключение к любым OPC-серверам и настройка собственных регуляторов. Подробности приведены в разделе **Настройки приложения**.

Интерфейс программы САР-эксперт

На рисунке показан интерфейс программы САР-эксперт.

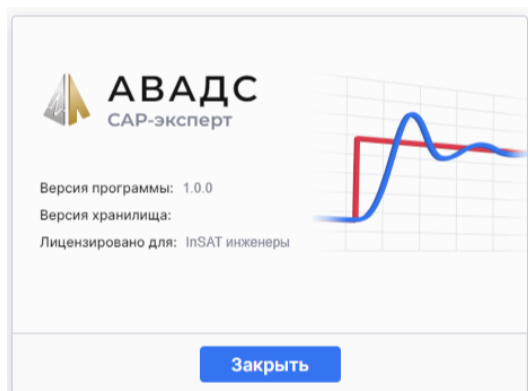


Он состоит из трёх основных областей:

1. **Панель выбора:** используется для переключения основного окна и настройки параметров.
2. **Панель навигации:** содержит дерево папок и контуров.
3. **Основное окно:** отображает данные в зависимости от выбранного пункта на панели выбора.

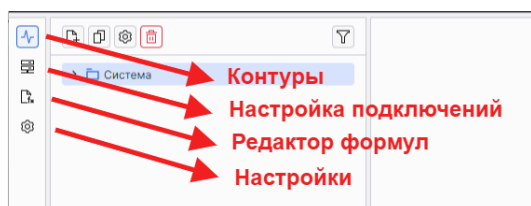
В верхней строке интерфейса расположена кнопка **Запустить опрос**, которая запускает сбор данных OPC-переменных (за исключением тех, для которых опрос отключён в подразделе **Общие** свойств контура). После начала сбора данных кнопка изменяется на **Остановить опрос**.

В правом нижнем углу интерфейса отображается версия программы. При клике на неё открывается окно с информацией о версиях компонентов и лицензии.



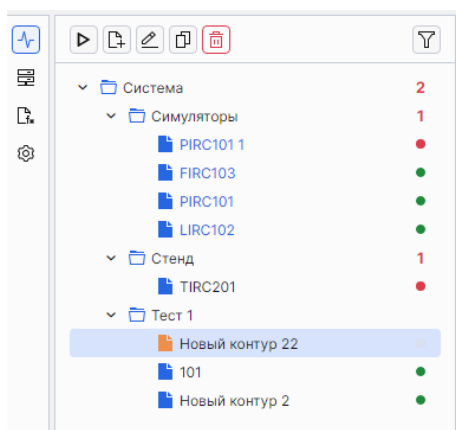
Панель выбора

Панель выбора (1) включает четыре иконки, которые управляют содержимым основного окна программы.



Панель навигации

Панель навигации (2) представляет собой стандартное дерево, в котором контуры могут быть сгруппированы в папки по технологическому назначению или по другим принципам на усмотрение пользователя.

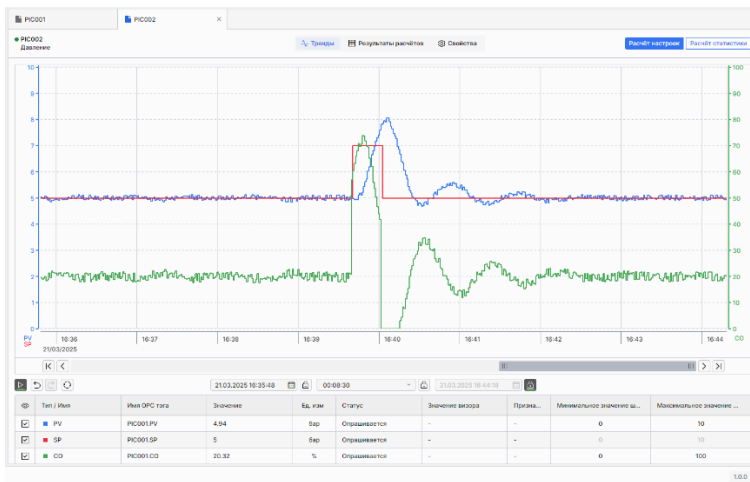


Основное окно

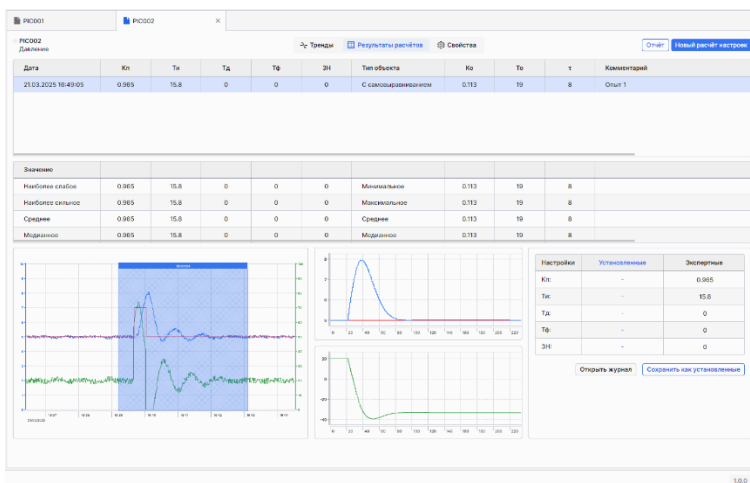
Контур

Основное окно (3) содержит вкладки с информацией о контурах, позволяя быстро переключаться между ними и одновременно наблюдать или настраивать несколько контуров. Имя вкладки соответствует названию контура в **Панели навигации**. В каждой вкладке есть три закладки: **Тренды**, **Результаты расчетов** и **Свойства**.

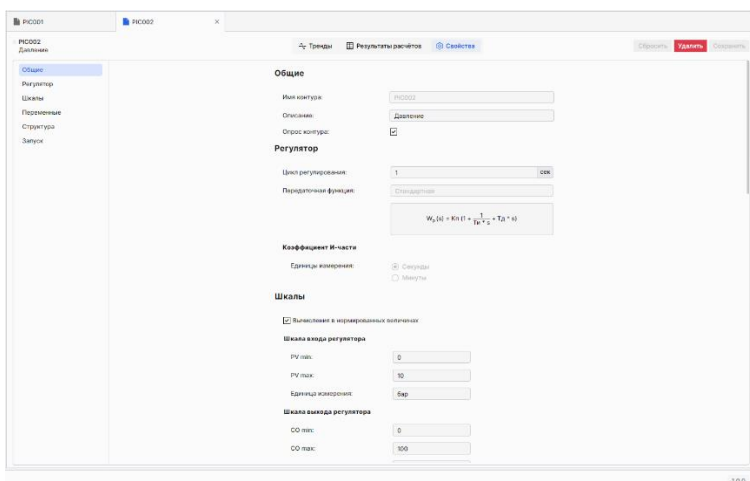
Закладка **Тренды** отображает графики переменных контура – PV, SP и CO. Кроме того, здесь отображаются и другие переменные, если они были заданы на закладке **Свойства** по кнопке **Добавить переменную**.



Закладка **Результаты расчетов** отображает результаты расчетов и моделирования переходных процессов.

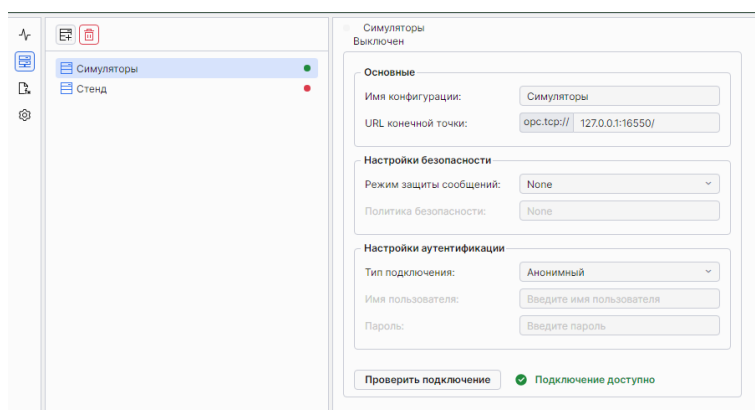


Закладка **Свойства** содержит параметры, описывающие работу контура и необходимые для расчёта настроек и моделирования. В их числе: передаточная функция регулятора, шкалы, параметры исполнительного устройства. Также в этом разделе выполняется привязка к OPC-тегам технологических переменных, которые используются программой САР-эксперт для идентификации объекта.



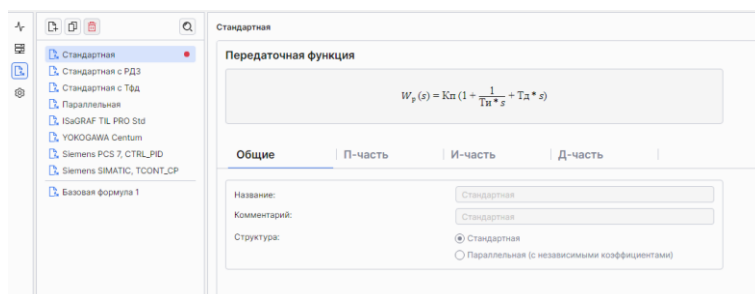
Настройка подключений

Основное окно содержит набор параметров соединения с OPC-сервером для выбранного в **Панели навигации** подключения.



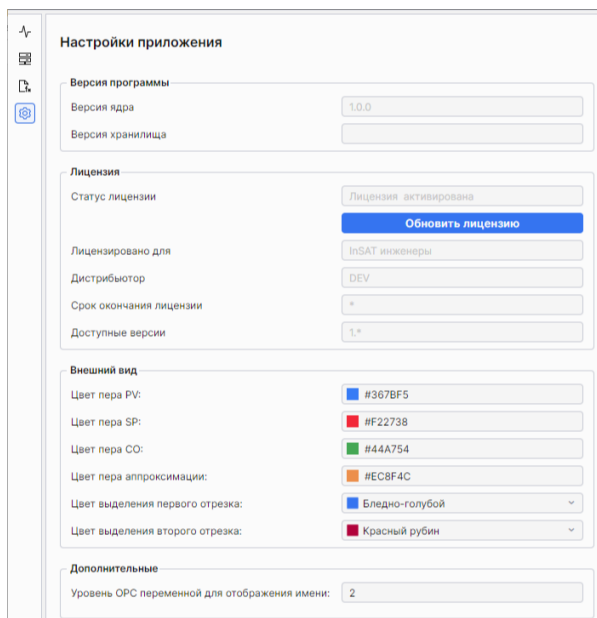
Редактор формул

Основное окно содержит конфигуратор формул, позволяющий задать форму передаточной функции регулятора, если необходимая формула отсутствует среди предустановленных.

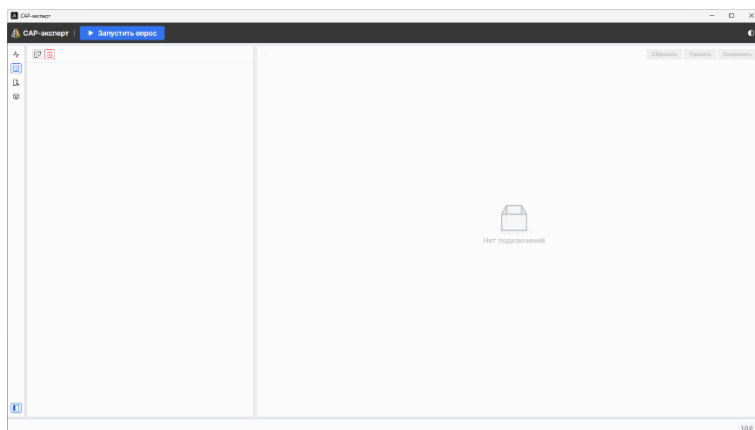
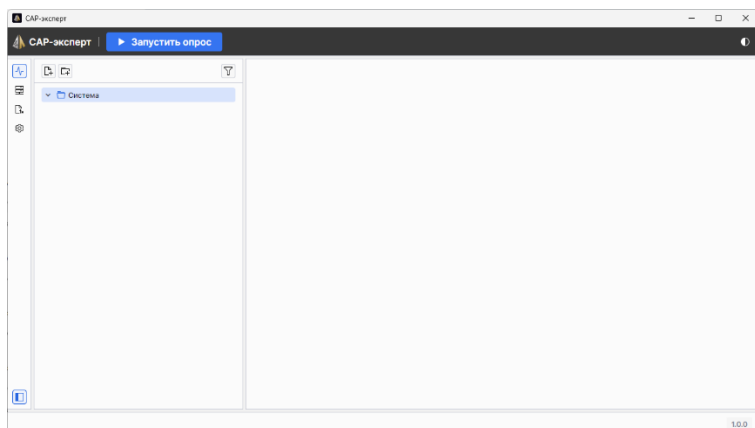


Настройки приложения

Окно содержит общие настройки конфигурации системы, такие как версия программы, лицензия, внешний вид и дополнительные.



Сразу после установки и первом запуске программы первые две иконки в **Панели выбора** не отображают данных в основном окне.



Для начала работы необходимо настроить программу SAP-эксперт.

Настройка программы САР-эксперт

Настройка подключений

Настройка программы начинается с нажатия на иконку **Настройка подключений** на **Панели выбора**. В **Панели навигации** сверху необходимо нажать кнопку **Добавить подключение**.

Откроется форма для ввода параметров новой конфигурации подключения к OPC-серверу. Форма состоит из трёх групп полей:

- **Основные** (обязательные для заполнения),
- **Настройки безопасности** (заполняются в зависимости от настроек OPC-сервера),
- **Настройки аутентификации** (заполняются в зависимости от настроек OPC-сервера).

Основные – указываются имя подключения и URL OPC-сервера.

Режим защиты сообщений – это механизм обеспечения безопасности передачи данных между клиентом и сервером, включающий шифрование, контроль целостности и аутентификацию.

В **OPC UA (Unified Architecture)** предусмотрены различные уровни защиты сообщений, которые обеспечивают:

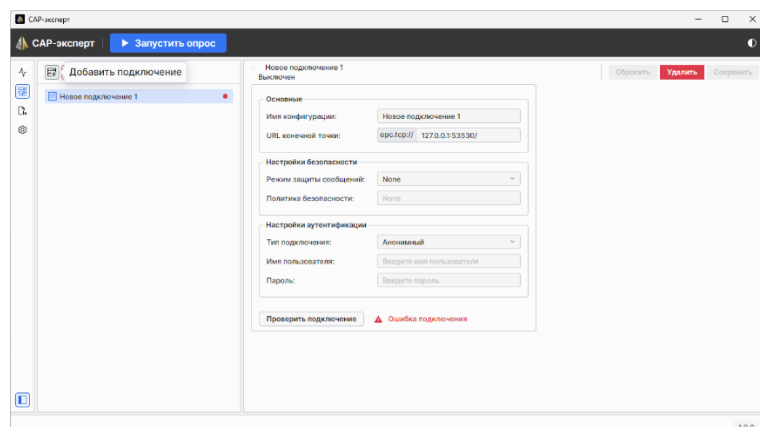
- **Подлинность** (аутентификацию клиента и сервера).
- **Целостность** (контроль изменений данных при передаче).
- **Конфиденциальность** (шифрование передаваемой информации).

OPC UA поддерживает **разные политики безопасности**, включая:

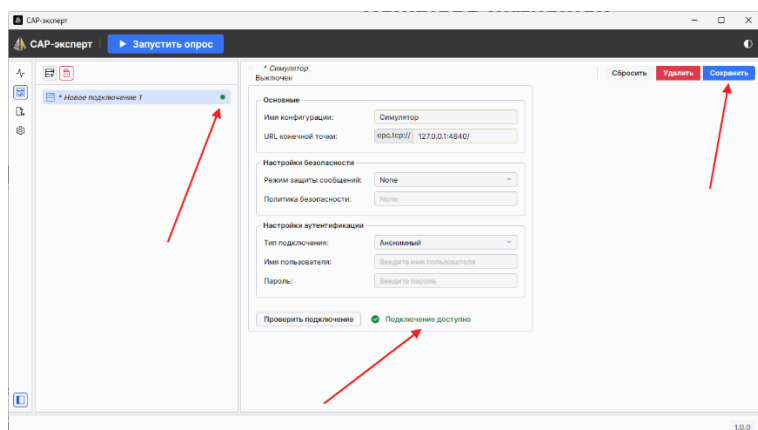
1. **Без защиты** (None) – данные передаются в открытом виде.
2. **Контроль целостности** (Sign) – проверяется подлинность сообщений без шифрования.
3. **Полная защита** (Sign & Encrypt) – сообщения подписываются и шифруются.

