



Объединенный Институт Ядерных Исследований,
Дубна, Россия



Система управления ускорительного комплекса NICA

Георгий Седых от коллектива НТОП

Telegram: <https://t.me/cedbix>
E-mail: egor@dubna.tk

Ускорительный комплекс NICA



nica.jinr.ru

Основные задачи системы управления

1. Взаимодействие с аппаратными средствами.
2. Взаимодействие с пользователем.
3. Реализация логики работы, присущей данной конкретной установке.

Дополнительные задачи системы управления

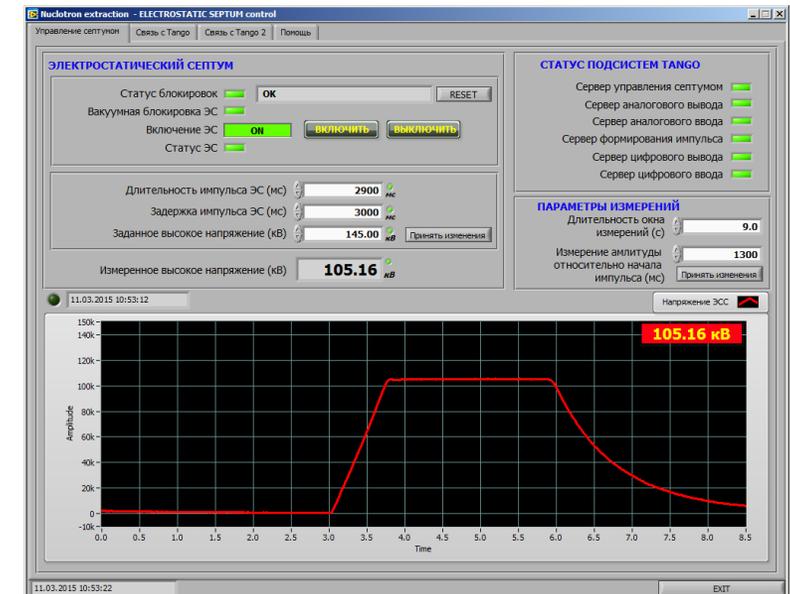
- Средства обеспечения работоспособности;
- Авторизация и разграничение прав доступа;
- Стандартизованная система конфигурации элементов;
- Автоматический запуск и остановка;
- Сохранение и восстановление режимов работы системы;
- Архивация и извлечение архивных данных («быстрых» и «медленных»);
- Логирование;
- Мониторинг;
- Стандартизованная обработка ошибок;
- Библиотеки и наборы инструментов для создания клиентских приложений

Система управления с единой программой

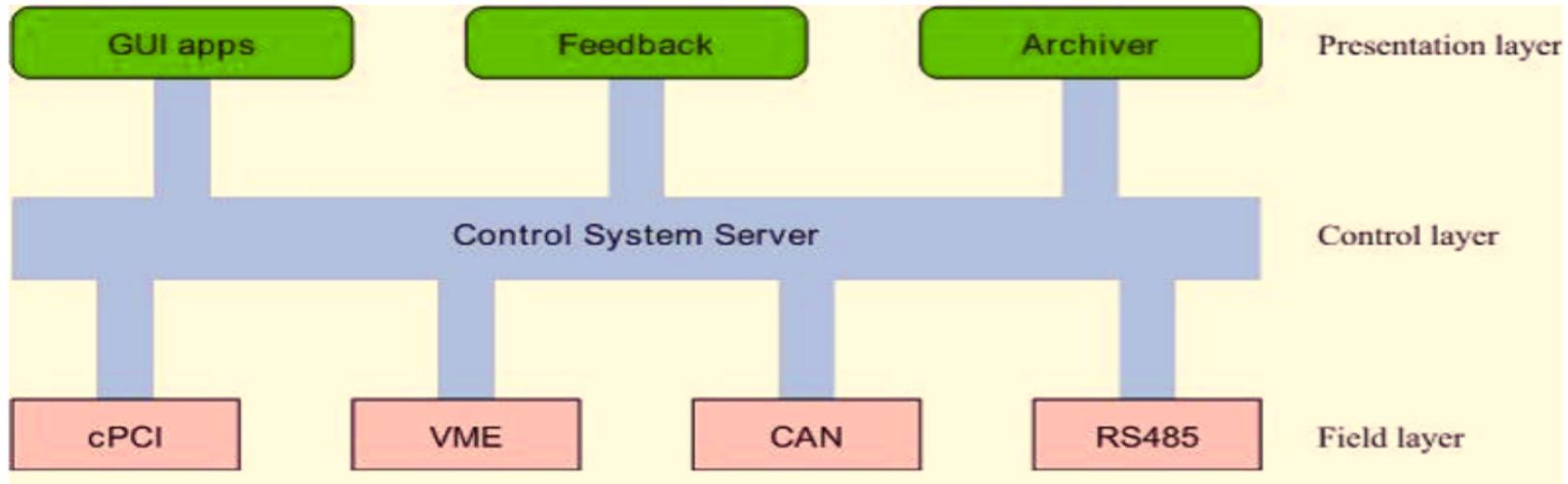
Для небольших, «настольных» установок все три функции обычно выполняются единой программой, которая и реализует графический интерфейс пользователя, взаимодействует с аппаратурой и содержит некую специфичную для конкретной установки логику (управление рабочим циклом установки, обратные связи, слежение за различными параметрами, и т. п.).

Недостатки:

- Трудно обслуживать большое количество электроники одним компьютером и одной программой.
- Большой объем кода и повышенная сложность программы.
- Трудно обеспечить доступ разных программ к одному устройству.



Трехуровневая архитектура ПО системы управления



Достоинства:

- разграничение функций;
- распределенность;
- разрешение конфликтов доступа.

Следствием этих достоинств является масштабируемость - одно из основных требований, предъявляемых к крупным системам управления.

Построение архитектуры ПО системы управления

Помимо собственных специализированных разработок, для создания систем управления наибольшее распространение в экспериментальной физике получили комплексы программных пакетов:

- Средства промышленной автоматизации (SCADA-системы).
- EPICS, созданный в Аргоннской лаборатории и поддерживаемый сейчас коллаборацией институтов.
- Tango Controls разрабатывается и используется сообществом инженеров и операторов Европейских синхротронов. Система Tango является основой для построения системы управления ускорительного комплекса NICA.



TANGO

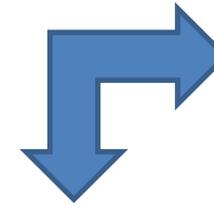
– связующая технология

Connecting things together

- Предназначена для построения систем управления крупными физическими и промышленными установками;
- Основана на принципе распределённых tango-устройств;
- Скрывает сетевое взаимодействие;
- Бесплатное и мультиплатформенное ПО с открытым исходным кодом;
- Набор инструментов для централизованной настройки, контроля и управления всеми подключёнными tango-устройствами;
- Серверные и клиентские библиотеки для языков C++, Python, Java;
- Создание клиентских приложений на web, Qt, Taurus, LabView, MatLab,...

