



Объединенный Институт Ядерных Исследований  
Дубна, Россия

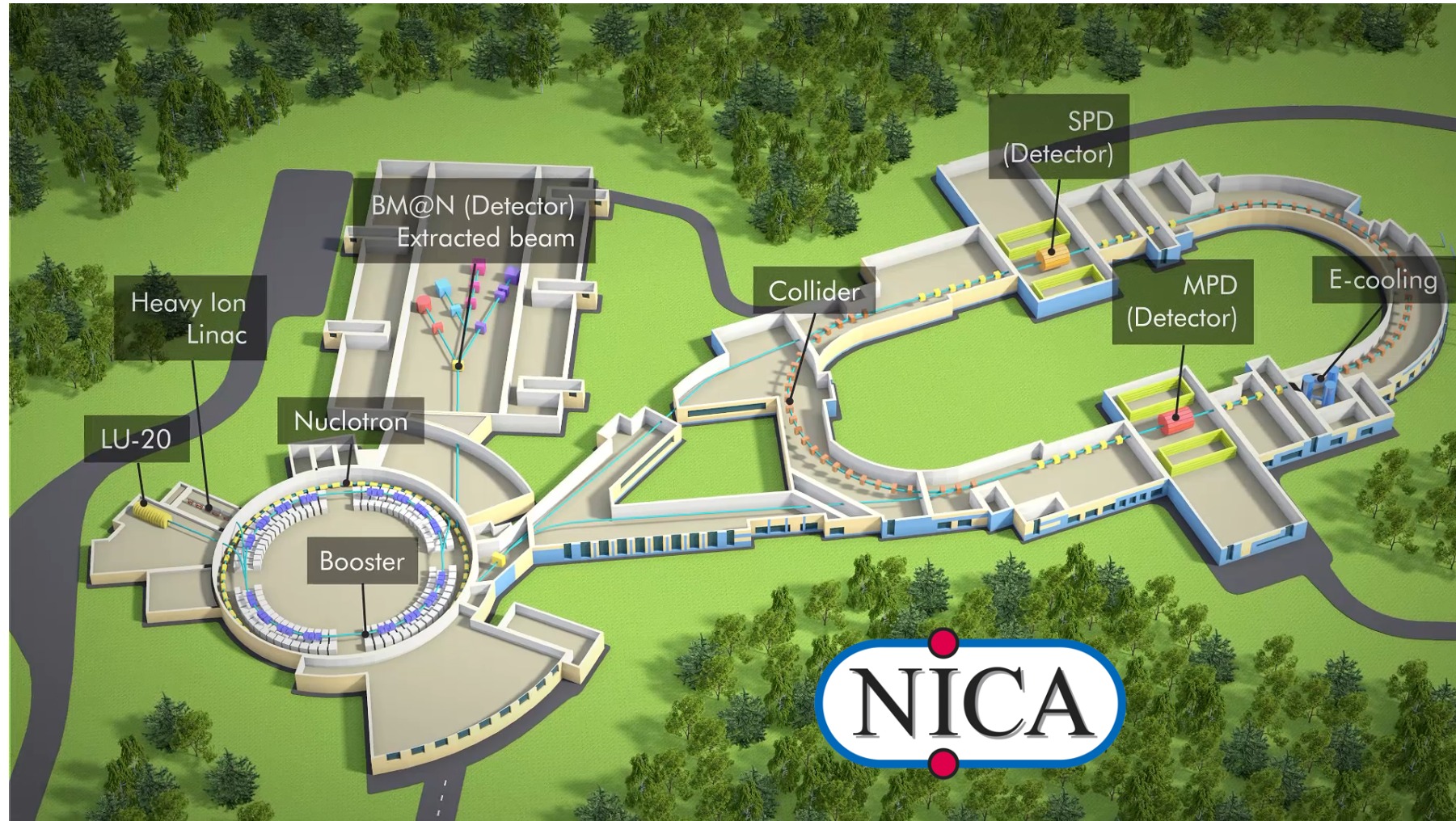


# Система управления ускорительного комплекса NICA. Часть 2.

Георгий Седых

<https://t.me/cedbix>, [egor@dubna.tk](mailto:egor@dubna.tk)

# Ускорительный комплекс NICA





# TANGO

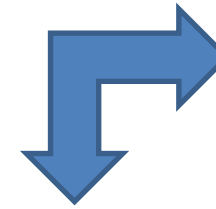
## – связующая технология

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, ...)
- Интерфейс состоит из атрибутов, команд и пайпов;
- Настраивается при помощи свойств;
- 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