В классическом **OPC DA (Data Access)** защита сообщений отсутствует.

Если в настройке безопасности режим защиты сообщений выключен, поле **Политика безопасности** недоступно для заполнения. В настройке аутентификации, если на OPC-сервере разрешен анонимный доступ и он выбран, поля **Имя пользователя** и **Пароль** недоступны для заполнения.



После заполнения полей нужно нажать кнопку **Проверить подключение**.

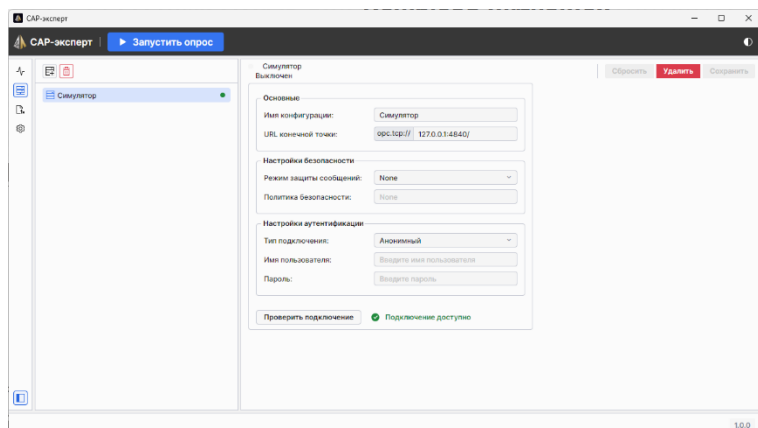


Если соединение успешно установлено, надпись **Ошибка подключения** (красным цветом) сменится на **Подключение доступно** (зелёным цветом), а цвет точки напротив названия конфигурации в **Панели навигации** изменится с красного на зелёный.

Для сохранения конфигурации необходимо нажать кнопку **Сохранить**.

- Кнопка **Сбросить** возвращает поля к исходным значениям.
- Кнопка **Удалить** или иконка корзины после подтверждения полностью удаляет подключение.

На рисунке представлен вид панелей после сохранения подключения.



Контуры

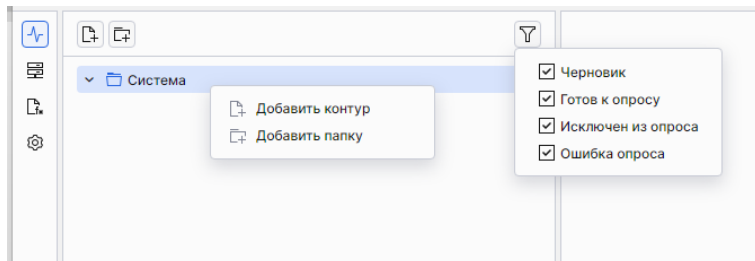
На следующем этапе необходимо нажать иконку **Контуры** на **Панели выбора**. Как указывалось ранее, **Основное окно** при запуске пустое. В **Панели навигации** отображается структура **Конфигурация системы**, которая служит для организации контуров. В дальнейшем в **Панели навигации** будут добавлены контуры, свойства которых, а также архивы значений технологических переменных и архивы расчетов будут отображаться в **Основном окне**.

Конфигурация системы состоит из контуров, сгруппированных по папкам. Пустая конфигурация не содержит контуров, но в нее можно добавлять неограниченное количество новых контуров.

Для добавления в **Конфигурацию системы** папки или контура необходимо нажать на соответствующем уровне правую кнопку мыши (ПКМ) и выбрать нужную операцию. Выбранное действие применяется к тому элементу **Конфигурации системы**, на котором нажата ПКМ.

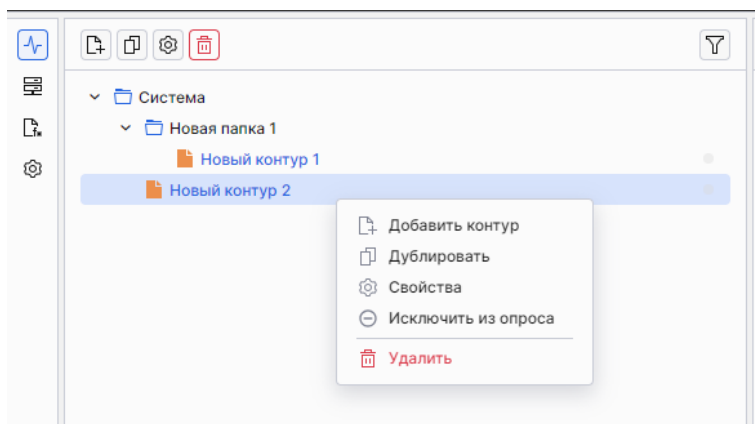
Альтернативно можно использовать иконки в верхней части **Панели навигации** для выполнения тех же операций. В правой части панели навигации расположена иконка фильтра (в виде воронки). Нажатие на неё открывает выпадающее меню, позволяющее управлять видимостью элементов дерева, отмечая или снимая галочки для следующих статусов:

- Черновик
- Готов к опросу
- Исключён из опроса
- Ошибка опроса

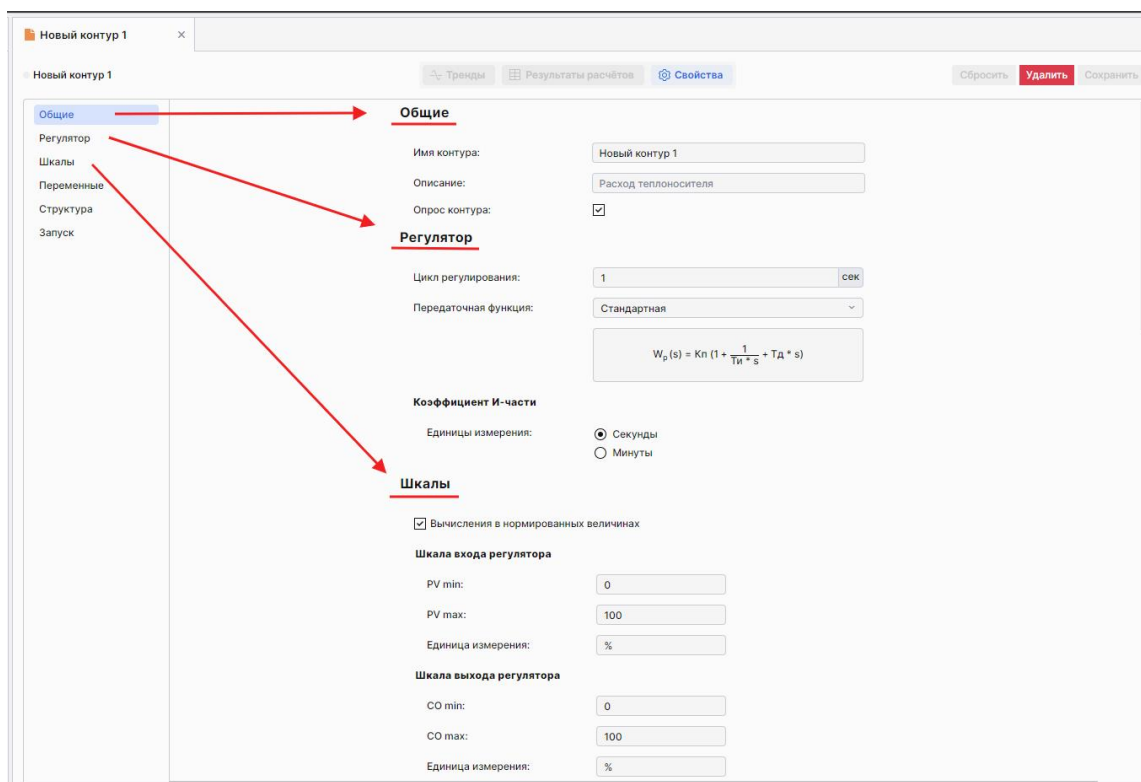


На рисунке показан результат создания папки и двух контуров. В зависимости от выбранного элемента контекстное меню и верхняя часть **Панели навигации** содержат различные действия:

- Добавить контур/папку
- Переименовать папку
- Дублировать
- Свойства
- Исключить из опроса
- Удалить



Двойной клик по контуру открывает в **Основном окне** вкладку с его именем на закладке **Свойства**, если контур не запущен. Для запущенных контуров открывается последняя использованная закладка.



Свойства распределены по подразделам в соответствии с их функциональным назначением. Перечень подразделов:

- Общие
- Регулятор
- Шкалы
- Переменные
- Структура
- Запуск

Новый контур создается в статусе **Черновик**. В этом статусе доступны для изменения все параметры на закладке **Свойства** контура, включая формулу регулятора и названия коэффициентов.

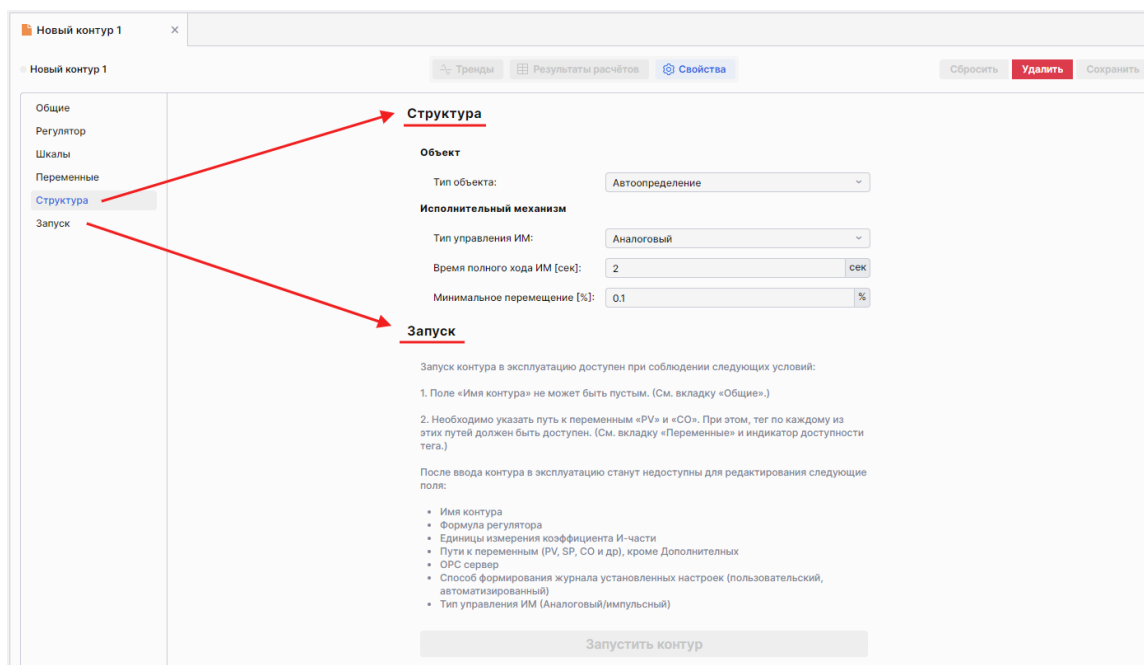
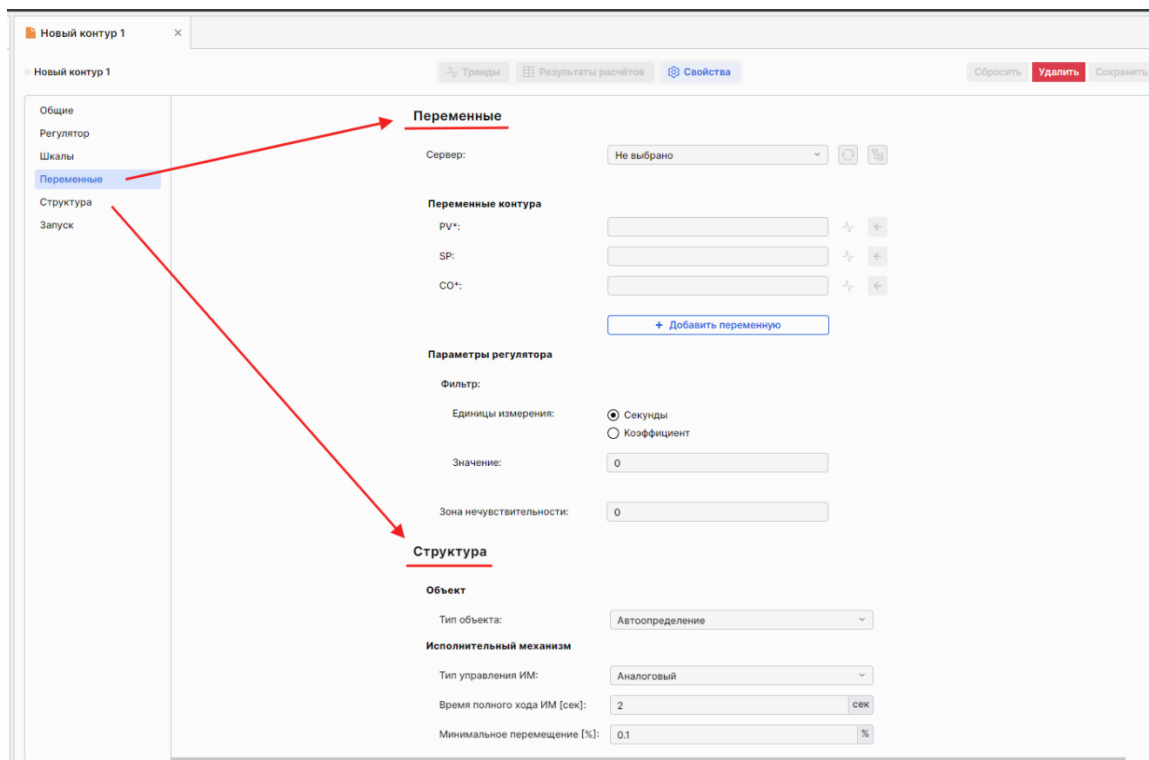
После сохранения свойств (нажатия кнопки **Сохранить**) контур остается в статусе **Черновик**, и все параметры остаются доступными для изменения.

После запуска контура (нажатия кнопки **Запустить контур**) его статус меняется на **Готов к опросу** или **Опрашивается** (если опрос уже идет), после чего редактирование становится недоступным для следующих параметров:

- Имя контура
- Формула регулятора
- Единицы измерения И-части
- Пути к переменным (PV, SP, CO), кроме **Дополнительных**
- OPC сервер.

Остальные параметры можно изменять в любое время.

На рисунках отображены остальные подразделы.



Описание полей закладки **Свойства**

Общие. Подраздел содержит:

- Имя контура
- Описание
- Опрос контура

Опрос по умолчанию включен, но пока контур не сохранён и не нажата кнопка **Запустить опрос**, он не работает. Чекбокс предназначен для временного отключения выбранного контура.

Регулятор.

В данном подразделе задаются параметры цикла регулирования (цикла работы регулятора), формула регулятора и единицы измерения коэффициента интегральной части. Формула регулятора выбирается из выпадающего списка, ниже которого отображается соответствующая выбранной формуле запись. Список доступных формул формируется в конструкторе формул. По умолчанию в список включены наиболее распространённые формулы.

Регулятор

Цикл регулирования: 1 сек

Передаточная функция: Стандартная

Коэффициент И-части

Единицы измерения:

- Стандартная
- Стандартная с РДЗ
- Стандартная с Тфд
- Параллельная
- ISaGRAF TIL PRO Std
- YOKOGAWA Centum
- Siemens PCS 7, CTRL_PID

Шкалы.

Задаётся наличие нормирования в регуляторе (Приложение 2). При его наличии указываются шкалы входа и выхода.

Шкалы

Вычисления в нормированных величинах

Шкала входа регулятора

PV min: 0

PV max: 100

Единица измерения: %

Шкала выхода регулятора

CO min: 0

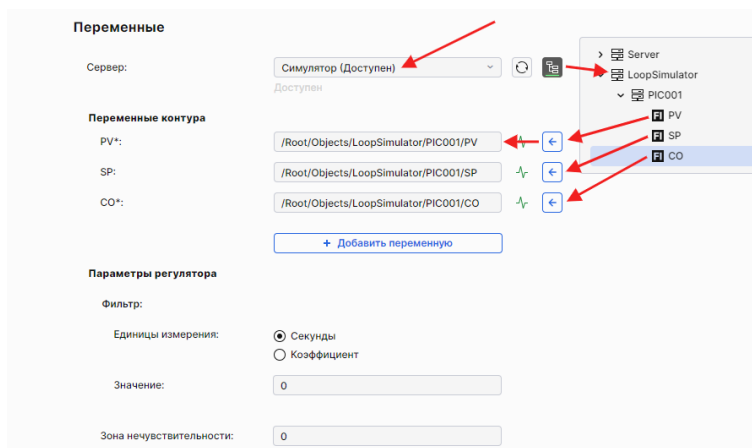
CO max: 100

Единица измерения: %

Переменные.