Tango Controls :: Device - устройство

- Программное отображение реального устройства или логической сущности в системе управления;
- Уникальный идентификатор **domain/family/member**;
- Имеет внутреннее состояние (ON, OFF, FAULT, ...);
- Имеет статус (понятное текстовое описание состояния);
- Взаимодействуют через интерфейс:
 - Атрибуты (поля данных);
 - Команды (действия);
- Настраивается при помощи свойств;
- Взаимодействуют синхронно, асинхронно или по событиям;
- Принадлежит к определенному tango-классу;
- Выполняется внутри сервера устройств tango.



Источник питания

- Состояние
 - Статус
 - Ток
 - Напряжение
 - Режим
 - Включить вывод
 - Выключить вывод
 - Адрес
 - Порт
- Атрибуты
- Команды
- Свойства

Tango Controls :: База данных Tango

- База данных Tango служит для хранения структуры системы и конфигурационной информации для устройств.
- Каждая база данных имеет свою точку доступа, которая определяется переменной окружения **TANGO_HOST=host:port**.
- В пределах системы Tango могут одновременно работать несколько баз данных.



Трёхуровневая структура системы управления



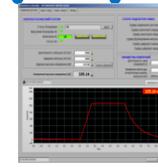
Веб-клиент

REST,
WEBSOCKET



Клиент для ПК

TANGO



Клиентский
уровень

TANGO
connecting things together

Танго-устройство, отображающее управляемую систему

Как правило:

*Представляет физические параметры в виде атрибутов.
Для смены режимов работы или внутреннего состояния
применяются команды.
Для конфигурации используются свойства*

Сервисы

Web API

Система архивации

Контроль прав доступа

Мониторинг

Логирование

Сервисный
уровень

Танго драйвер Танго драйвер Танго драйвер Танго драйвер Танго драйвер Танго драйвер Танго драйвер

СПЕЦИАЛЬНЫЕ
БИБЛИОТЕКИ



КРЕЙТЫ С
ОБОРУДОВАНИЕМ

ПРОТОКОЛЫ
СВЯЗИ

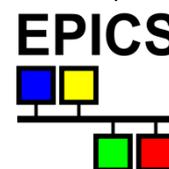


КОНТРОЛЛЕРЫ

ДРАЙВЕРЫ
И SDK



УСТРОЙСТВА
-ШЛЮЗЫ



АЦП/ЦАП



ОСЦИЛЛОГРАФЫ



Уровень
оборудования

Уровень оборудования

Разработаны tango-классы для работы с устройствами National Instruments:

- Дигитайзерами и осциллографами;
- Генераторами сигналов;
- Аналоговыми и цифровыми входами/выходами;
- Таймерами, счётчиками и другими устройствами.



Разработаны tango-классы для работы по стандартным протоколам связи:

- Modbus (TCP, RTU, RTU over TCP, ASCII);
- OPC UA, OPC DA;
- NI Datasocket.



Для остального оборудования можно использовать:

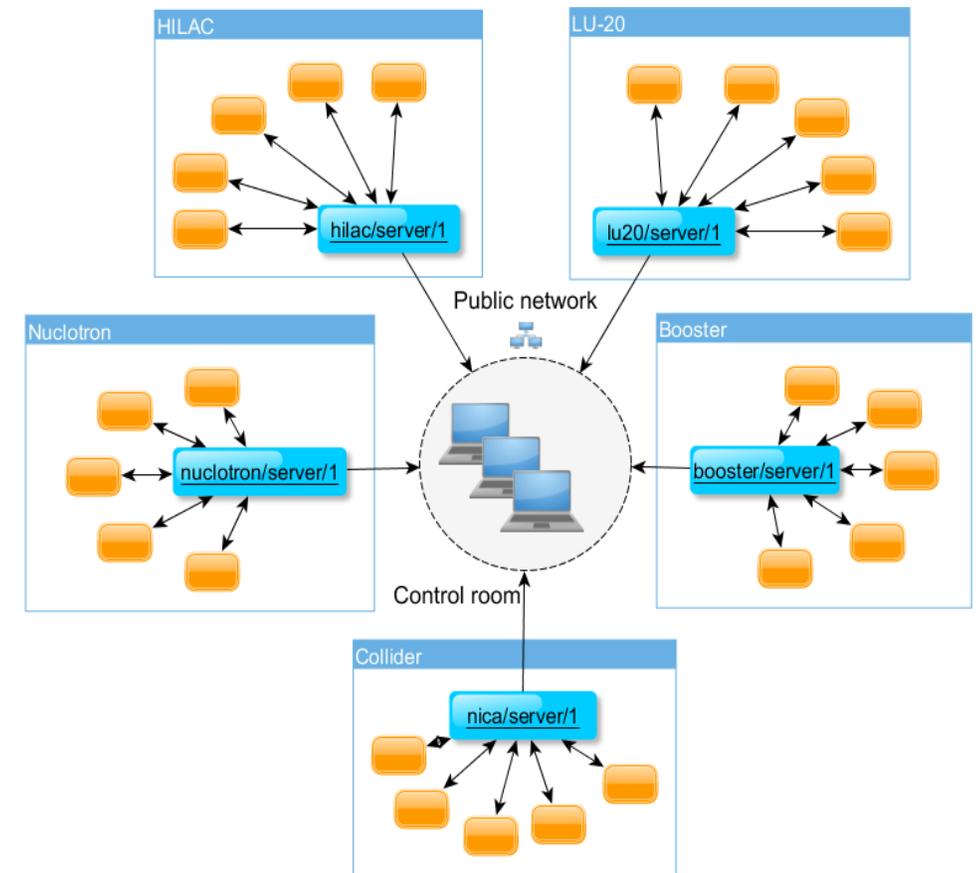
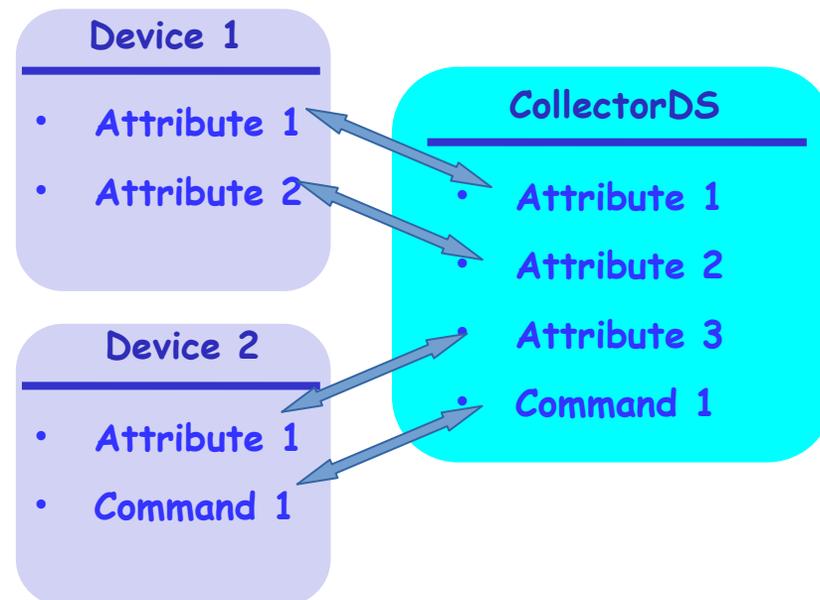
- Готовые классы (при наличии в большой базе компонентов Tango);
- Текстовые или бинарные Ethernet команды (SocketDS);
- Текстовые или бинарные команды по последовательному порту (Serial line);
- Самописные классы с использованием специализированных библиотек и SDK.