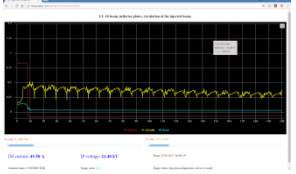


# Трёхуровневая структура системы управления



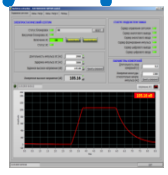
**Веб-клиент**

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

Уровень  
оборудования

СПЕЦИАЛЬНЫЕ  
БИБЛИОТЕКИ



КРЕЙТЫ С  
ОБОРУДОВАНИЕМ

ПРОТОКОЛЫ  
СВЯЗИ



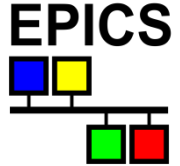
КОНТРОЛЛЕРЫ

ДРАЙВЕРЫ  
И SDK



ОСЦИЛЛОГРАФЫ

УСТРОЙСТВА  
-ШЛЮЗЫ



# Уровень оборудования :: Стандарт системы управления

- Конструктивная совместимость – совместимость блоков, каркасов, разъемов ... ;
- Электрическая совместимость – совместимость электрических параметров;
- Логическая совместимость – совместимость протоколов;

# Уровень оборудования :: National Instruments

Разработаны tango-классы для работы с устройствами NI:

- Дигитайзерами и осциллографами;
- Аналоговыми и цифровыми входами/выходами;
- Таймером и счётчиками;
- Цифровыми мультиметрами;
- Модулями измерения температур;
- Интерфейсы для устройств FlexRio и CompactRio



# Уровень оборудования :: Промышленные протоколы и другие способы подключения

Разработаны tango-классы для работы по стандартным протоколам связи:

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



В ближайших планах разработка класса для работы CAN bus

Для остального оборудования можно использовать:

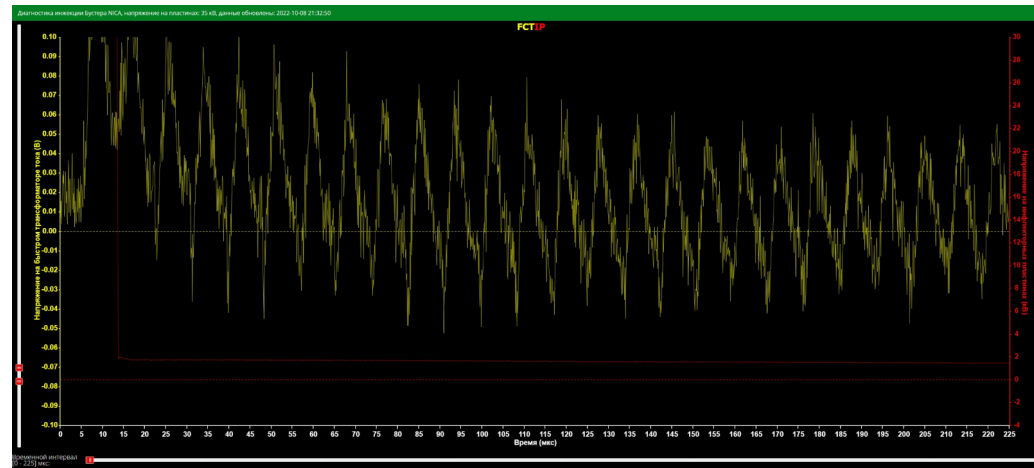
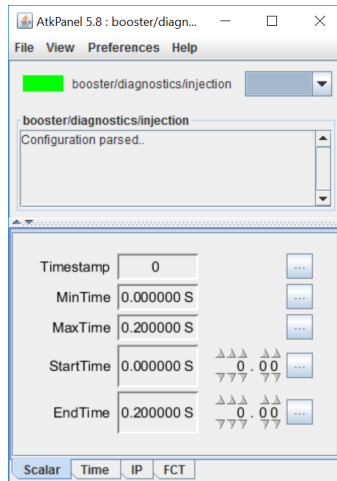
- Готовые классы (при наличии в большой базе компонентов Tango);
- Текстовые или бинарные Ethernet команды (SocketDS);
- Текстовые или бинарные команды по последовательному порту (Serial line);
- Самописные классы с использованием специализированных библиотек и SDK