Значение поля **Сервер** выбирается из выпадающего списка, в котором отображаются имена всех имеющихся подключений. При выборе сервера с правой стороны отображается дерево объектов, раскрывая которое можно найти обозначения нужных переменных. OPC переменные назначаются для каждого типа переменной контура (PV, SP, CO и другие). **Переменные** можно задать вручную в текстовом виде или выбрать из структуры тегов с помощью браузинга OPC переменных.

Кнопка **Добавить переменную** позволяет вводить в контур дополнительные переменные, которые будут отображаться на закладке **Тренды**. Дополнительные переменные помогают визуализировать ключевые факторы, влияющие на переходные процессы.



Подраздел **Параметры регулятора** содержит две настройки: **Фильтр** (с указанием единиц измерения и значения) и **Зона нечувствительности**.

Поле **Единицы измерения** позволяет выбрать один из вариантов: секунды или коэффициент (безразмерную величину).

Поле **Значение** в зависимости от выбранных единиц измерения содержит либо постоянную времени фильтра в секундах, либо безразмерный коэффициент цифрового фильтра от 0 до 1 (Приложение 3). Заполнять поле **Значение** требуется, если по ОРС передаётся нефильТРованное значение, а на входе регулятора установлен внутренний фильтр. В этом случае в поле указывается именно это значение постоянной времени фильтра. Если же по ОРС поступает уже отфильтрованное значение, поле **Значение** должно остаться пустым.

Поле **Зона нечувствительности (ЗН)** заполняется значением, установленным в системе регулирования.

Структура.

В подразделе задаются характеристики **объекта** и **исполнительного механизма (ИМ)**.

Тип объекта: Автоопределение, Апериодический, Малоинерционный, Интегральный (по умолчанию – Автоопределение).

Тип управления ИМ: Аналоговое, Импульсное (по умолчанию – Аналоговое). Следующие поля меняют свой состав в зависимости от выбранного типа управления.

Для аналогового:

Время полного хода (по умолчанию – 2 сек).

Минимальное перемещение (по умолчанию – 0,1 %).

Для импульсного:

Время полного хода (по умолчанию – 60 сек).

Длительность минимально импульса (по умолчанию – 0,2 сек).

Минимальное положение (по умолчанию – 0 %).

Максимальное положение (по умолчанию – 100 %).

Тренды Результаты расчётов **Свойства** Сбросить Удалить Сохранить

Значение: 0

Зона нечувствительности: 0

Структура

Объект

Тип объекта: Автоопределение

Исполнительный механизм

Тип управления ИМ: Аналоговый

Время полного хода ИМ [сек]: 2 сек

Минимальное перемещение [%]: 0.1 %

Запуск

Запуск контура в эксплуатацию доступен при соблюдении следующих условий:

1. Поле «Имя контура» не может быть пустым. (См. вкладку «Общие».)
2. Необходимо указать путь к переменным «PV» и «CO». При этом, тег по каждому из этих путей должен быть доступен. (См. вкладку «Переменные» и индикатор доступности тега.)

После ввода контура в эксплуатацию станут недоступны для редактирования следующие поля:

- Имя контура
- Формула регулятора
- Единицы измерения коэффициента И-части
- Пути к переменным (PV, SP, CO и др), кроме Дополнительных
- OPC сервер
- Способ формирования журнала установленных настроек (пользовательский, автоматизированный)
- Тип управления ИМ (Аналоговый/импульсный)

Запустить контур

После заполнения всех полей закладки **Свойства** необходимо нажать кнопку **Сохранить**, а затем кнопку **Запустить контур**. Появится окно подтверждения запуска с уведомлением о недоступности некоторых параметров для изменения. При нажатии кнопки **Запустить контур** без предварительного сохранения все изменения сначала сохраняются, а затем, после подтверждения, контур запускается в эксплуатацию.

? Ввести в эксплуатацию?

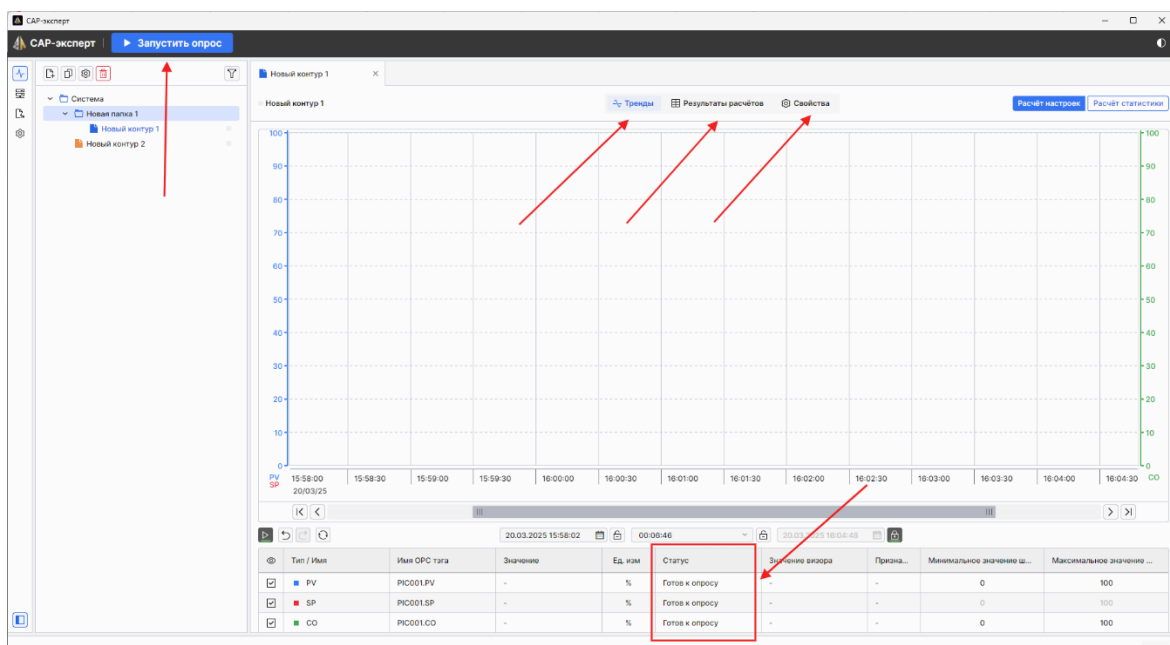
У вас есть несохранённые изменения.

Запуск приведет к вводу контура «Новый контур 3» в эксплуатацию, некоторые параметры не будут доступны к изменению.

Сохранить изменения и запустить контур в эксплуатацию?

Отмена **Сохранение и Запуск**

После запуска станут доступны закладки **Тренды** и **Результаты расчётов**, с автоматическим переходом в закладку **Тренды**. В нижней части закладки статус всех переменных контура изменится на **Готов к опросу**.



На этом настройка контура считается завершённой. Если при включенном опросе добавляются новые контуры, они сразу начинают получать значения, и графики трендов обновляются. Это позволяет добавлять контуры «на ходу».

Редактор формул

Редактор формул позволяет задать вид передаточной функции регулятора, если необходимая формула отсутствует среди предустановленных.

Конструктор формул используется для настройки структуры регулятора, вида настроечных коэффициентов, типа дифференцирующего звена и формы коэффициента аperiodической части этого звена. При этом предполагается, что регулятор воспроизводит ПИД-закон регулирования, причём воспроизводит его правильно, а создание произвольной передаточной функции, отличной от ПИД-закона, невозможно.

Редактор формул представляет собой конфигуратор, где изменения полей и настроек сразу отображаются в формуле регулятора. Таким образом, пользователь создаёт формулу, идентичную или максимально приближенную к используемой в настраиваемом регуляторе системы управления.

Настройки конфигуратора разделены на четыре группы: Общие, П-часть, И-часть и Д-часть.

В группе Общие задаётся:

Название формулы – используется для отображения формулы в списке регуляторов при выборе в свойствах контура.

Комментарий – дополнительная информация о формуле.

Структура регулятора

- Стандартная
- Параллельная (с независимыми коэффициентами)

Стандартная

Передаточная функция

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right)$$

Общие | П-часть | И-часть | Д-часть

Название: Стандартная

Комментарий: Стандартная

Структура:
 Стандартная
 Параллельная (с независимыми коэффициентами)

Используется в контуре:
 PIS001
 PIS002

Группа П-часть:

Мнемоническое обозначение коэффициента – условное обозначение для удобства восприятия.

Тип коэффициента:

- Прямой (коэффициент в числителе)
- Обратный (коэффициент в знаменателе)

Флаг «Задаётся в процентах (* 100%)» – указывает, представляется ли коэффициент в процентном выражении.

Передаточная функция

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right)$$

Общие | П-часть | И-часть | Д-часть

Мнемоническое обозначение коэффициента: Kп

Тип коэффициента:
 Прямой (коэффициент в числителе)
 Обратный (коэффициент в знаменателе)

Задаётся в процентах (* 100%):

Группа И-часть:

Мнемоническое обозначение коэффициента – условное обозначение для удобства восприятия.

Тип коэффициента:

- Прямой (коэффициент в числителе)
- Обратный (коэффициент в знаменателе)

Передаточная функция

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right)$$

Общие | П-часть | И-часть | Д-часть

Мнемоническое обозначение коэффициента: Ти

Тип коэффициента:
 Прямой (коэффициент в числителе)
 Обратный (коэффициент в знаменателе)

Группа Д-часть:

Мнемоническое обозначение коэффициента – условное обозначение для удобства восприятия.

Флаг «Наличие аperiodической составляющей (фильтра) в Д-части» – при установке этого флага появляются дополнительные настройки:

- Независимый коэффициент фильтра Д-части
- Коэффициент фильтра зависит от коэффициента Д-части

При выборе первого варианта появляется поле ввода **Мнемоническое обозначение коэффициента фильтра Д-части**

Передаточная функция

$$W_p(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + \frac{K_d * s}{T_{fd} * s + 1}$$

Общие | П-часть | И-часть | **Д-часть**

Мнемоническое обозначение коэффициента:

Наличие аperiodической составляющей (фильтра) в Д-части

Независимый коэффициент фильтра Д-части
 Коэффициент фильтра зависит от коэффициента Д-части

Мнемоническое обозначение коэффициента фильтра Д-части:

При выборе второго варианта появляется настройка **Тип зависимости** с возможными значениями:

- Постоянная
 - Появляется числовое поле ввода **Часть от Д в виде 1 / X**
- Настраиваемая
 - Появляются радиокнопки:
 - Множитель
 - Делитель
 - Также становится доступно поле ввода **Мнемоническое обозначение**.

Передаточная функция

$$W_p(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + \frac{K_d * s}{1/8 * K_d * s + 1}$$

Общие | П-часть | И-часть | **Д-часть**

Мнемоническое обозначение коэффициента:

Наличие аperiodической составляющей (фильтра) в Д-части

Независимый коэффициент фильтра Д-части
 Коэффициент фильтра зависит от коэффициента Д-части

Тип зависимости

Постоянная
 Настраиваемая

Часть от Д в виде 1 / X:

Передаточная функция

$$W_p(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + \frac{K_d * s}{T_{fd} * K_d * s + 1}$$

Общие | П-часть | И-часть | **Д-часть**

Мнемоническое обозначение коэффициента:

Наличие аperiodической составляющей (фильтра) в Д-части

Независимый коэффициент фильтра Д-части

Коэффициент фильтра зависит от коэффициента Д-части

Тип зависимости

Постоянная

Настраиваемая

Множитель

Делитель

Мнемоническое обозначение коэффициента фильтра Д-части:

После внесения изменений становится активной кнопка **Сохранить**. При её нажатии изменения сохраняются. Если изменяется название формулы, появляется диалоговое окно с выбором: сохранить изменения в существующей формуле или создать новую.

Важно:

- Если формула уже используется в контуре, разрешается изменять только мнемоническое обозначение коэффициентов. Изменения структуры формулы недопустимы.

Настройки приложения

Окно предоставляет доступ к общим настройкам конфигурации программы САР-эксперт, включая следующие разделы:

Версия программы содержит информацию о версиях ядра и хранилища. Настройки не требует.

Настройки приложения

Версия программы

Версия ядра

Версия хранилища

Лицензия включает параметры, связанные с лицензионным соглашением:

- Статус лицензии
- Обновить лицензию
- Лицензиат
- Лицензиар или дистрибьютор
- Срок окончания лицензии
- Доступные версии

Лицензия	
Статус лицензии	Лицензия активирована
	Обновить лицензию
Лицензировано для	InSAT инженеры
Дистрибьютор	DEV
Срок окончания лицензии	*
Доступные версии	1.*


При первом запуске программа САР-эксперт работает в режиме ДЕМО-версии, пока лицензия не активирована.

Лицензия	
Статус лицензии	Лицензия не активирована
	Активировать


Для активации необходимо нажать **Активировать** или **Обновить лицензию** (если процедура выполняется повторно). Откроется окно **Активация продукта**, где в поле **Серийный ключ** вводится ключ, полученный от поставщика ПО.

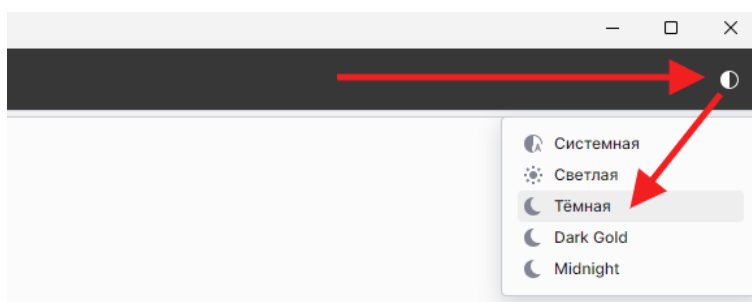
Активация продукта	
Серийный ключ	XXXXX-XXXXX-XXXXX-XXXXX-XXXXX
Ручная активация	<input type="checkbox"/> ?
<input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value="Активировать"/>	

После активации появится соответствующее уведомление.

 Успешно!
Продукт активирован!
<input type="button" value="Закреть"/>

Тему оформления можно изменить в любом месте программы, нажав на соответствующую

иконку  в правом верхнем углу.



Внешний вид – позволяет настроить:

- Цвет перьев
- Цвет выделения отрезка

Цвет пера PV:	#367BF5
Цвет пера SP:	#F22738
Цвет пера CO:	#44A754
Цвет пера аппроксимации:	#EC8F4C
Цвет выделения первого отрезка:	Бледно-голубой
Цвет выделения второго отрезка:	Красный рубин

Цвет перьев технологических переменных и пера аппроксимации можно выбрать на палитре или указать в шестнадцатеричном формате.

Цвет выделения отрезков выбирается из выпадающего списка.

Лицензировано для
Обновить лицензию

Лицензировано для
Дистрибутор
Срок окончания лицензия
Доступные версии

Внешний вид
Цвет пера PV:
Цвет пера SP:
Цвет пера CO:
Цвет пера аппроксимации:
Цвет выделения первого отрезка:
Цвет выделения второго отрезка:

Дополнительные
Уровень OPC переменной для отображения имени: 2

Дополнительные

- Уровень OPC переменной для отображения имени

Дополнительные
Уровень OPC переменной для отображения имени: 2

Выбранное на рисунке значение **2** означает, что в легенде на закладке **Тренды** для отображения названий OPC-тегов будут использоваться два последних элемента из строки пути. Например, при подключении к **Симулятору** (Приложение 6), поставляемому в комплекте с CAP-эксперт, из пути /Root/Objects/LoopSimulator/PIC001/PV в легенде тренда будет отображаться PIC001.PV.

Работа с программой САР-эксперт

Сценарий использования программы АВАДС САР-эксперт

Настройка регуляторов включает несколько этапов: подготовка, выделение фрагмента данных, идентификация объекта регулирования, расчет параметров и подготовка отчетов.