Связующий уровень :: Высокоуровневые устройства

- Отображают сложное устройство или систему целиком;
- Работают с устройствами нижнего уровня;
- Реализуют логику работы системы;
- Предоставляют стандартный интерфейс для клиентов:
атрибуты и команды.

Связующий уровень :: CollectorDS

- Группирует атрибуты и команды других устройств как свои. Данные могут передаваться напрямую, периодически, по событиям или по триггеру;
- Служит для оптимизации трафика и для разгрузки медленных устройств;
- Может применяться для безопасного взаимодействия между различными установками Tango.

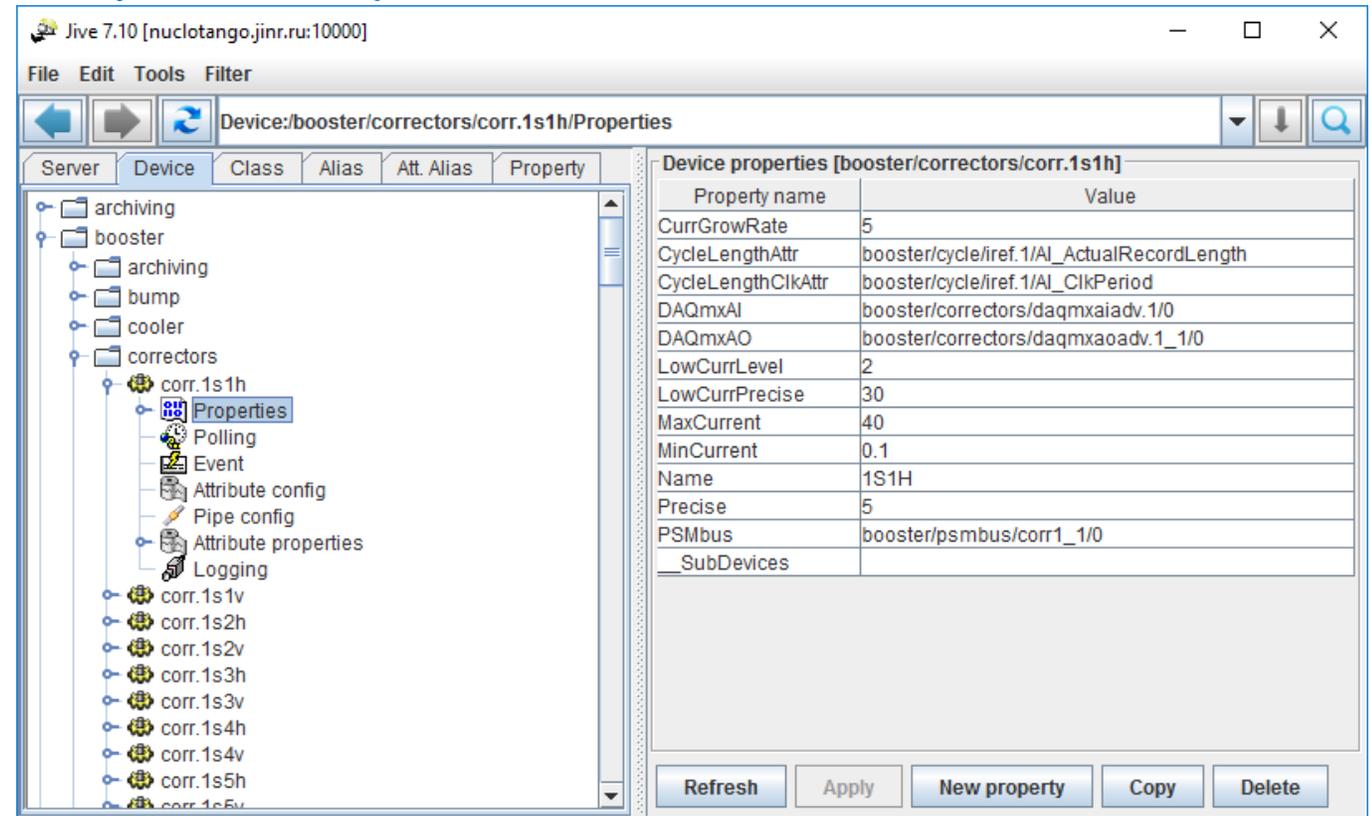


Сервисы :: Обеспечение надежности

- Все модули среднего уровня работают на виртуальных машинах в кластере на базе серверов Supermicro;
- Для надёжности электропитания используются блоки бесперебойного питания;
- Виртуализация осуществляется при помощи надёжной и гибкой системы Proxmox;
- Для хранения данных используется система Ceph;
- Центральная база данных Tango работает с двойной репликацией по формату «мастер-мастер» с балансировщиком нагрузки Nginx.

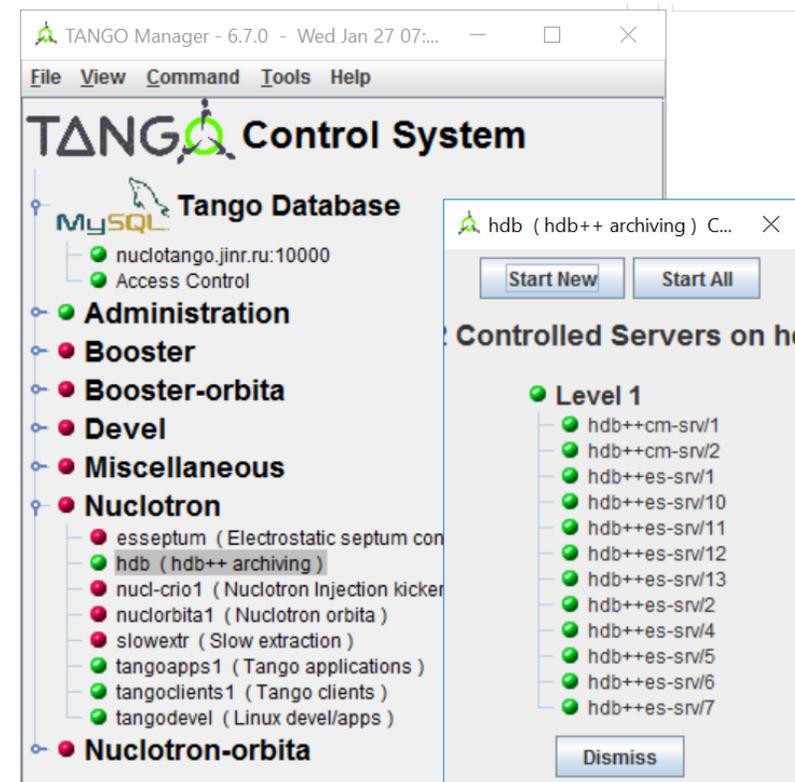
Сервисы :: Настройка, утилита Jive

- Конфигурация устройств осуществляется при помощи свойств, которые хранятся в центральной базе данных Tango;
- Для работы с базой применяется утилита Jive. Она позволяет просматривать структуру системы управления, изменять конфигурацию устройств, регистрировать новые устройства, удалять ненужные устройства, запускать служебные утилиты (TestDevice, AtkPanel, LogViewer,...).