## 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

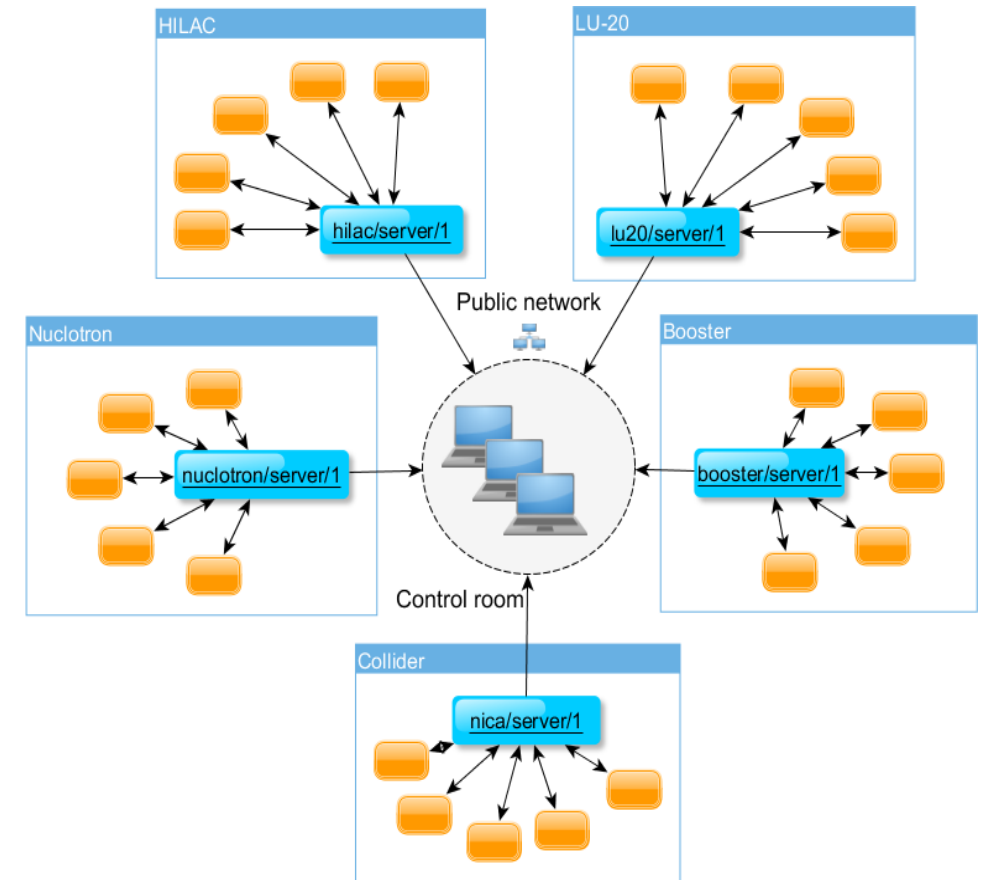
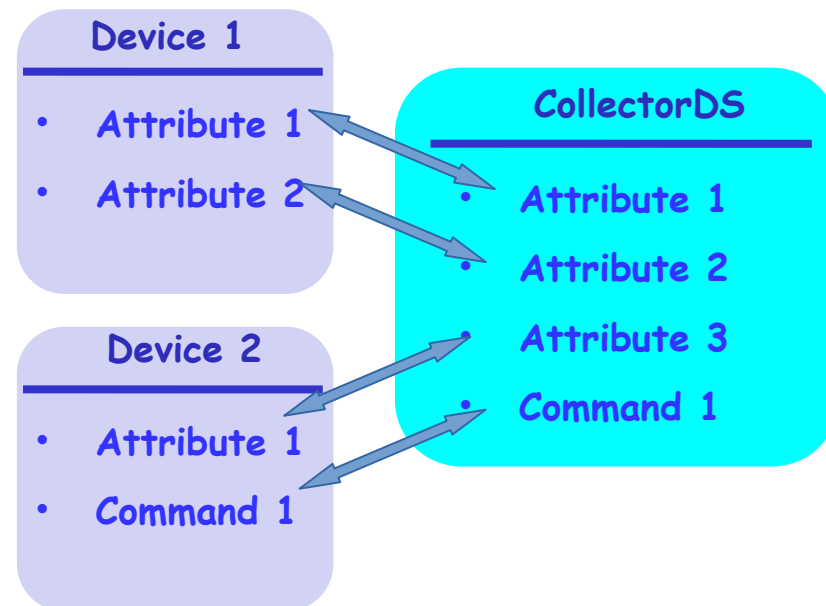
# Связующий уровень :: NICollector



- Сводит в готовом виде данные с дигитайзеров и осциллографов NI;
- Позволяет получать данные за определённый интервал времени

# 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



# Связующий уровень :: ConnectorDS, TriggerDS

ConnectorDS попарно связывает атрибуты различных устройств по типу «издатель-подписчик»