Выполнить подготовку программы. Сначала выполняется поиск фрагмента данных, содержащий переходный процесс, на основе которого будет проводиться идентификация. В результате идентификации строится упрощенная модель объекта и выполняется поиск ее параметров. После этого рассчитываются и корректируются с помощью моделирования оптимальные настройки регулятора, обеспечивающие требуемое качество управления.

Процедура включает несколько этапов:

- Подготовка программы.
- Поиск и выделение переходного процесса для идентификации.
- Идентификация.
- Расчёт настроек и моделирование.
- Сохранение результатов расчёта.

Ниже подробно рассмотрены основные шаги настройки регулятора в АВАДС САР-эксперт.

Подготовка программы

Запустить программу АВАДС САР-эксперт. Проверить наличие подключения к источнику данных. Выбрать необходимый контур регулирования. Убедиться, что программа подключена к АСУ ТП. Запустить опрос входных данных. В режиме онлайн наблюдать значения переменных контура (PV, SP, CO).

Архивирование данных и выделение из них фрагментов

Идентификация объекта проводится по переходному процессу, возникшему в системе регулирования, который необходимо найти или инициировать. Существует несколько способов поиска такого процесса или фрагмента, на котором наблюдается переходной процесс. Переходный процесс возникает в ответ на возмущение в системе регулирования. Возмущения возникают в результате воздействий, которые могут быть естественными (возникшими в результате штатной эксплуатации системы регулирования: изменение нагрузки, действия оператора по корректировке технологического процесса) или искусственными (преднамеренными).

Естественные возмущения можно найти в архиве или дождаться их появления. Это не всегда возможно, т.к. некоторые процессы могут протекать монотонно, без явно выраженных отклонений. Для поиска в архиве необходимо открыть тренд технологических переменных, просмотреть исторические данные и выделить участки с изменениями, соответствующими требованиям к переходным процессам (Приложение 1).

Если процессы, возникшие в результате естественных возмущений, не отвечают требованиям к исходным переходным процессам (Приложение 1), выполняется проведение активного эксперимента, в котором нужно преднамеренно нанести возмущение с целью получения переходного процесса.

Пользователь выбирает способ нанесения возмущения для получения одного из переходных процессов (Приложение 1) и создает условия для его реализации в системе управления за

пределами программы САР-эксперт. Например, посредством ступенчатого изменения уставки (SP), после чего полученное возмущение должно отразиться на технологических трендах в программе САР-эксперт. Поскольку значения переменных записываются непрерывно, данные с переходным процессом сохраняются в архиве, откуда их можно извлечь и выделить фрагмент переходного процесса.

Фрагмент должен начинаться с установившихся значений PV, CO и заканчиваться – также установившимися значениями PV и CO. Здесь необходимо определить **термины Начального и Конечного установившихся значений** переменной.

Установившиеся значения переходного процесса – это конкретные значения регулируемой переменной, которые свидетельствуют о достижении стабильного состояния системы до начала и после завершения переходного процесса.

Начальное установившееся значение определяется следующим образом:

- Это значение переменной, наблюдаемое до внесения возмущения, когда система находится в состоянии равновесия.
- Стабильность подтверждается, если в течение, например, 10 секунд изменение величины переменной не превышает установленного порога (например, $\pm 2\%$ от среднего значения).

Конечное установившееся значение определяется так:

- Это значение переменной, которое система достигает после завершения переходного процесса, и оно характеризует новый режим работы.
- Считается, что значение установилось, если в течение аналогичного периода (например, 10 секунд) колебания остаются в пределах $\pm 2\%$ от среднего конечного значения.

Необходимо уточнить, что обозначенные выше параметры (время установки значения и пределы колебаний) приведены для примера и могут отличаться в каждом конкретном случае. Указанные 10 секунд в примере зависят от динамики процесса: для более длительных процессов это значение будет значительно больше.

Такие критерии позволяют объективно зафиксировать моменты, когда система переходит из одного устойчивого состояния в другое, что важно для корректной идентификации объекта и последующего расчёта настроек регулятора.

Идентификация

Идентификация объекта заключается в определении его типа, модели и параметров. Предполагается, что поведение объекта можно описать упрощённой феноменологической моделью, которая отражает основные характеристики реального объекта, достаточные для расчёта параметров регулятора.

Программа **САР-эксперт** автоматически определяет тип объекта, выбирает формулу модели и рассчитывает ее параметры. При необходимости пользователь может изменить эти параметры, чтобы добиться максимального, насколько это возможно, соответствия поведения модели реальному процессу.

Расчет настроек и моделирование

Моделирование позволяет оценить, как изменится поведение системы регулирования при изменении параметров или внешних условий.

Основная цель — получить ответ на вопрос «Что будет, если?» Например:

- изменить коэффициент усиления;

- изменить задание;
- изменить нагрузку;
- добавить шум;
- изменить параметры модели объекта;
- изменить настройки регулятора;
- и многие другие вопросы.

Моделирование помогает заранее спрогнозировать реакцию системы, подобрать оптимальные настройки регулятора и получить ответы на указанные выше вопросы, экспериментируя не на реальном объекте, а на модели объекта в программе.

Архивы

Программа САР-эксперт содержит три архива:

- данных;
- результатов расчетов;
- установленных настроек.

Архив данных хранит текущие значения технологических переменных (PV, SP, CO и дополнительных переменных при их наличии). Он реализован на базе отечественного программного продукта **АВАДС Сервер Архивирования** от компании **АВАДС СОФТ (avads.ru)**, встроенного в программу. Дополнительная установка, настройка и лицензирование Сервера Архивирования не требуются.

Все изменения переменных контура, отображаемые на закладке **Тренды** в **Основном окне**, записываются в архив данных в режиме реального времени. Эта закладка представляет собой графическое отображение архива технологических переменных.

Отчеты

Отчеты предназначены для анализа и документирования результатов расчета настроек регулятора и статистической обработки переходных процессов. **Отчет по расчету** фиксирует параметры модели объекта, характеристики контура и настройки регулятора, что позволяет сравнивать различные методы настройки и их влияние на динамику системы. **Отчет по статистике** помогает оценить и сравнить параметры нескольких переходных процессов, выявить тенденции и обоснованно выбрать оптимальные настройки. Оба отчета можно сохранить или распечатать для дальнейшего использования.

Расчет статистики

Статистический анализ предназначен для оценки характеристик работы системы за выбранный период. Он позволяет вычислить такие показатели, как среднее значение регулируемой переменной, среднеквадратическое отклонение, интегрированная абсолютная ошибка, суммарный ход клапана и количество реверсов. Эти данные помогают определить стабильность системы и качество работы регулятора.

Сравнительный статистический анализ используется для оценки изменений в системе до и после настройки регулятора. Он позволяет сопоставить ключевые параметры двух участков и оценить эффективность внесенных изменений.

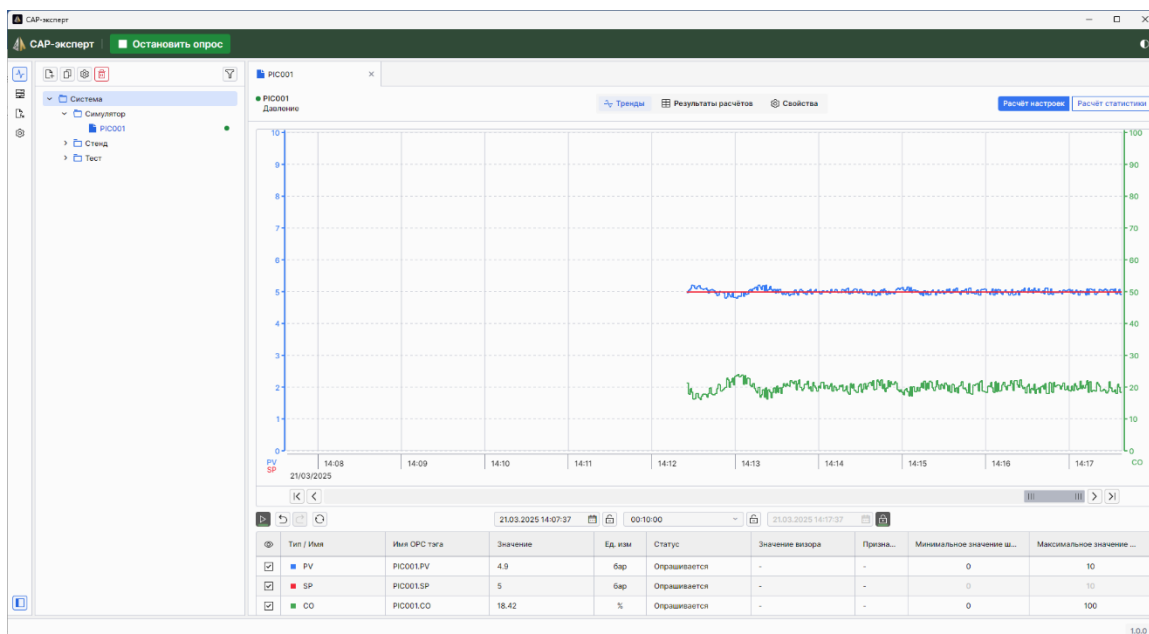
Работа в интерфейсе

Подключение и подготовка

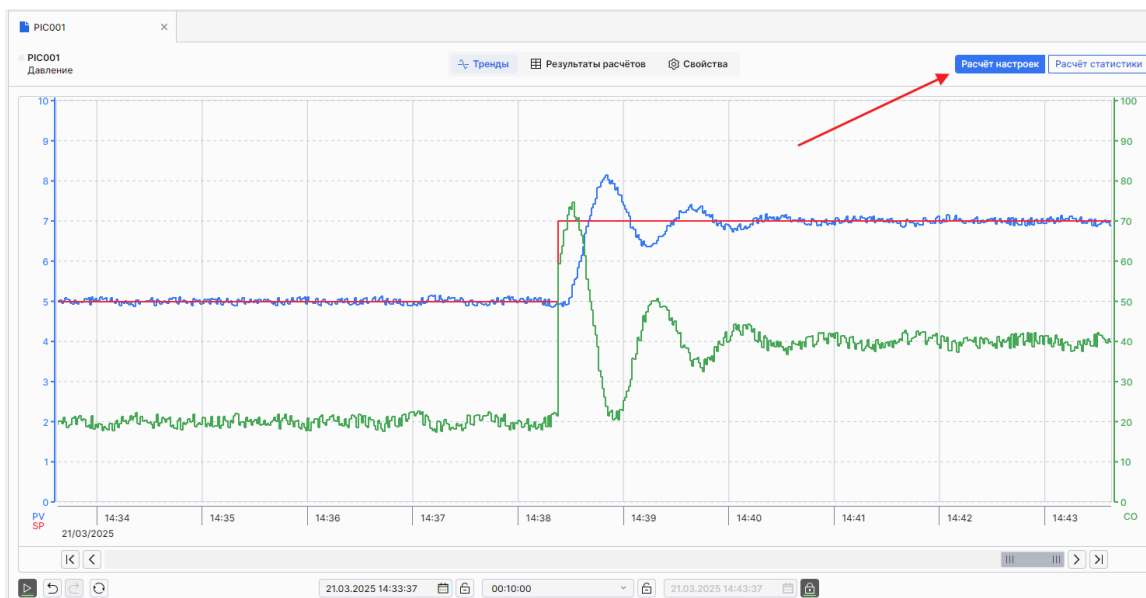
Программа **САР-эксперт** запускается через ярлык в меню **Пуск** или на **Рабочем столе**. Если ранее не выполнялась начальная настройка, необходимо следовать инструкциям главы **Настройка программы САР-эксперт**.

Архивирование данных и выделение из них фрагментов

1. В **Панели навигации** выбрать контур, например, PIC001.
2. В левом верхнем углу нажать кнопку **Запустить опрос**. На тренде должны отображаться значения технологических переменных (PV, SP, CO) с обновлением в реальном времени.



3. Дождаться либо преднамеренно нанести один из видов возмущения, описанных ранее, на примере ступенчатого изменения задания SP регулятора.
4. Все изменения переменных контура, отображаемые в **Основном окне** на закладке **Тренды**, записываются в архив в режиме реального времени. Указанная закладка представляет собой графическое отображение содержимого архива технологических переменных.
5. Подождать пока переходный процесс полностью отобразится на тренде в соответствии с определениями, приведенными выше.
6. Нажать кнопку **Расчет настроек** в правом верхнем углу.



Выделение переходного процесса

Откроется окно для выделения фрагмента переходного процесса. В него автоматически загружается видимая часть тренда на момент инициирования расчёта.

Способы выделения фрагмента:

- Первая иконка в левом верхнем углу – выделяет всю видимую область. К этому же результату приводит комбинация клавиш Ctrl + A.
- Вторая иконка – помещает выделенную область в центре, далее её нужно позиционировать мышью.
- **Shift + ЛКМ** – ручное выделение протягиванием по графику.

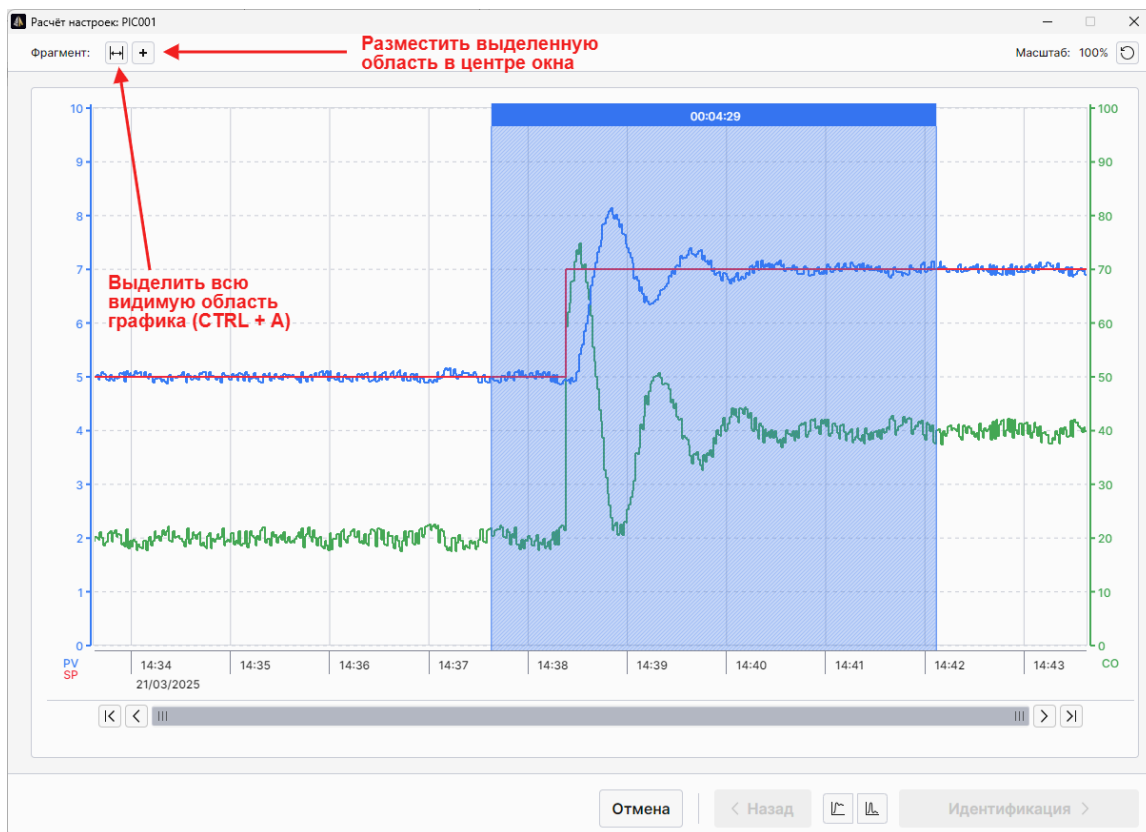
При наличии фрагмента его нельзя удалить, но можно заменить, нарисовав новый – старый фрагмент исчезнет.

Редактирование фрагмента:

- Изменение границ: потянуть левую/правую границу фрагмента.
- Перемещение: захватить заголовок фрагмента и переместить его.

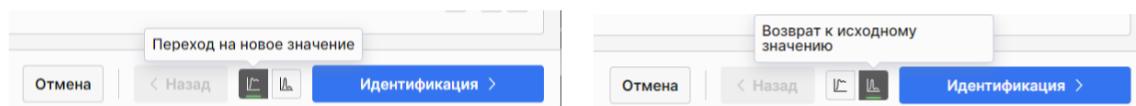
Фрагмент должен содержать **один** переходный процесс:

- Он должен начинаться и заканчиваться в установившемся состоянии.
- Запас данных перед началом обязателен.
- Запас данных после завершения обязателен только для объектов с самовыравниванием.