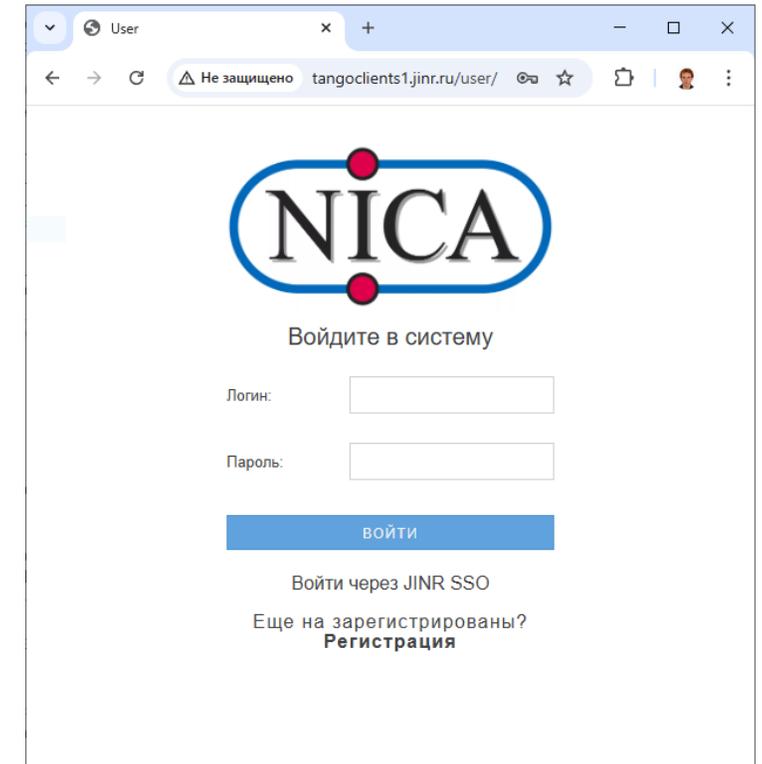
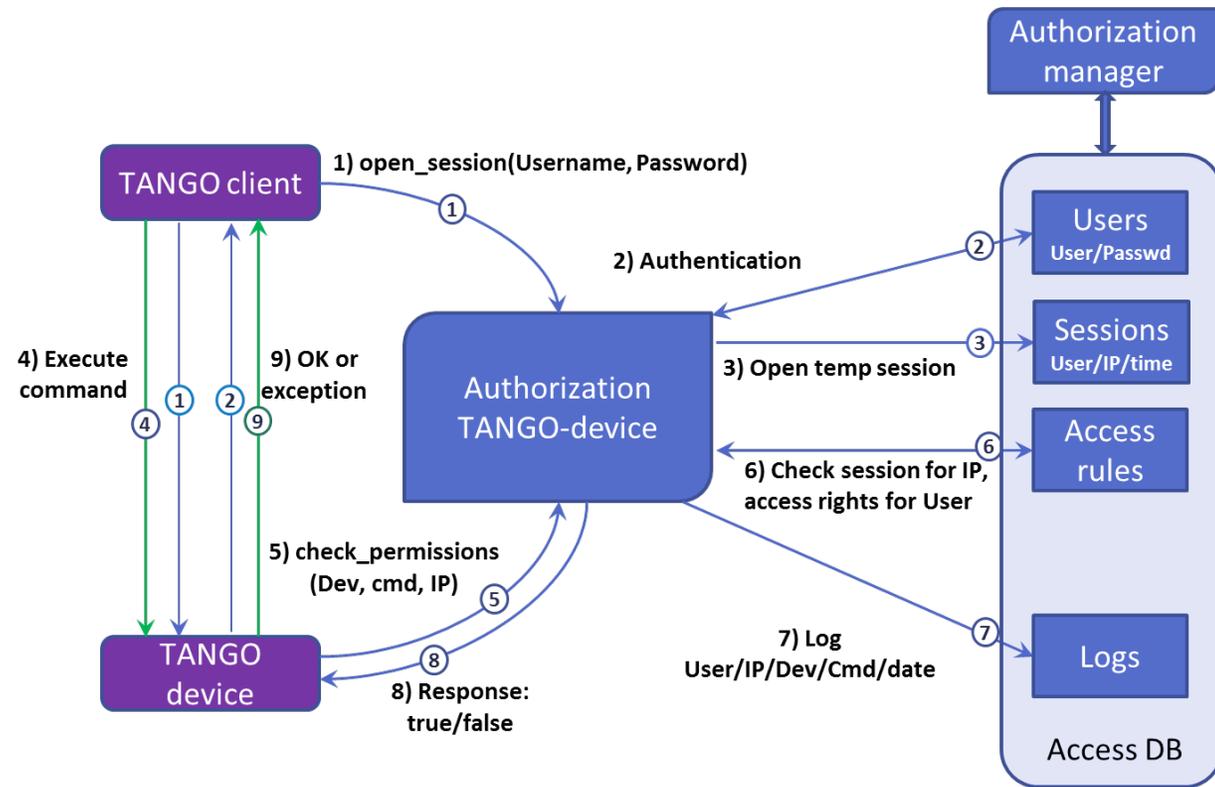
Сервисы :: Управление системой

- Управление производится через утилиту Astor;
- Устройства выполняются на распределенных машинах (хостах). На каждом хосте запускается специальное устройство - Starter, которое управляет остальными устройствами данного хоста;
- В утилите Astor имеется древовидный список всех имеющихся хостов. Цветовая метка характеризует состояние хоста (красный - выключен или неисправен, зеленый - включен, синий - включается);



- Для работы с конкретным хостом можно открыть панель управления. Она позволяет включить/выключить устройства в хосте и зарегистрировать новое устройство. Цветовая метка характеризует состояние устройства. Устройства можно группировать по пяти уровням запуска. При старте всех устройств хоста, устройства запускаются согласно уровням от 1 до 5.
- Astor позволяет запустить другие утилиты: AccessControl, EventManager.

Сервисы :: Контроль доступа



- Система разграничения прав доступа основана на ролях;
- Каждой роли соответствует определенный набор прав;
- Несколько ролей могут быть назначены для каждой пары ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ / IP_АДРЕС;
- Производит проверку на стороне сервера;
- Используется для защиты главного сервера базы данных системы Tango Controls;
- Осуществляет логгирование;
- Для аутентификации может использоваться система JINR SSO или локальная учетная запись.

Сервисы :: Логгирование

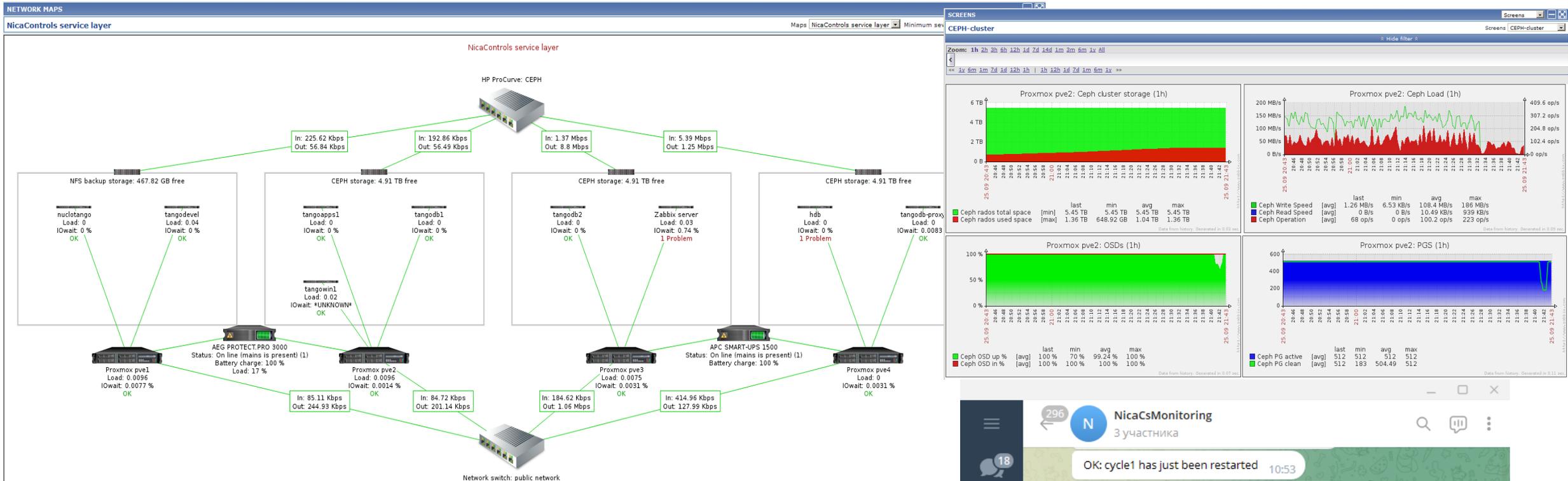
The screenshot shows the 'Manage Tango Role-Based access control' application. The interface includes a menu bar (File, View, Taurus, Tools, Help) and a toolbar with 'Load Perspectives', 'jive', and 'astor' buttons. Below the toolbar are tabs for RBAC Status, Sessions, Roles, Permissions, Users, User roles, and Logs. The 'Logs' tab is active, displaying a search interface with 'From' and 'To' date/time fields (both set to 10.04.17 10:06:11), and filters for Object, IP, and Entry. A 'Retrieve logs' button is present. On the right, there are buttons for 'Filter by Facility' (set to ALL) and 'Log history size' (set to 500). The main area contains a table of log entries.

id	facility	created	source	IP	object	Entry	
485	1939197	INFO	2017-04-21 13:24:44	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted (and cached).
486	1939199	INFO	2017-04-21 13:24:46	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/diagnostics/daqmxai/1/IOR:01000000170000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000064...	Access granted (and cached).
487	1939201	INFO	2017-04-21 13:24:46	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/dserver/DAQmxAI/bergoz1/IOR:01000000170000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000...	Access granted (and cached).
488	1939203	INFO	2017-04-21 13:24:56	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbUnExportEvent/DServer/Bergoz/bergoz1	Access granted (and cached).
489	1939205	INFO	2017-04-21 13:24:56	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutClassProperty/Bergoz/4/ProjectTitle/1/Description/1/Bergoz subsystem/doc_url/1/http://www.esrf.eu/computing/cs/tango/tang...	Access granted (and cached).
490	1939207	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/1/AI_SamplingFrequency/1/50000	Access granted (and cached).
491	1939209	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted, cached access entry
492	1939211	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceAttributeProperty2/diagnostics/daqmxai/1/1/AI_NumberOfSamples/1/_value/1/204800	Access granted (and cached).
493	1939213	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/diagnostics/bergoz/1/IOR:01000000170000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000640...	Access granted (and cached).
494	1939215	INFO	2017-04-21 13:24:58	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/1/AI_SamplingFrequency/1/50000	Access granted, cached access entry
495	1939217	INFO	2017-04-21 13:24:58	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted, cached access entry

Отладочная информация различается по уровню (*debug, info, warning, error*) и может выводиться в консоль, записываться в файл или в базу данных. Система логгирования позволяет:

- Вести полный лог изменений базы данных TANGO – запуск устройств, изменения свойств и т.д.;
- Вести централизованное логгирование устройств TANGO (выполнение команд, чтение/запись атрибутов, ...)
- Использовать удобный интерфейс для поиска информации в логах.

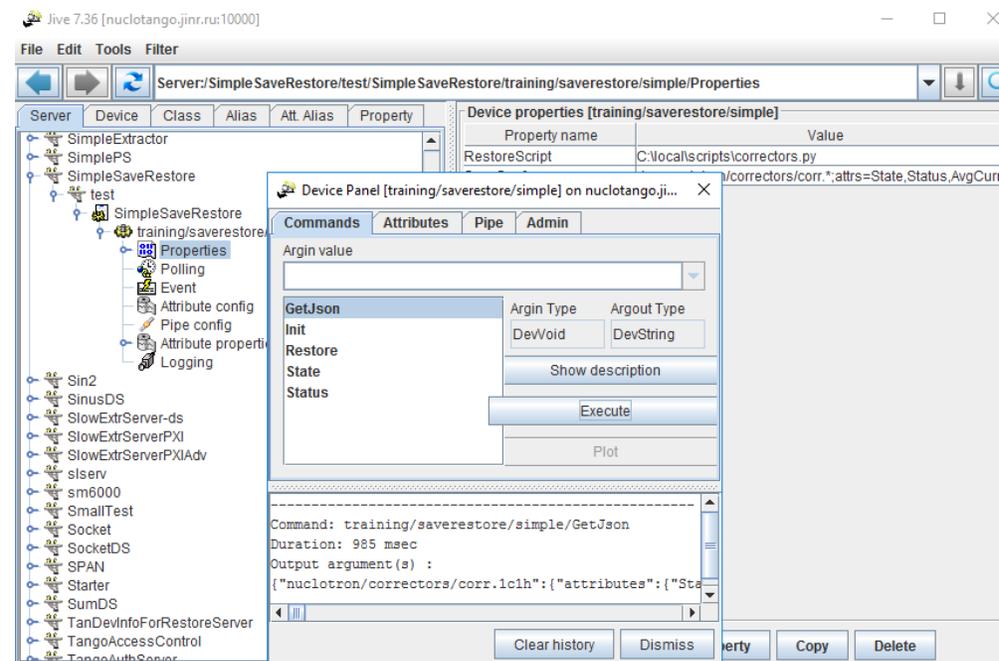
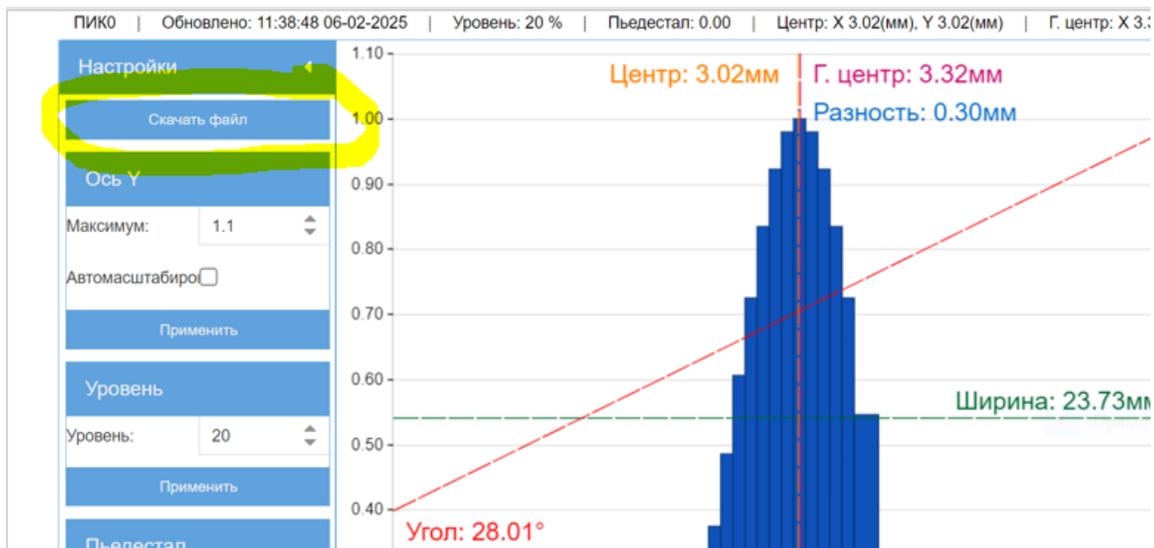
Сервисы :: Мониторинг