В нижней части окна выбирается тип переходного процесса:

- Переход на новое значение.
- Возврат к исходному значению.



После выбора становится доступна кнопка **Идентификация**.

Идентификация объекта

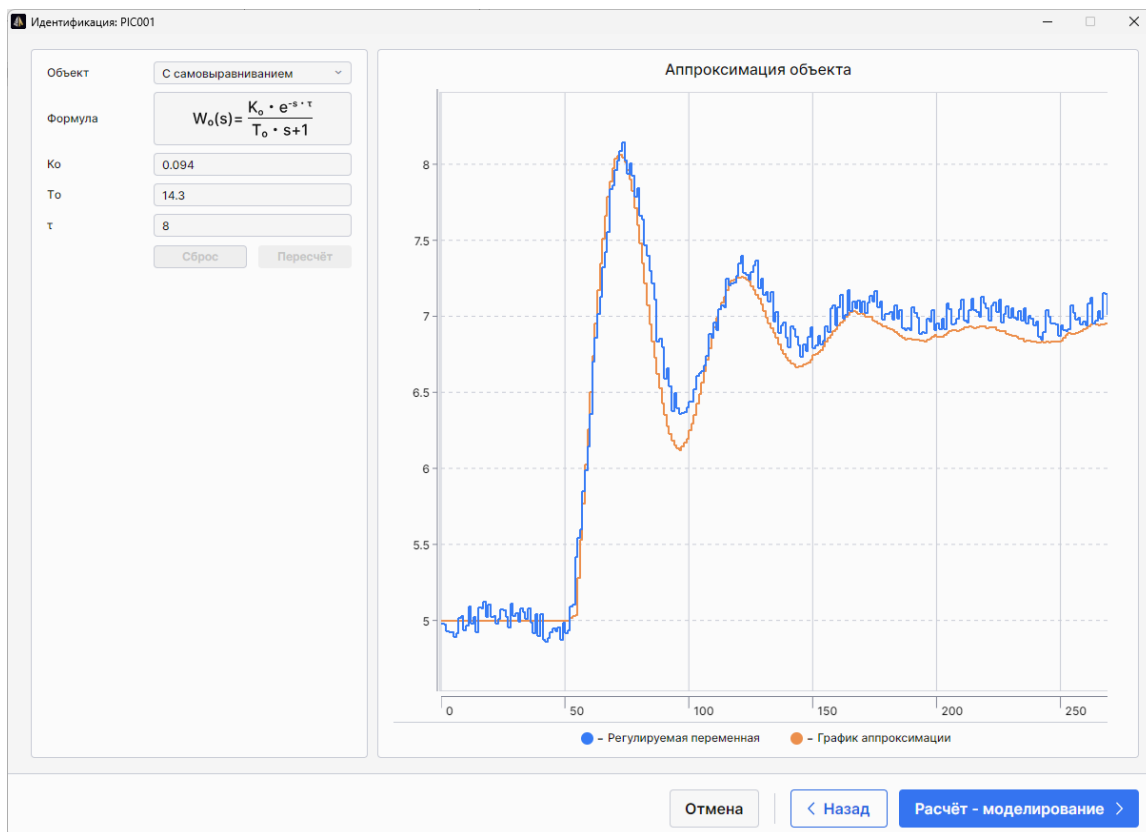
При нажатии **Идентификация** открывается окно, на котором отображается модель объекта, параметры модели объекта, а также графики реального процесса (синий) в сравнении с выходом модели объекта (оранжевый).

Программа сама подбирает параметры модели объекта. Пользователю предоставляется возможность их скорректировать в случае необходимости (или сомнения), чтобы оранжевый график соответствовал синему насколько это возможно, то есть добиться наилучшей аппроксимации поведения реального процесса. Здесь можно вручную корректировать параметры модели и видеть изменения на графике.

Дополнительные функции:

- **Пересчет** – обновляет график аппроксимации после изменения параметров.
- **Сброс** – возвращает параметры, рассчитанные при идентификации.

Кнопка **Назад** – вернуться на предыдущий экран. Кнопка **Отмена** – отменяет всю процедуру расчёта и закрывает окно.



После подтверждения параметров нажимается кнопка **Расчет – моделирование**, переходя к следующему этапу.

Расчет настроек и моделирование

На этом этапе для найденной модели объекта рассчитываются настройки регулятора.

Расчёт настроек регулятора выполняется быстро и не отображается визуально. Расчёт настроек производится поиском по критерию минимального времени регулирования (Приложение 4). Его результаты, называемые **Базовыми настройками** (K_p , T_i , T_d – приведенная мнемоника служит примером и зависит от указанной в формуле регулятора), выделяются в интерфейсе синим цветом. Рядом с ними отображаются **Экспертные настройки** – параметры, введенные пользователем. Они отображаются чёрным цветом и при первом открытии окна **Моделирование** совпадают с базовыми.

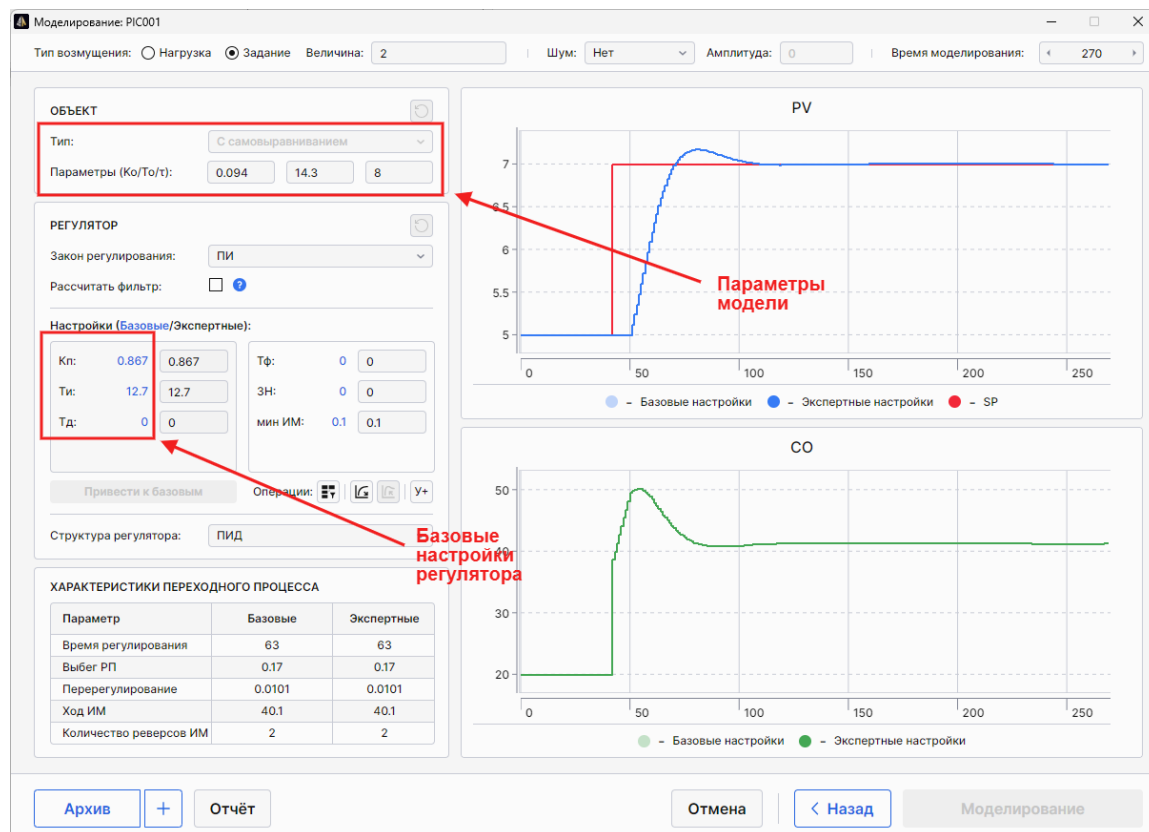
Результаты моделирования отображаются в окне на графиках справа. На верхнем графике показаны PV и SP, на нижнем – CO.

Дополнительно в окне отображаются:

- тип возмущения (нагрузка или задание) и его величина;
- шум (нет, реальный или сгенерированный) и его амплитуда;
- время моделирования;
- тип и параметры модели объекта;
- закон регулирования, для которого рассчитаны базовые настройки;
- флаг **Рассчитать фильтр**;
- базовые и экспертные настройки: постоянная времени фильтра, зона нечувствительности, минимальное перемещение исполнительного механизма (ИМ);
- операции по ослаблению или усилению регулятора;
- структура регулятора;

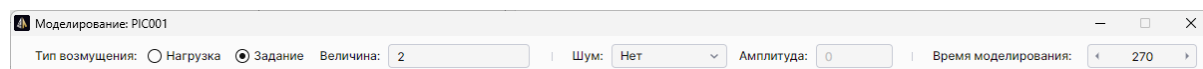
- характеристики переходного процесса.

Моделирование позволяет экспериментировать с настройками регулятора и оценивать реакцию системы без выполнения физического эксперимента.



Далее приведены пояснения к каждой настройке или группе настроек. Порядок изменения перечисленных настроек не имеет значения.

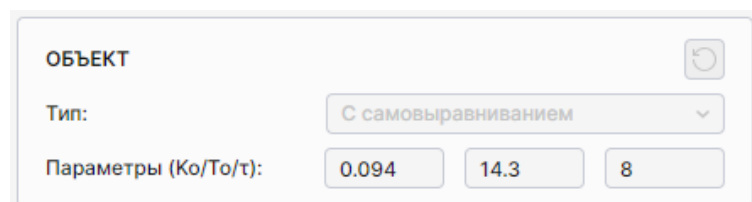
На верхней панели задаются условия моделирования.




Переключение типа возмущения (**Нагрузка**, **Задание**) осуществляется радиокнопками, при каждом переключении генерируется новый процесс. В поле рядом задается величина возмущения, которая запоминается отдельно для каждого типа и при открытии окна рассчитывается программно по исходному переходному процессу, далее пользователь может ее изменить.

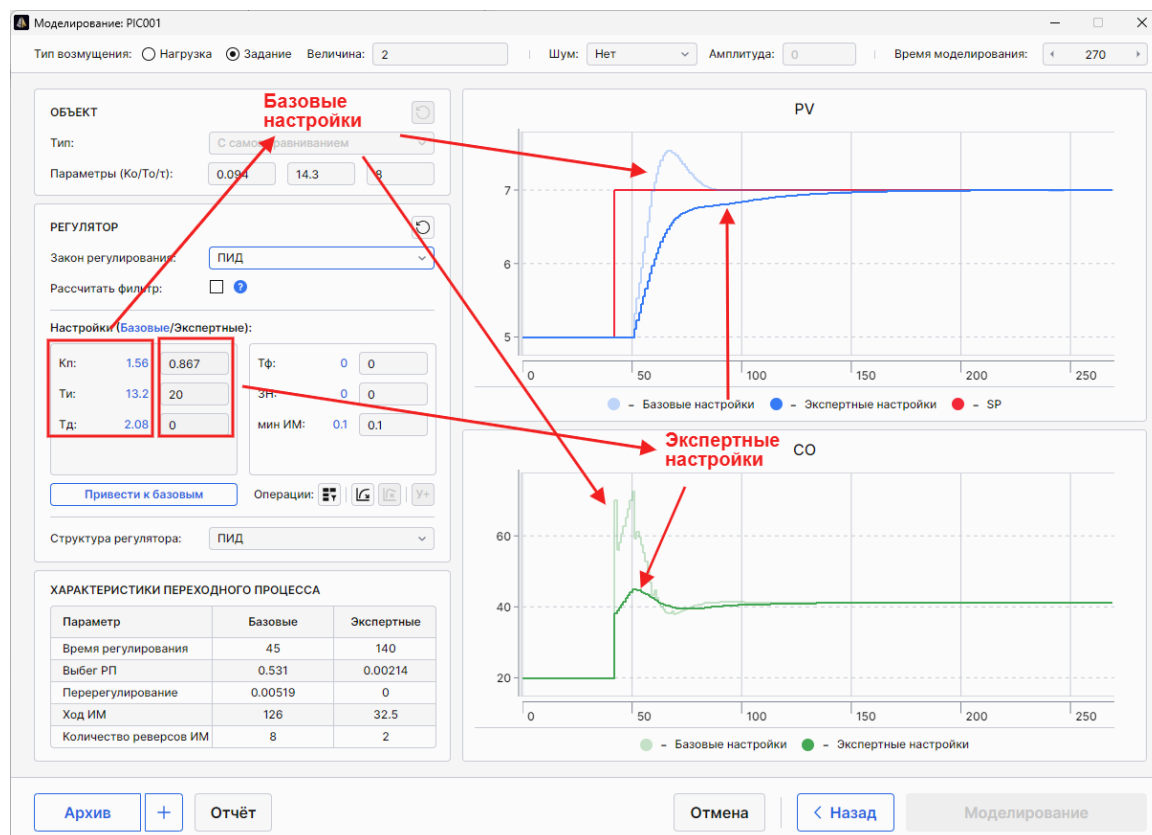
Тип шума выбирается из меню (**Нет**, **Реальный**, **Сгенерированный**), по умолчанию – **Нет**. Поле **Амплитуда** активно только при выборе типа **Сгенерированный**. Время моделирования по умолчанию соответствует выделенному участку, но может изменяться пользователем.

В панели **Объект** отображаются параметры модели, полученные при идентификации. Их можно изменить вручную или выбрать из архива. Кнопка **Возврат** восстанавливает исходные параметры, если они изменялись.

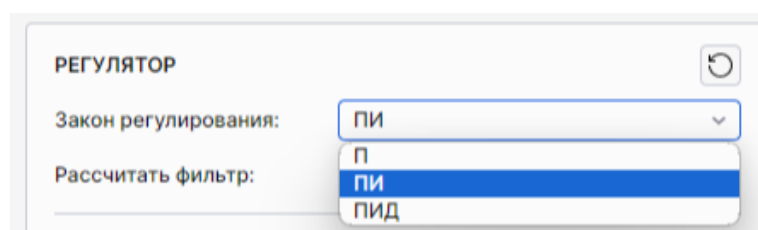


При редактировании экспертных настроек в панели **Регулятор** на графиках появляются дополнительные тренды PV и CO, что позволяет сравнивать работу двух регуляторов с одной и той же моделью объекта: регулятор с базовыми настройками (отображается бледным цветом) и регулятор с экспертными настройками (отображается ярким цветом).

Кнопка **Привести к базовым** приводит экспертные настройки к базовым, даже если последние были изменены (например, вследствие изменения закона регулирования). Кнопка **Вернуть**  возвращает все настройки к исходному состоянию.



Закон регулирования по умолчанию – ПИ, его можно изменить на ПИД или П.



Ниже расположен флаг **Рассчитать фильтр**, при установке которого рассчитывается фильтр и настройки регулятора с учётом этого фильтра (по умолчанию флаг снят).

Далее расположены базовые и экспертные настройки, параметры фильтра и ИМ.

Базовые настройки остаются неизменными до закрытия окна, либо до изменения закона регулирования. Это настройки Кп, Ти и Тд (+ иногда Тфд) – мнемоника и состав коэффициентов задаётся в **Редакторе формул**.

Экспертные значения настроек могут быть изменены пользователем, взяты из архива настроек, или изменены посредством одного из действий корректировки экспертных настроек:

- Пересчитать с учётом фильтра;
- Ослабить;

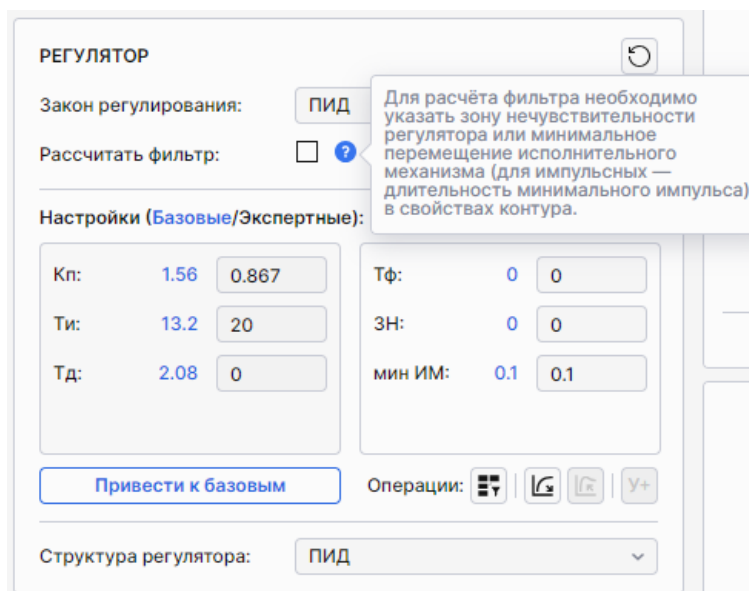
- Усилить;
- У+.