Zabbix – утилита для мониторинга аппаратуры и программного обеспечения системы управления. Собирает данные о состояниях и статусах Tango устройств, загрузке процессора, использовании памяти и дискового пространства и многих других параметрах. Отправляет оповещения администраторам через Telegram – бота **NicaCsMonitoring**.



Сервисы :: Save-Restore



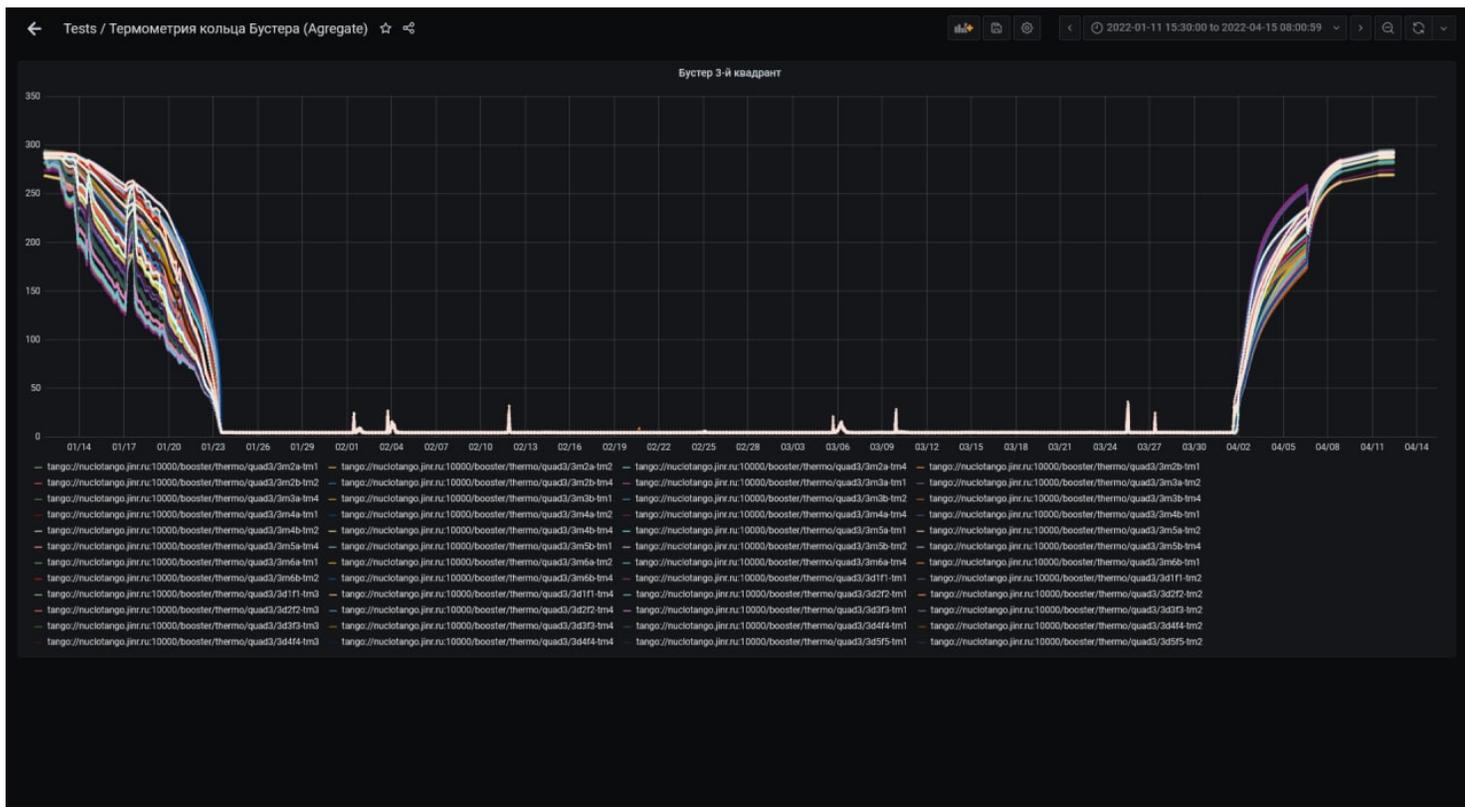
Сохранение:

- Одно устройство SimpleSaveRestore для сохранения состояния одной подсистемы;
- Сохраняются значения заданных свойств и атрибутов для заданных устройств;
- Данные сохраняются в виде JSONB в базу PostgreSQL, или скачиваются через браузер в виде JSON-файла;

Восстановление:

- Для восстановления вызывается специальный Python-скрипт, в который передается сохраненный JSON в виде параметра.

Сервисы :: Архивация, просмотр и выгрузка "медленных" архивных данных.



HDB++:

- стандартная система архивации данных в Tango;
- работает по событиям;
- использует базу данных Timescale;

Graphana

- веб-приложение, используемое для отображения архивных данных

Extractor:

- веб-клиентское приложение для выгрузки архивных данных.

Сервисы :: Архивация и выгрузка "быстрых" архивных данных.

Номер цикла	Время	Пикапы	Цикл	Корректоры	Быстрый тр...	Параметрич...
16044	15:40:15 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16045	15:40:21 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16046	15:40:27 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16047	15:40:33 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16048	15:40:39 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16049	15:40:45 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16050	15:40:51 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16051	15:40:57 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16052	15:41:03 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16053	15:41:09 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16054	15:41:15 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16055	15:41:21 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать
16056	15:41:27 202...	скачать	скачать	скачать	скачать	скачать

```
{
  "training/cycle/1": {
    "attributes": {
      "State": "ON",
      "Status": "RACK is ON",
      "Timestamp": 1756384819.178796,
      "cycle_num": 16045,
      "cycle_period": 6,
      "interlock_time": 12,
      "interlock_status": 12
    }
  },
  "training/cycleleadc/1": {
    "attributes": {
      "State": "ON",
      "Status": "ON: AI thread is running",
      "AI_Data": {
        "data": 28264,
        "dim_x": 3533,
        "dim_y": 8
      },
      "AI_Timestamp": 1756384819.179533
    }
  },
  "booster/cycle/iref.1": {
    "attributes": {
      "I0": 3535,
      "I1": 3535,
      "I2": 3535,
      "State": "ON",
      "Status": "Reference is ON"
    }
  }
}
```

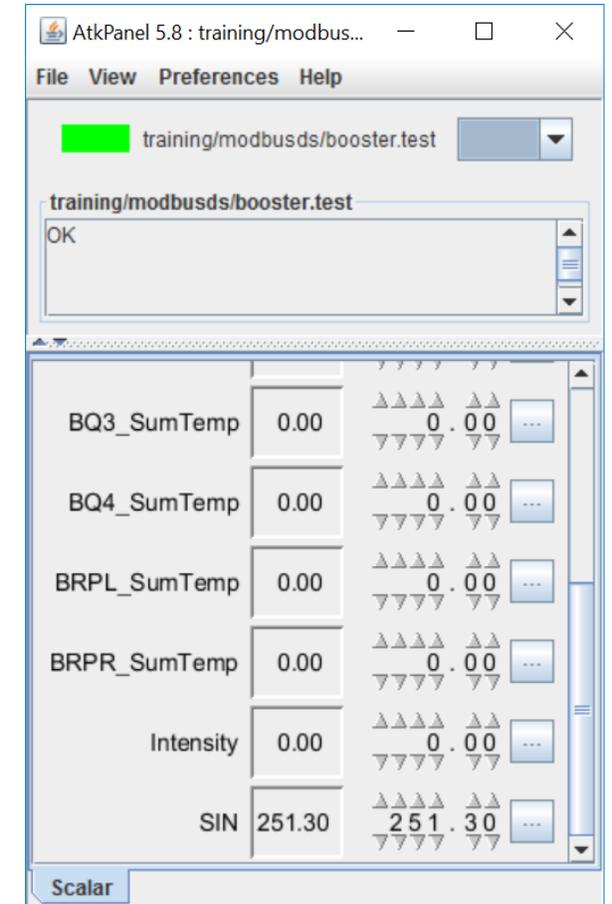
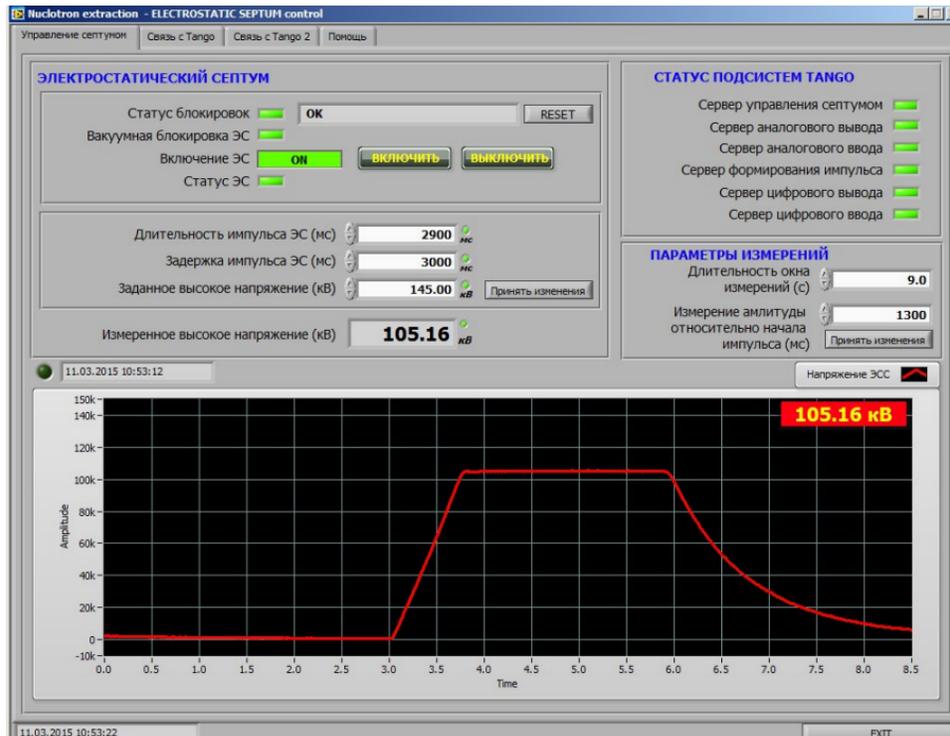
Архивация:

- архивирует данные, связанные с конкретным циклом ускорения;
- одно Tango-устройство "Архивер" на одну подсистему ускорителя;
- сохраняет данные по событию окончания цикла ускорения;
- сохраняет данные в виде JSONB в базу PostgreSQL;

Выгрузка:

- веб-клиентское приложение для выгрузки архивных данных в виде JSON файлов.

Клиентский уровень :: Приложения для ПК



- Встроенные утилиты: ATKPanel, Test Device;
- Клиентские библиотеки для языков C++, Python, Java;
- Связующие компоненты для LabView, Matlab, языка Rust;
- Средства для быстрой разработки клиентских приложений: Taurus, QTango;

Клиентский уровень :: Python клиент

```
import tango

try:
    #Подключение к устройству
    device = tango.DeviceProxy("sys/tangotest/3")

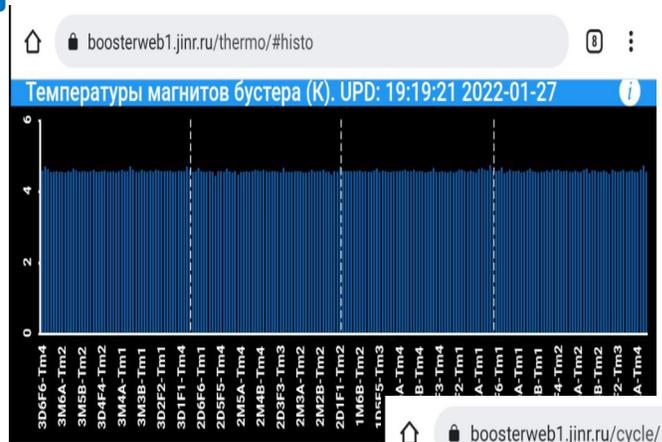
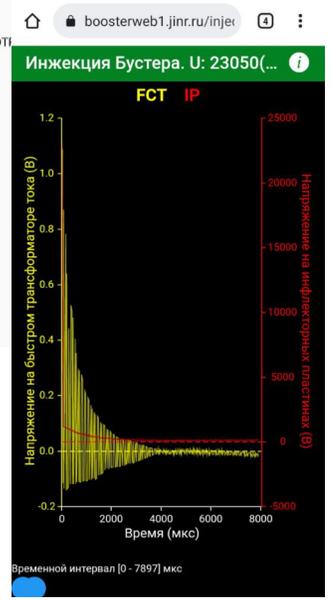
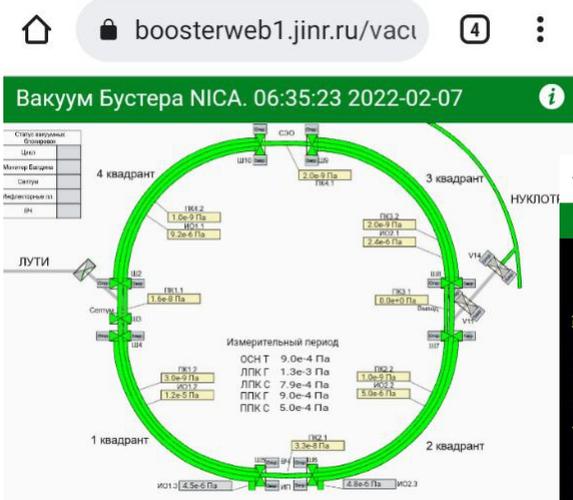
    #Чтение атрибута double_scalar
    doubleValue = device.double_scalar
    print(doubleValue)

    #Запись атрибута double_scalar
    device.double_scalar = 123.45

    #Выполнение команды DevDouble
    argout = device.DevDouble(23.89)
    print(argout)

except Exception as e:
    print(str(e))
```