Ослабить – производится пересчёт экспертных настроек в сторону их ослабления относительно базовых. Ослабление можно производить несколько раз. Каждый раз ослабление производится относительно предыдущего ослабления. Если пользователь изменил значения настроек, затем нажал **Ослабить**, то пересчет новых ослабленных настроек производится относительно последних вычисленных программой, а не введенных пользователем. Пользовательские настройки при этом игнорируются и заменяются вычисленными.

Усилить – операция, обратная ослаблению. Усилить можно только те настройки, для которых ранее выполнялась действие **Ослабить**. Усиление можно производить несколько раз, но только до исходных (базовых) значений. Если пользователь на каком-то этапе ослабления или усиления изменил значения настроек вручную, то последовательность прерывается и кнопка **Усилить** становится недоступна до следующего начала процедуры ослабления.

У+ - флаг, при установке которого Д-часть рассчитывается исходя из критерия увеличения устойчивости. Флаг активен только если был выбран ПИ закон регулирования.

Пересчитать настройки с учётом фильтра – экспертные настройки регулятора пересчитываются с учётом значения постоянной времени фильтра, введенной пользователем в поле Тф.

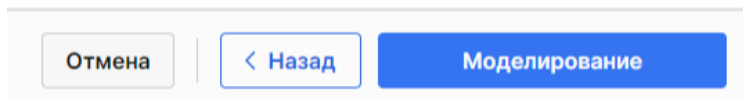


Структура регулятора принимает одно из трех значений: ПИД, ПИ-Д и И-ПД. Она должна соответствовать структуре фактического регулятора (Приложение 5).

На нижней панели отображаются **Характеристики переходного процесса** (время регулирования, выбег РП, перерегулирование, ход ИМ и количество реверсов ИМ), для сравнения базовых и экспертных настроек.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА		
Параметр	Базовые	Экспертные
Время регулирования	45	140
Выбег РП	0.531	0.00214
Перерегулирование	0.00519	0
Ход ИМ	126	32.5
Количество реверсов ИМ	8	2

При любых изменениях параметров модели объекта и/или регулятора становится активной кнопка Моделирование.



По кнопке **Моделирование** происходит пересчет переходного процесса, с учетом измененных пользователем полей.

Пересчет также производится:

- при нажатии клавиши Enter;
- при любом из действий корректировки рассчитанных настроек (**Ослабить**, **Усилить**, **У+** и др);
- при переключении типа возмущения (**Нагрузка / Задание**);
- при изменении источника шума на **Реальный** или **Нет**;
- при подстановке параметров объекта или настроек регулятора из архива расчетов.

По нажатию кнопки **Плюс** открывается окно с полем для ввода комментария и кнопками **Добавить** и **Отмена**. **Отмена** закрывает окно без сохранения, **Добавить** – сохраняет результаты расчета в архив.

Если закрыть окно моделирования без сохранения, результаты будут утеряны.

The screenshot shows the 'Моделирование: PIC001' window. It includes a control panel on the left with settings for the object and controller, and a graph on the right showing the transition process. A dialog box titled 'Добавить в архив?' is open, asking if the user wants to save the current calculation to the archive. The dialog box has a text input field containing 'Эксперимент 1' and two buttons: 'Отмена' and 'Добавить'. Red arrows point from the 'Архив +' button in the bottom left of the main window to the dialog box, and from the 'Добавить' button in the dialog box to the 'Добавить' button in the bottom right of the main window.

Архивы

Архив данных содержит текущие значения технологических переменных (PV, SP, CO и дополнительных переменных при их наличии).

Все изменения переменных контура, отображаемые на закладке **Тренды** в основном окне, записываются в архив данных в режиме реального времени. Эта закладка представляет графическое отображение архива технологических переменных.

В верхней части основного окна расположены графики технологических переменных, в нижней – их легенды. Доступен стандартный функционал: выбор временного диапазона, скрытие и отображение графиков, их перемещение влево и вправо, изменение масштаба времени колесиком мыши.

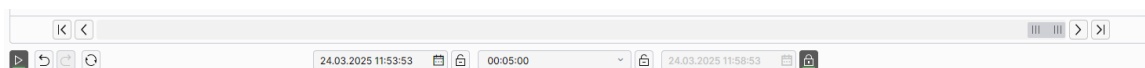
При прокрутке колесика мыши вперед или назад, когда курсор находится над графиками, временная ось растягивается или сжимается.

Под графиками расположена горизонтальная полоса прокрутки. Ползунок прокрутки позволяет перемещать временную ось, отображая разные участки графиков. Его размер можно изменять вручную:

- перемещение левой границы ползунка влево сжимает графики по времени, вправо – растягивает;
- перемещение правой границы ползунка вправо сжимает графики, влево – растягивает.

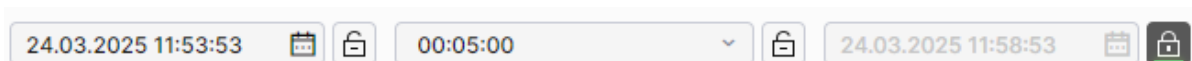
Под горизонтальной полосой прокрутки расположены кнопки **Автопрокрутка**, **Назад**, **Вперед** и **Обновить данные**. Рядом с ними находятся три элемента управления для позиционирования графиков по временной шкале.

- **Автопрокрутка** – при включении автоматически сдвигает графики по оси времени в соответствии с поступающими значениями технологических переменных. При выключенной автопрокрутке графики остаются неподвижными.
- **Назад / Вперед** – перемещают ползунок прокрутки соответственно влево или вправо.
- **Обновить данные** – повторно извлекает данные из архива и отображает их на графиках.



Элементы позиционирования графиков по временной шкале позволяют быстро находить нужный фрагмент и перемещать окно графиков по временной оси.

- **Начало периода** – выпадающий список с возможностью ручного ввода, задает начальную границу временного диапазона.
- **Интервал** – выпадающий список фиксированных интервалов (от 1 минуты до 24 часов), ручной ввод не поддерживается.
- **Конец периода** – аналогичен **Началу периода**, поддерживает выбор из списка и ручной ввод.



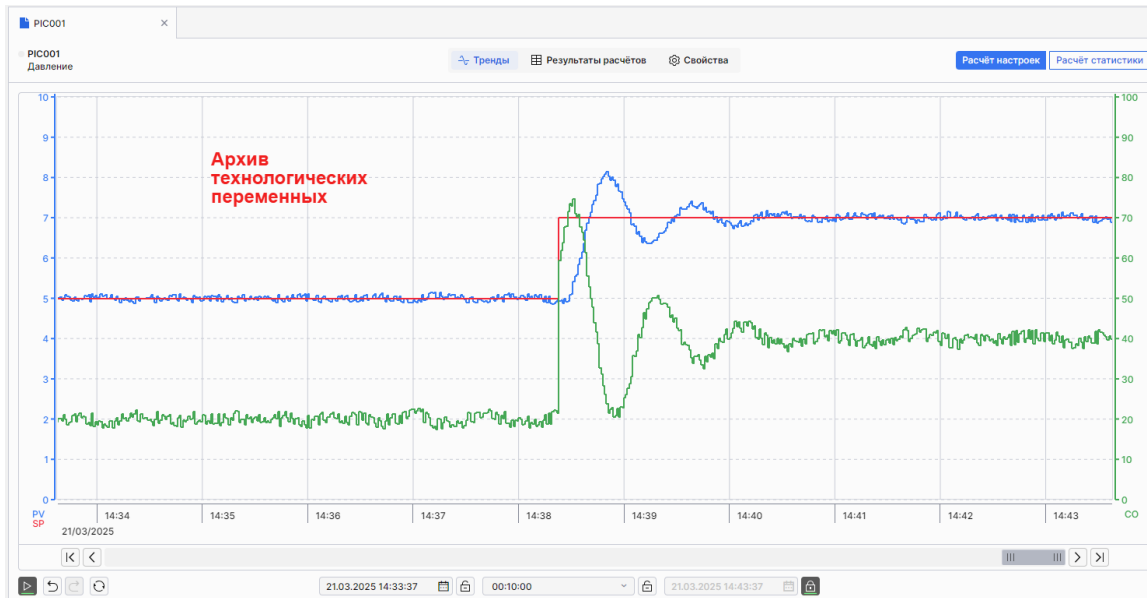
Команда **Переключить ввод левой/правой границы или интервала** управляет возможностью ручного ввода в поля начала, конца и продолжительности интервала диапазона.

Поведение замка

- Клик по значку **замка** переключает его состояние и делает связанное с ним поле доступным или недоступным для ручного ввода.
- При изменении состояния одного замка предыдущее изменённое поле также переключается в противоположное состояние.

Это позволяет быстро переключаться между ручным вводом и выбором фиксированных значений из списка.

В правом верхнем углу окна расположены кнопки **Расчет настроек** (см. подраздел выше) и **Расчет статистики** (см. подраздел ниже) для перехода к следующим этапам.



Архив результатов расчетов позволяет сохранять, просматривать и удалять ранее сохраненные расчеты настроек регулятора. Архив доступен на закладке **Результаты расчетов** или по кнопке **Архив** в окне **Моделирование**.

Дата	Кп	Ти	Тд	Тф	ЗН	Тип объекта	Ко	То	τ	Комментарий
21.03.2025 16:09:27	0.867	20	0	0	0	С самовыравниванием	0.094	14.3	8	Эксперимент 1
21.03.2025 16:10:50	0.867	18	0	0	0	С самовыравниванием	0.094	14.3	8	Эксперимент 2
21.03.2025 16:12:05	0.523	13.4	0	0	0	С самовыравниванием	0.094	14.3	8	Эксперимент 3
21.03.2025 16:12:46	0.523	10	0	0	0	С самовыравниванием	0.094	14.3	8	Эксперимент 4

Значение										
Наиболее слабое	0.523	20	0	0	0	Минимальное	0.094	14.3	8	
Наиболее сильное	0.867	10	0	0	0	Максимальное	0.094	14.3	8	
Среднее	0.695	15.35	0	0	0	Среднее	0.094	14.3	8	
Медианное	0.695	15.7	0	0	0	Медианное	0.094	14.3	8	

Настройки	Установленные	Экспертные
Кп:	-	0.523
Ти:	-	10
Тд:	-	0
Тф:	-	0
ЗН:	-	0

Верхняя таблица содержит список сохраненных расчетов настроек регулятора. Для каждой записи отображаются экспертные настройки регулятора, тип и параметры модели объекта, а также комментарий к расчету.

Средняя таблица показывает статистические параметры, вычисленные на основе всех сохраненных записей: максимальные и минимальные значения для объекта, наиболее сильные и наиболее слабые значения для регулятора, а также средние и медианные значения для объекта и регулятора.

Нижняя часть окна содержит графики PV, SP, CO, содержащие выделенный фрагмент с переходным процессом, на основании которого был произведён расчет настроек, соответствующий выбранной записи в верхней таблице.

Кнопка **Новый расчет настроек** открывает окно **Расчет настроек** с выделенным фрагментом, по которому производился расчет. Фрагмент можно изменить или оставить без изменений и выполнить новый расчет.

При нажатии кнопки **Архив** в окне **Моделирование** открывается **Архив расчетов**, содержащий аналогичную информацию о ранее рассчитанных настройках.

С помощью кнопок **Регулятор** и **Объект** можно загрузить сохраненные ранее значения в экспертные настройки регулятора или модель объекта для дальнейшего эксперимента.

Дополнительно в этом окне доступны функции удаления записей, сохранения настроек как установленных и формирования отчета (см. ниже).

Архив установленных настроек содержит значения, которые пользователь загрузил в физический регулятор. Эти параметры могут отличаться от рассчитанных настроек, т.е. архив выполняет роль записной книжки.

Настройки	Установленные	Экспертные
Кп:	0.523	0.523
Ти:	10	10
Тд:	0	0
Тф:	0	0
ЗН:	0	0

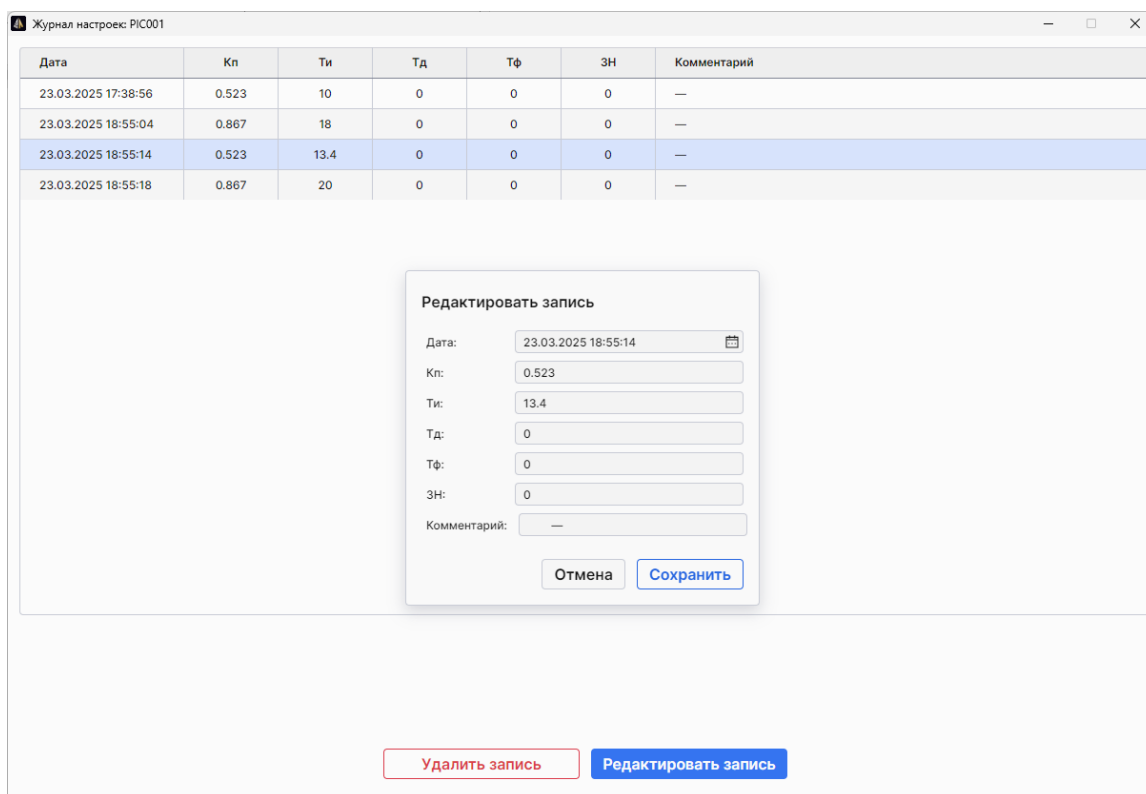
Установлены: 23.03.2025 17:38:56

Кнопка **Сохранить как установленные** переносит экспертные настройки в архив.

Кнопка **Открыть журнал** открывает окно с сохраненными записями.

Кнопка **Редактировать запись** позволяет изменить выбранную запись.

Кнопка **Удалить запись** позволяет удалить выбранную запись.



Отчеты

В программе доступны два вида отчетов.

Отчет по расчету отображает одну из записей **Архива результатов расчета** и включает:

- набор графиков (выделенный фрагмент, результат идентификации, результат моделирования),
- тип объекта, параметры модели,
- настройки регулятора (базовые и экспертные),
- характеристики переходного процесса и свойства контура.