Клиентский уровень :: Веб-приложения



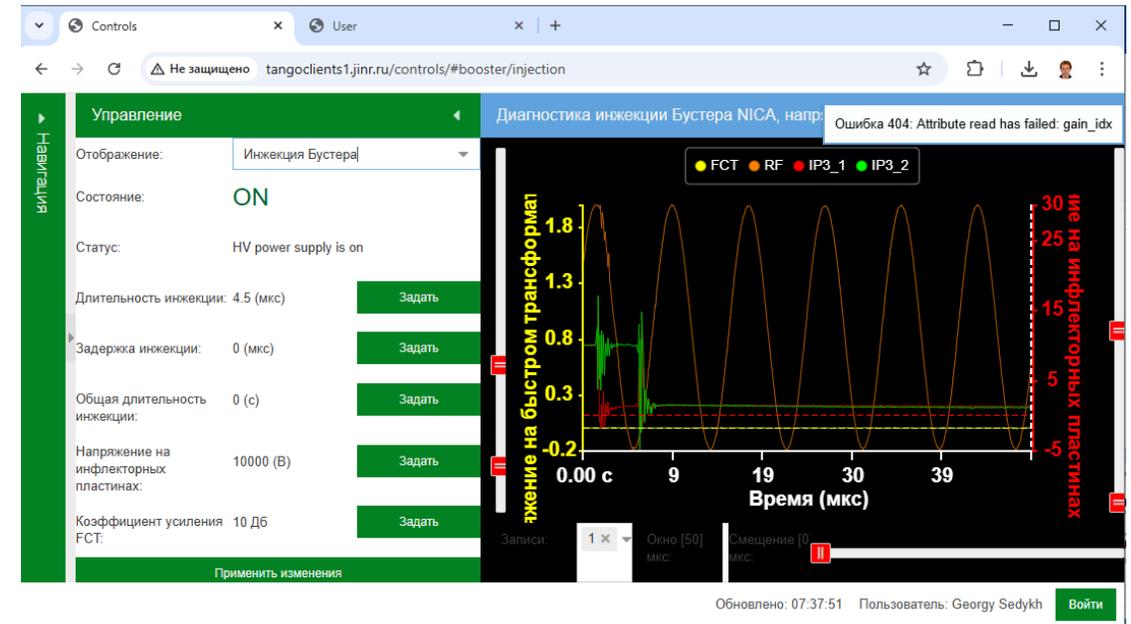
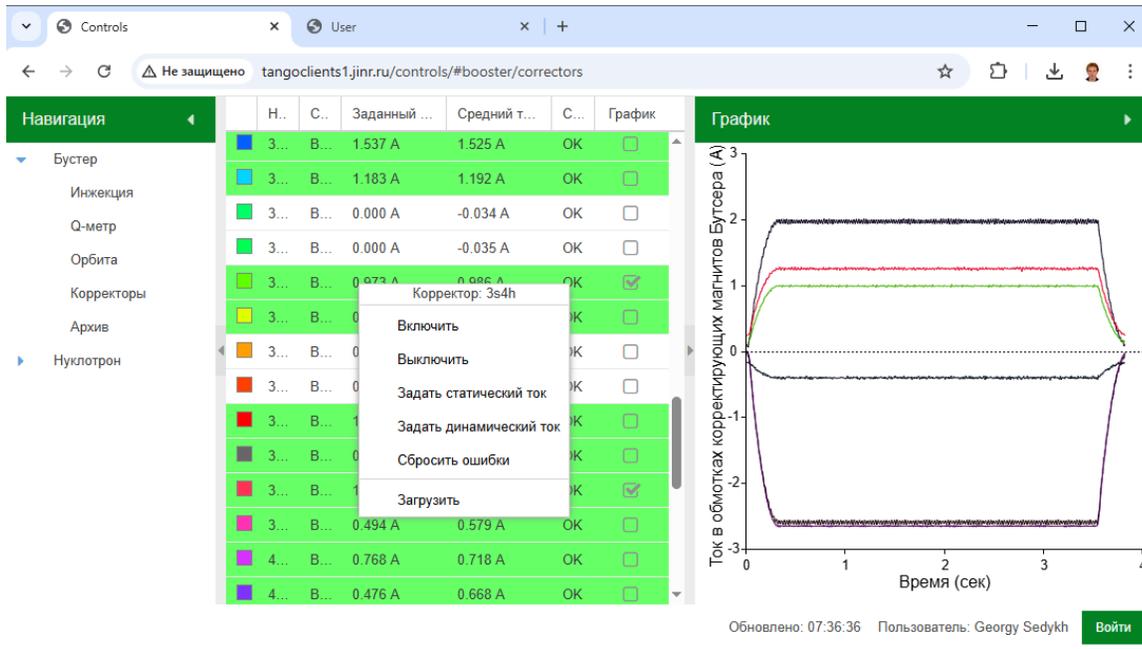
Преимущества:

- Работают на любом устройстве (ПК, планшет, смартфон) и в любой операционной системе;
- Не требуют установки на компьютер;
- Централизованно обновляются.

Веб-приложения для системы Tango работают при помощи технологий REST и WebSocket

Ведется разработка веб-приложения - агрегатора для упрощения навигации между страницами

Клиентский уровень :: Контрольки



Разрабатываются управляющие клиентские приложения для основных систем ускорительного комплекса NICA.

Система управления :: Статус

Бустер:

- Циклозадающая аппаратура
- Диагностика инъекции
- Термометрия
- Измерение орбиты
- Коррекция орбиты
- Измерение тока пучка
- Q-метр
- Вывод
- Синхронизация
- Вакуум
- ВЧ
- Защита от переходов
- Электронное охлаждение
- СБИС

Нуклотрон:

- Циклозадающая аппаратура
- Диагностика инъекции
- Термометрия
- Измерение орбиты
- Коррекция орбиты
- Измерение тока пучка
- Вывод
- ВЧ

Коллайдер:

- Циклозадающая аппаратура
- Диагностика инъекции
- Термометрия
- Измерение орбиты
- Коррекция орбиты
- Измерение тока пучка
- Q-метр
- Синхронизация
- SLM мониторы
- ВЧ
- Электронное охлаждение
- Вакуум

KRION + ЛУТИ:

СУ работает автономно с возможностью интеграции

Каналы вывода и перевода:

СУ строится на базе Tango, все будет полностью интегрировано в общую СУ

- **Сделано**
- **Интегрировано**
- **Возможно интегрируется**
- **В работе**

Спасибо за внимание!!!