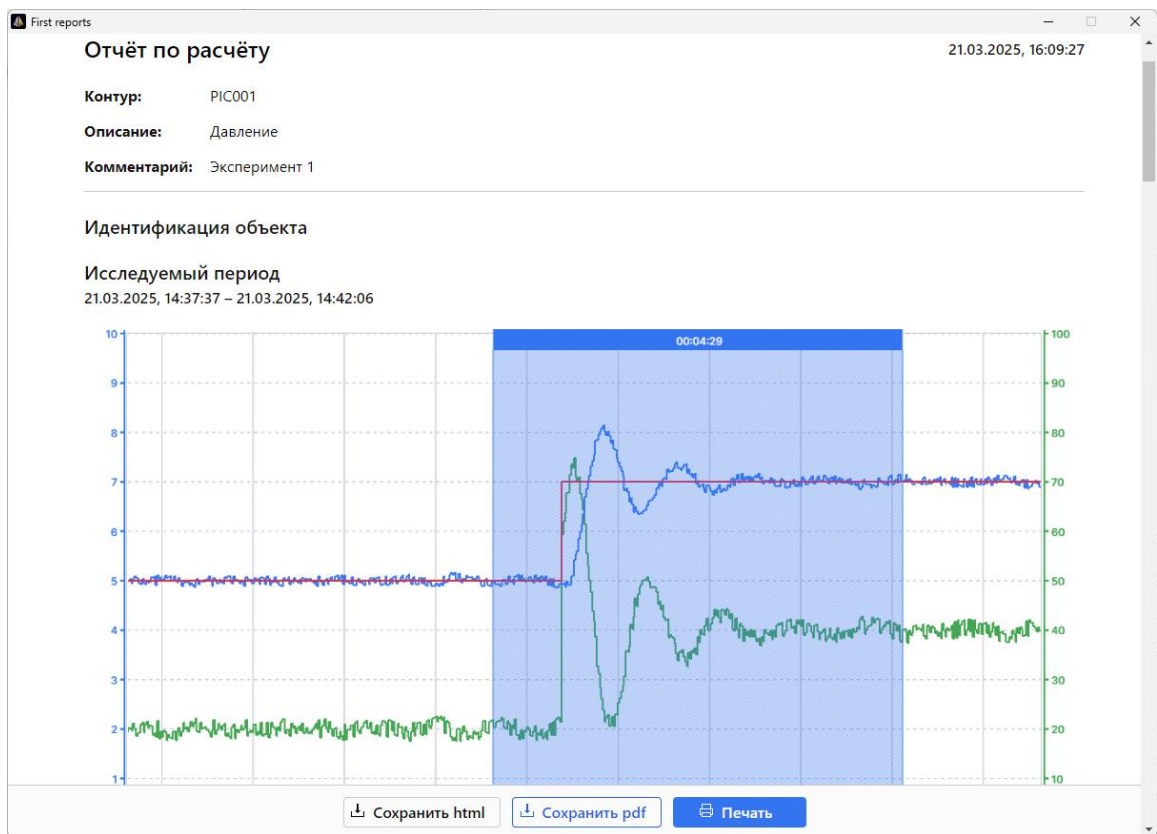
Отчет можно сохранить в **.html** или **.pdf** и распечатать.

Доступен в трех местах:

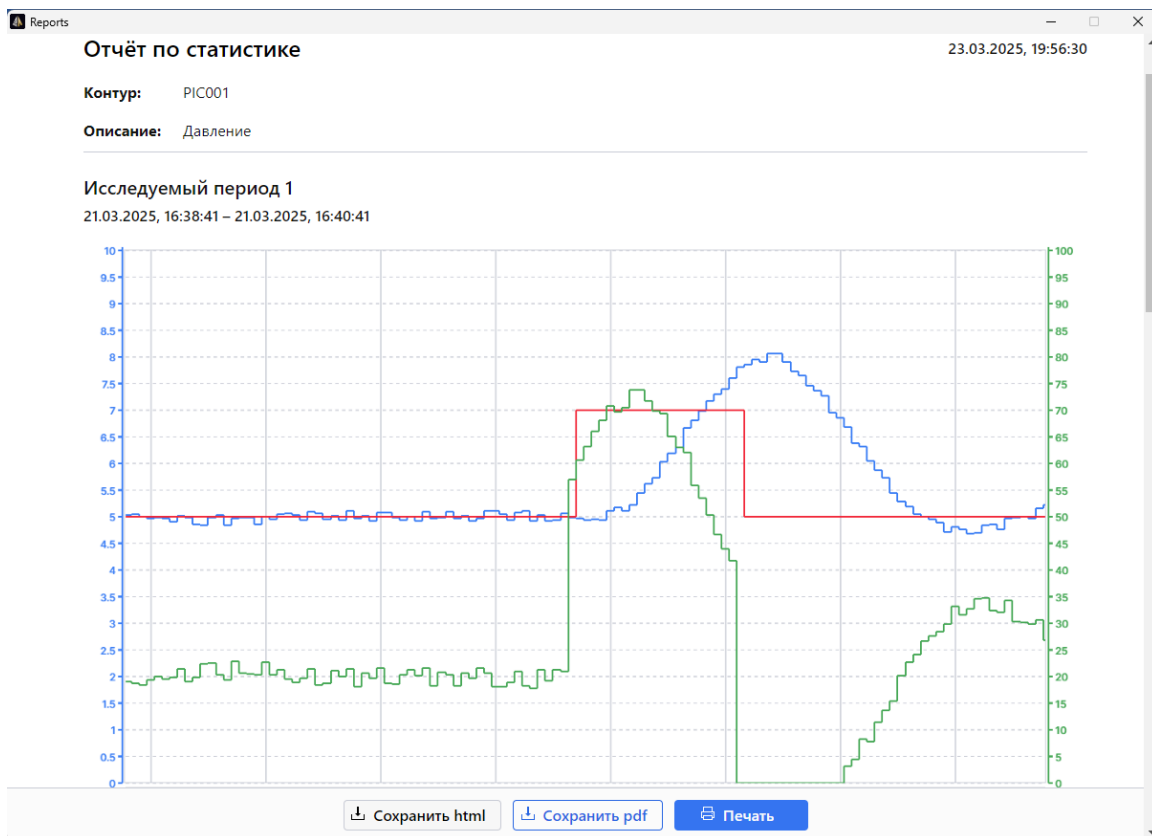
- на закладке **Результаты расчетов** (кнопка **Отчет**),
- в окне **Моделирование** (левый нижний угол),
- в окне **Архив расчетов** (внизу).

Формируется только по **сохраненным записям** в **Архиве расчетов**. Если с текущими параметрами моделирования запись в архив не сохранена, отобразится запрос с полем ввода комментария. При нажатии **Добавить** запись будет сохранена в архив, после чего сформируется отчет.

При печати отчет занимает четыре листа А4.



Отчет по статистике формируется в окне **Статистика** (кнопка **Отчет**) и содержит аналогичные показатели для одного или двух переходных периодов. Также сохраняется в **.html**, **.pdf** и может быть распечатан.



Расчет статистики

Статистический анализ запускается из основного окна нажатием кнопки **Статистика** и включает три шага:

- выделение участка,
- отображение результатов,
- сохранение отчета (при необходимости).

Выделение участка

Участок для анализа выделяется на тренде, как и при расчете настроек, но с отличиями:

- Выделение вызывается из окна наблюдения кнопкой **Статистика**.
- Можно выбрать один или два участка для сравнительного анализа.
- Важно видеть начало, конец и длительность выделенного периода.

Для выделения всей видимой части графика используется сочетание **Ctrl+A**.

После выбора участка и нажатия кнопки **Статистика** появляется окно с результатами анализа.

Отображение результатов

Окно статистического анализа содержит:

- гистограмму распределения регулируемой переменной,
- гистограмму распределения выхода регулятора,
- статистические оценки:
 - среднее значение PV,
 - среднемодульное отклонение,
 - интегрированная абсолютная ошибка,
 - среднеквадратичное отклонение,

- количество изменений задания,
- суммарный ход клапана,
- количество реверсов ИМ.

Формирование отчета

При нажатии **Отчет** открывается окно с кнопками **Сохранить .html**, **.pdf** и **Печать**.

- Сохранить – формирует отчет в выбранном формате с:
 - скриншотом выделенного фрагмента,
 - датой и временем начала/конца участка,
 - вычисленными статистическими параметрами,
 - скриншотами гистограмм,
 - настройками регулятора (включая изменения за период),
 - датой и временем создания отчета,
 - свойствами контура.
- Печать – вывод отчета на печать.

Сравнительный статистический анализ (раздел переработан)

Сравнительный статистический анализ применяется для оценки изменений в работе системы до и после настройки регулятора. Для этого сначала собираются статистические данные за определённый период до настройки, затем выполняется настройка, после чего сбор данных повторяется. Периоды должны быть достаточно длительными для объективного сравнения, например смена, сутки или неделя.

Для выделения интервалов, содержащих данные о работе контура до и после настройки, в окне **Выбор фрагмента** нажимается кнопка **Сравнительная** (размещена в левом верхнем углу напротив надписи **Статистика**). В появившемся окне отображаются два графика. Над верхним графиком (рядом с надписью **Фрагмент: 1**) нажимается кнопка **Плюс**, после чего выделенная область на обоих графиках обозначается бледно-голубым цветом. Аналогично над нижним графиком (рядом с **Фрагмент: 2**) нажимается **Плюс**, и выделенные фрагменты окрашиваются в красный цвет. При необходимости цвета можно изменить в **Настройках приложения** (подраздел **Внешний вид**).

Выделенные интервалы автоматически поддерживаются равными и могут изменяться по длительности или перемещаться по временной оси. **Фрагмент 1** должен охватывать работу контура до настройки, а **Фрагмент 2** – после настройки.



После выбора фрагментов нажимается кнопка **Статистика**, и в открывшемся окне отображаются гистограммы распределения технологических переменных, выхода регулятора, а также показатели системы до и после настройки. Полный перечень показателей приведён в нижней части окна.

Для формирования отчёта по результатам анализа нажимается кнопка **Отчет**, после чего создаётся документ со всеми рассчитанными параметрами (перечень параметров см. в разделе **Отчеты**).



Приложение 1. Требования к переходным процессам и их типы

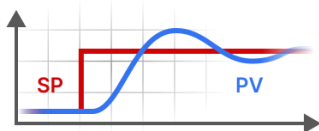
Требования к переходному процессу

1. Переходный процесс должен быть выраженным: отклонение регулируемой переменной должно явно выделяться на фоне обычных флуктуаций. Чем выше отклонение относительно технологического шума, тем достовернее результат идентификации. Минимально допустимое превышение — 2–3 раза, предпочтительное — 5–10 раз.
2. Переходный процесс должен отражать реакцию объекта на одно возмущение. Например, если было изменено задание регулятору и до завершения этого переходного процесса существенно изменилась нагрузка (т. е. произошло наложение двух переходных процессов), то такие процессы следует исключать их рассмотрения.
3. Если на объект постоянно действует несколько возмущающих факторов, то необходимо найти или преднамеренно создать возмущение, отклик объекта на которое будет превышать отклик на остальные.

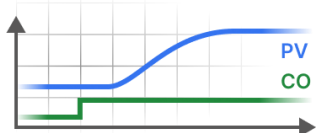
Типы переходных процессов

1. Переходные процессы с выходом регулируемой переменной на новое значение

- **Ступенчатое изменение задания**



- **Ступенчатое изменение управляющего воздействия (например, положения клапана) в разомкнутом контуре** — получение «кривой разгона».

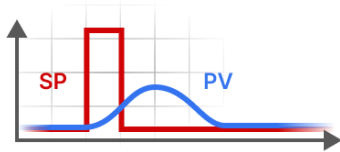


Эти процессы наиболее предпочтительны для идентификации, но требуют полного выхода на установившееся значение. Если это занимает слишком много времени или недопустимо технологически, допускается идентификация по отклику на импульсное возмущение.

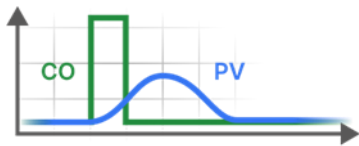
2. Переходные процессы с возвратом регулируемой переменной к исходному значению

К этой группе относятся:

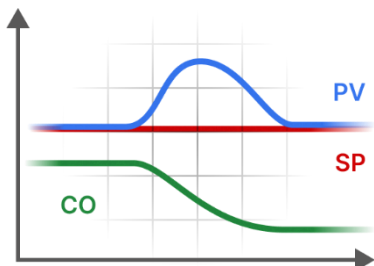
- **Импульсное изменение задания** – задание изменяется, но до выхода PV на новое значение возвращается обратно. Это позволяет использовать изменение значения SP на величину, превышающую допустимое отклонение PV.



- **Импульсное изменение управляющего воздействия** – аналогично предыдущему пункту, но изменение вносится не в задание, а непосредственно в управляющее воздействие.



- **Ступенчатое изменение нагрузки (при работающем регуляторе)** – в отличие от предыдущих случаев, возмущение вызывается внешним фактором (например, отключением потребителя). Так как оно не отображается напрямую в переменных контура, пользователь должен понимать его природу и гарантировать, что оно является ступенчатым. В противном случае процесс следует исключить.



Приложение 2. Два подхода к нормированию в реализации регуляторов

На практике применяются два способа реализации регулятора: с нормированием шкал переменных к диапазону входа и выхода регулятора и без нормирования.

Без нормирования

Регулятор получает значения переменной в физических единицах (например, в °С), а его выход также имеет физическую размерность (например, % положения исполнительного механизма).

Если в регуляторе установлен коэффициент пропорциональности $K_p=1$, то изменение регулируемой переменной на 1°С приведёт к изменению выхода регулятора на 1% хода исполнительного механизма, независимо от диапазонов входных и выходных значений. Коэффициент пропорциональности в этом случае имеет размерность [%ИМ/°С], а коэффициент усиления объекта – обратную размерность [°С/%ИМ]. Эти размерности приведены для примера и могут быть другими.

При такой реализации в свойствах контура флаг **Вычисления в нормированных величинах** не устанавливается.

С нормированием

Этот способ встречается чаще.

В этом случае шкала входной переменной приводится к диапазону выхода регулятора, который, например, принимается за 100%. Тогда все вычисления внутри регулятора выполняются в процентах, а коэффициент усиления становится безразмерным.

Допустим, диапазон регулируемой переменной составляет 0...200°С, а выходной диапазон — 0...100%. Если в регуляторе установлен коэффициент пропорциональности $K_p=1$, то изменение входного сигнала на 1°С (0,5% диапазона входа) приведёт к изменению выхода регулятора на 0,5%.

При такой реализации в свойствах контура необходимо установить флаг **Вычисления в нормированных величинах** и задать нормировочные шкалы.

Влияние нормирования на настройку регулятора

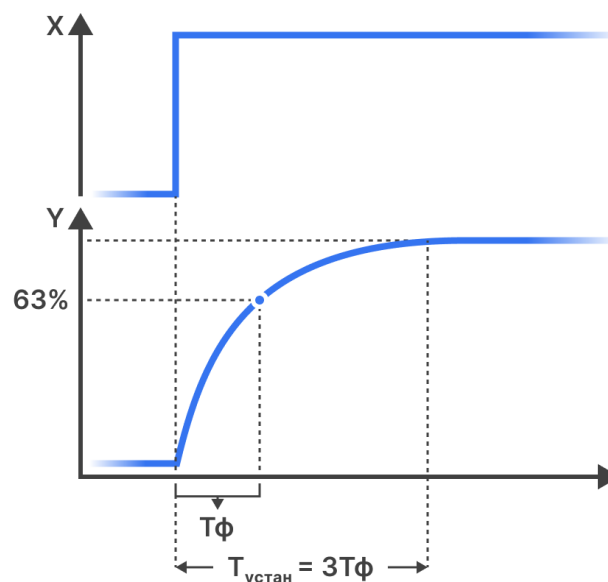
Нормирование влияет на коэффициенты ПИД-регулятора. Ошибки при задании шкал могут привести к неверному расчёту настроек и некорректной работе системы регулирования. Поэтому перед настройкой необходимо проверить, правильно ли указан факт нормирования в регуляторе и корректно ли заданы нормировочные шкалы.

Приложение 3. Разновидности формы представления коэффициента фильтра

Для подавления шума на входе регулятора обычно используется экспоненциальный фильтр – апериодическое звено первого порядка с передаточной функцией:

$$W_{\phi}(s) = \frac{1}{T_{\phi} * s + 1}$$

Настроечный параметр фильтра – постоянная времени T_{ϕ} . Она определяет, за какой интервал времени выходной сигнал Y достигает 63% от окончательного значения при ступенчатом изменении входного сигнала X . Время установления фильтра принято считать равным трём постоянным времени.



Постоянная времени T_{ϕ} измеряется в секундах.

Существует также реализация цифрового фильтра, где настроечным параметром является коэффициент фильтра K . В этом случае фильтр описывается конечно-разностным уравнением:

$$Y_i = K * X_i + (1 - K) * Y_{i-1} \text{ где:}$$

- X - вход фильтра,
- Y - выход фильтра,
- K - коэффициент фильтра,
- i - номер цикла опроса.

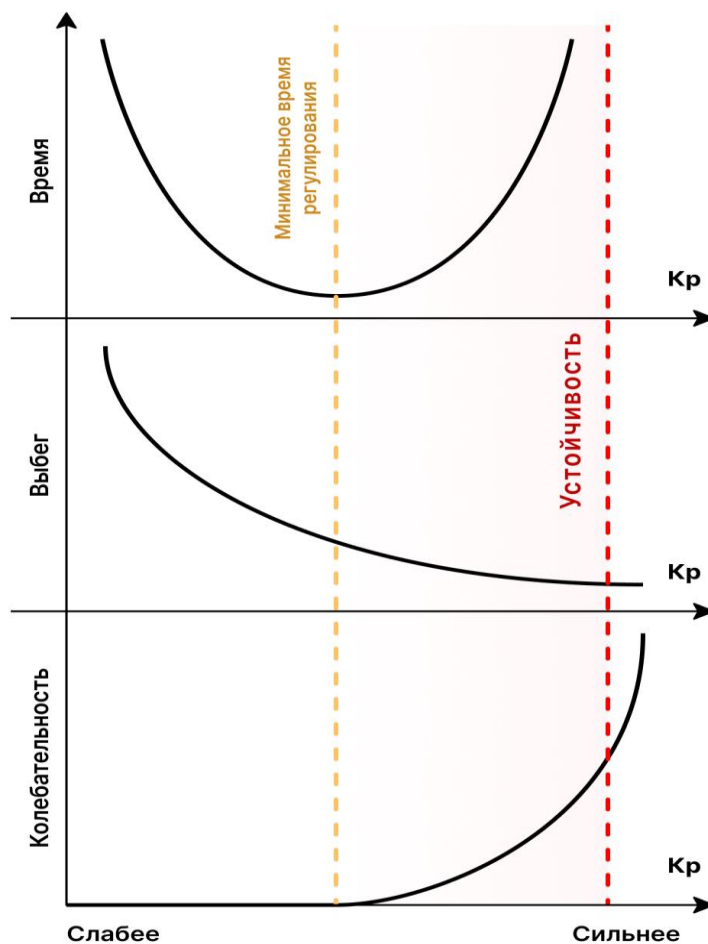
Коэффициент K не имеет размерности и не привязан ко времени. Он изменяется в диапазоне от 0 до 1:

- $K = 0$ — фильтр обладает максимальной инерционностью (бесконечно долгое сглаживание),
- $K = 1$ — фильтрация отсутствует (сигнал проходит без изменений).

Приложение 4. Критерий минимального времени регулирования

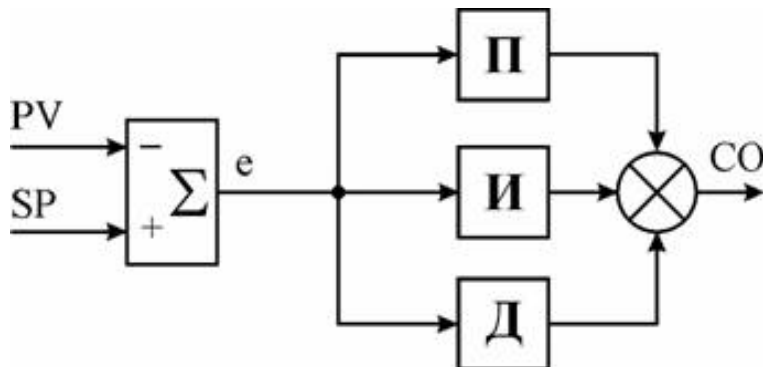
Критерий минимального времени регулирования пояснен на рисунке. На нем показаны графики колебательности, выбега (максимального отклонения) и времени регулирования. По горизонтальной оси отложены настройки регулятора: вправо — усиление, влево — ослабление.

Как видно из графиков, экстремум имеет только время регулирования. Настройка по этому критерию обеспечивает самый быстрый переход к новому установившемуся состоянию, отсутствие колебательности, близкий к минимальному выбег и хороший запас устойчивости.

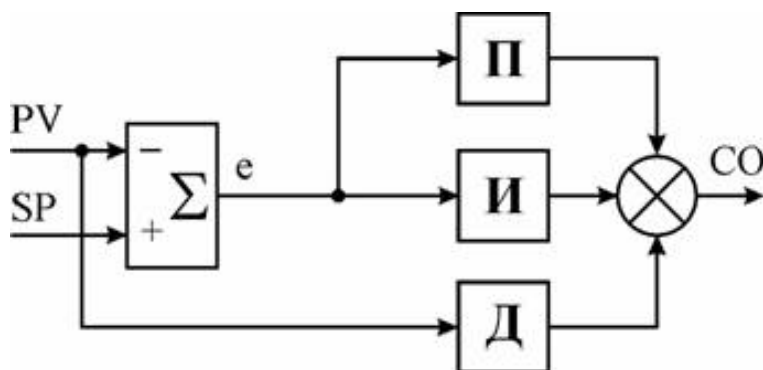


Приложение 5. Структуры регулятора

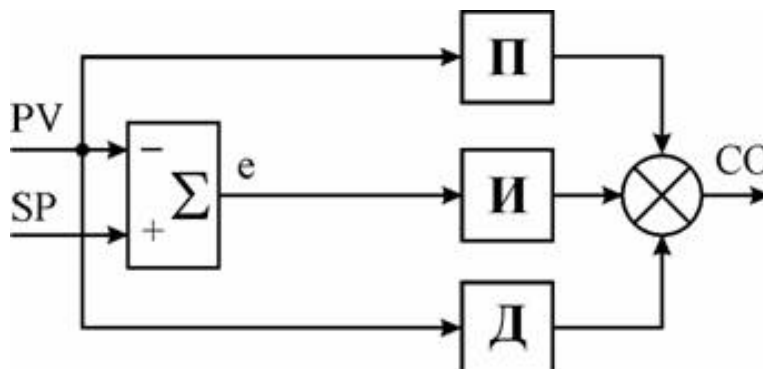
В регуляторах классической структуры ПИД на все части регулятора (пропорциональную, интегральную и дифференциальную) поступает сигнал рассогласования:



В регуляторах структуры ПИ-Д на пропорциональную и интегральную часть регулятора поступает сигнал рассогласования, а на дифференциальную часть – сигнал регулируемой переменной PV:



В регуляторах структуры И-ПД сигнал рассогласования поступает только на интегральную часть регулятора. На пропорциональную и дифференциальную части регулятора поступает сигнал регулируемой переменной PV:



Регуляторы структуры ПИ-Д и И-ПД входят в состав систем управления некоторых производителей и применяются с целью уменьшения скачка на выходе регулятора при смене задания. Различия в поведении регуляторов указанных структур проявляются только при смене задания. При отработке возмущений по нагрузке, что является основной задачей регулирования, регуляторы всех трёх структур ведут себя одинаково.

Приложение 6. Симулятор замкнутого контура

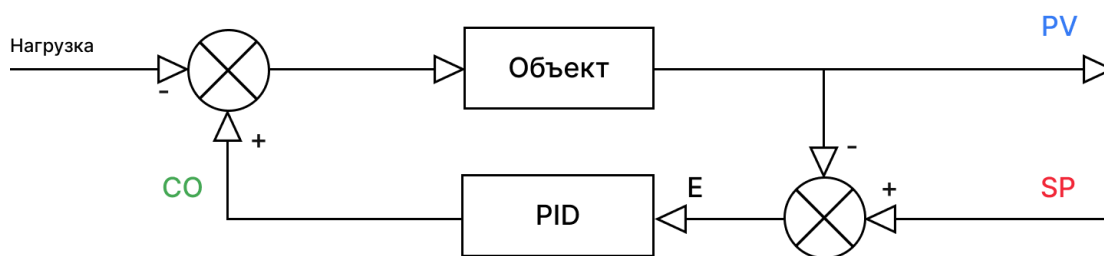
Симулятор предназначен для работы программы САР-эксперт в демонстрационном режиме (в этом режиме она может подключаться только к данному симулятору), а также для обучения и тренировки в настройке регуляторов.

Симулятор представляет собой программную модель системы автоматического регулирования (САР), включающую:

- ПИД-регулятор
- Программный имитатор клапана
- Программный имитатор объекта с самовыравниванием

Симулятор исполняется в системе реального времени с циклом 1 секунда.

Структурная схема САР:



Подключение по OPC UA

Симулятор включает встроенный OPC UA сервер, к которому можно подключаться внешним клиентом для получения данных в реальном времени.

Параметры подключения:

- Порт: 4840
- Тип подключения: анонимный
- Пароль: отсутствует
- Защита сообщений: отсутствует

Пример настройки подключения к симулятору в программе САР-эксперт:

Основные	
Имя конфигурации:	Симулятор
URL конечной точки:	opc.tcp:// 127.0.0.1:4840/
Настройки безопасности	
Режим защиты сообщений:	None
Политика безопасности:	None
Настройки аутентификации	
Тип подключения:	Анонимный
Имя пользователя:	Введите имя пользователя
Пароль:	Введите пароль
Проверить подключение	✔ Подключение доступно

Доступные переменные

- PV (Process Variable) – регулируемая переменная
- SP (Set Point) – задание регулятору
- CO (Controller Output) – управляющее воздействие

ПИД-регулятор

Регулятор реализует стандартный ПИД-закон регулирования в соответствии с передаточной функцией:

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right)$$

Режимы работы

- Автоматический – управляющее воздействие CO рассчитывается по ПИД-алгоритму.
- Ручной – пользователь самостоятельно задаёт CO, алгоритм не вычисляется.

Безударность перехода из ручного режима в автоматический обеспечивается за счёт статической балансировки по выходу. Ограничения на перемещение клапана (Нижн. огр. и Верхн. огр.) действуют только в автоматическом режиме. В ручном можно задавать любые значения от 0 до 100%.

Настроечные коэффициенты

- K_p – коэффициент пропорциональности
- T_i – постоянная времени интегрирования
- T_d – постоянная времени дифференцирования
- $3H$ – зона нечувствительности
- T_f – постоянная времени фильтра

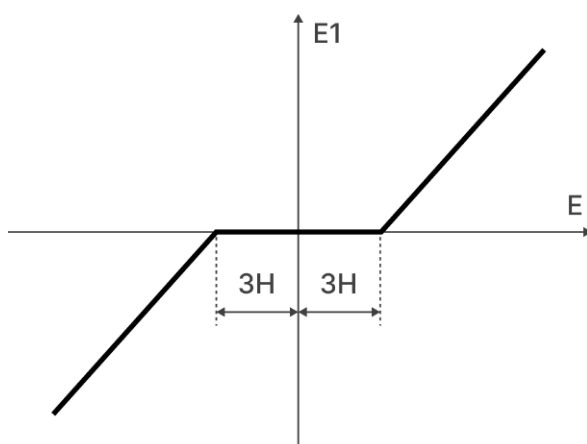
Зона нечувствительности

Зона нечувствительности преобразует рассогласование E в промежуточную переменную E_1 в соответствии с выражением:

Если $|E| < 3H$, то $E_1 = 0$;

иначе $E_1 = (|E| - 3H) * \text{sign}(E)$

График зависимости приведён ниже.



Фильтр

На входе регулятора регулируемая переменная PV проходит через экспоненциальный фильтр, являющийся апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией:

$$W_{\phi}(s) = \frac{1}{T_{\phi} * s + 1}$$

где

T_{ϕ} – постоянная времени фильтра (в секундах).

Шкалы

Регулятор выполняет вычисления в нормированных величинах (в процентах от шкалы).

Диапазон нормирования задаётся в параметрах Шкала датчика Мин. и Шкала датчика Макс.

Клапан

Программный имитатор клапана имеет следующие параметры:

- Гистерезис — моделирует люфт исполнительного механизма.
- Минимальное перемещение — имитирует нечувствительность позиционера (для электроприводов) или статическое трение (для пневмоприводов).
- Скорость — максимальная скорость перемещения за 1 секунду.

Скорость перемещения клапана рассчитывается из времени его полного хода по формуле:

$V_k = 100 / T_k$, где

V_k – скорость перемещения (%/с)

T_k – время полного хода клапана (с)

Диапазон перемещения клапана жёстко ограничен от 0 до 100% и не может быть изменён.

Объект

Модель объекта представлена апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием и имеет передаточную функцию:

$$W_o(s) = \frac{K_o * e^{-s*\tau}}{T_{o1} * s^2 + T_{o2} * s + 1}$$

Настраиваемые параметры:

- K_o – коэффициент усиления объекта
- T_{o1}, T_{o2} – постоянные времени 1 и 2
- τ – запаздывание

Нагрузка

Нагрузка определяется двумя параметрами:


- Величина — суммарное влияние внешних факторов.
- Смещение — сдвиг диапазона регулирования.

Вход объекта рассчитывается как:

Вход = CO – Нагрузка + Смещение

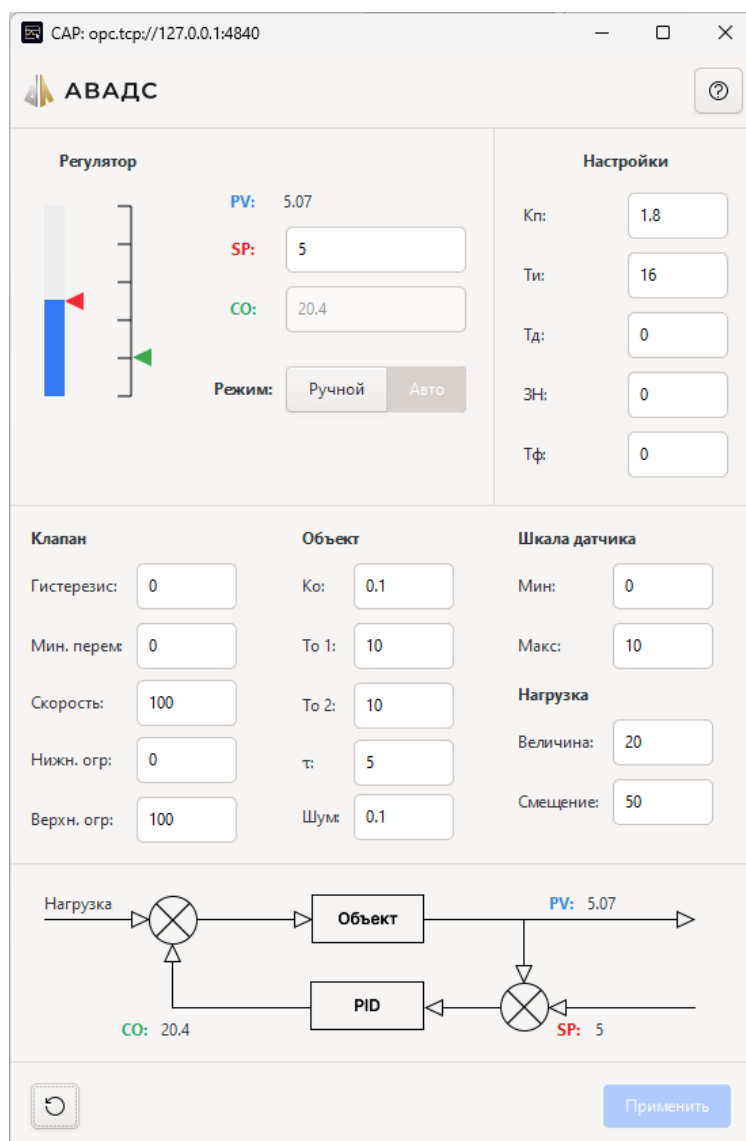
Общие принципы работы

Изменённые значения применяются после нажатия **Enter** или кнопки **Применить**. Это позволяет редактировать несколько параметров и сохранять их одновременно.

Все изменения сохраняются, и при следующем запуске симулятор продолжает работу с последними заданными значениями. Для возврата параметров к исходным значениям используется кнопка **Сброс** .

По кнопке  открывается это руководство.

Внешний вид симулятора отображен на рисунке.



Симулятор доступен как в составе программы CAP-эксперт, так и в виде отдельного приложения для соответствующей операционной системы.