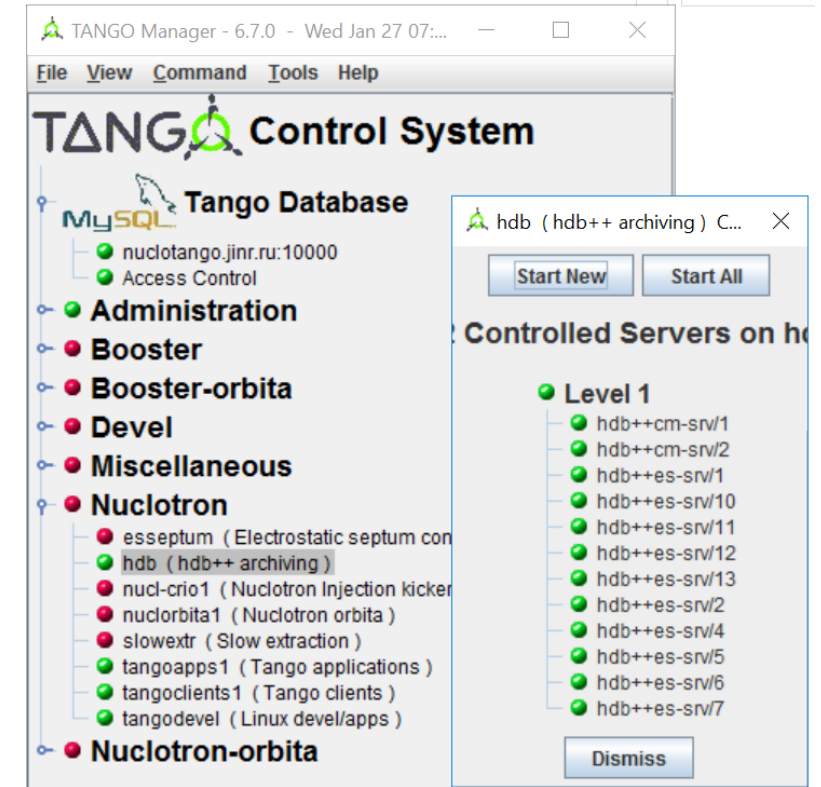
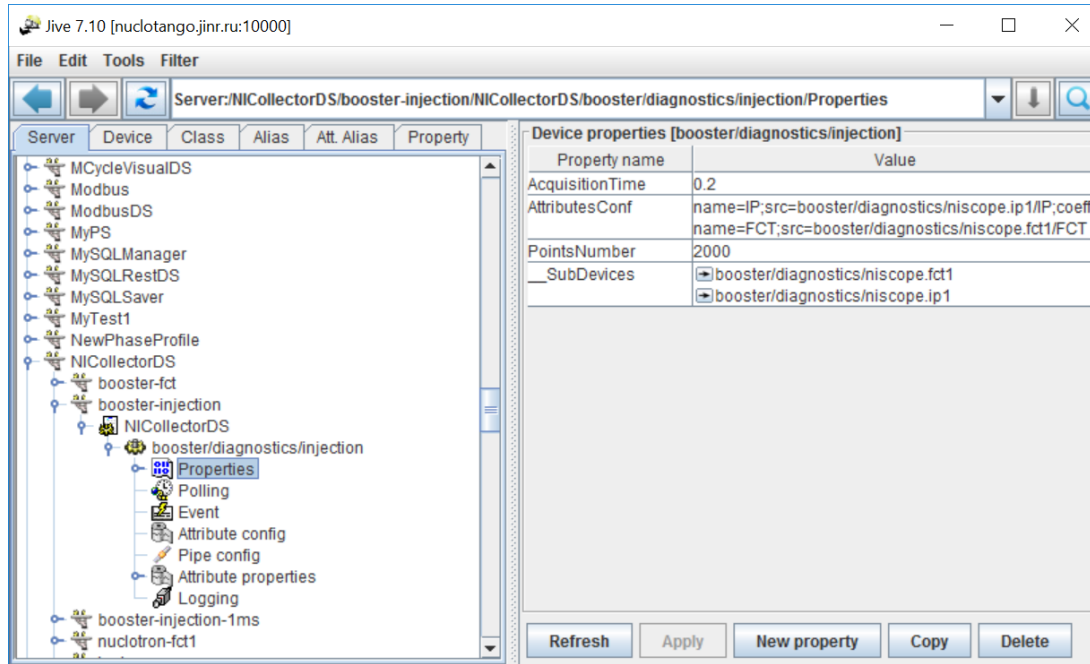
TriggerDS попарно связывает команду и событие, и при наступлении заданного события выполняет соответствующие команды



# Сервисы :: Обеспечение надежности

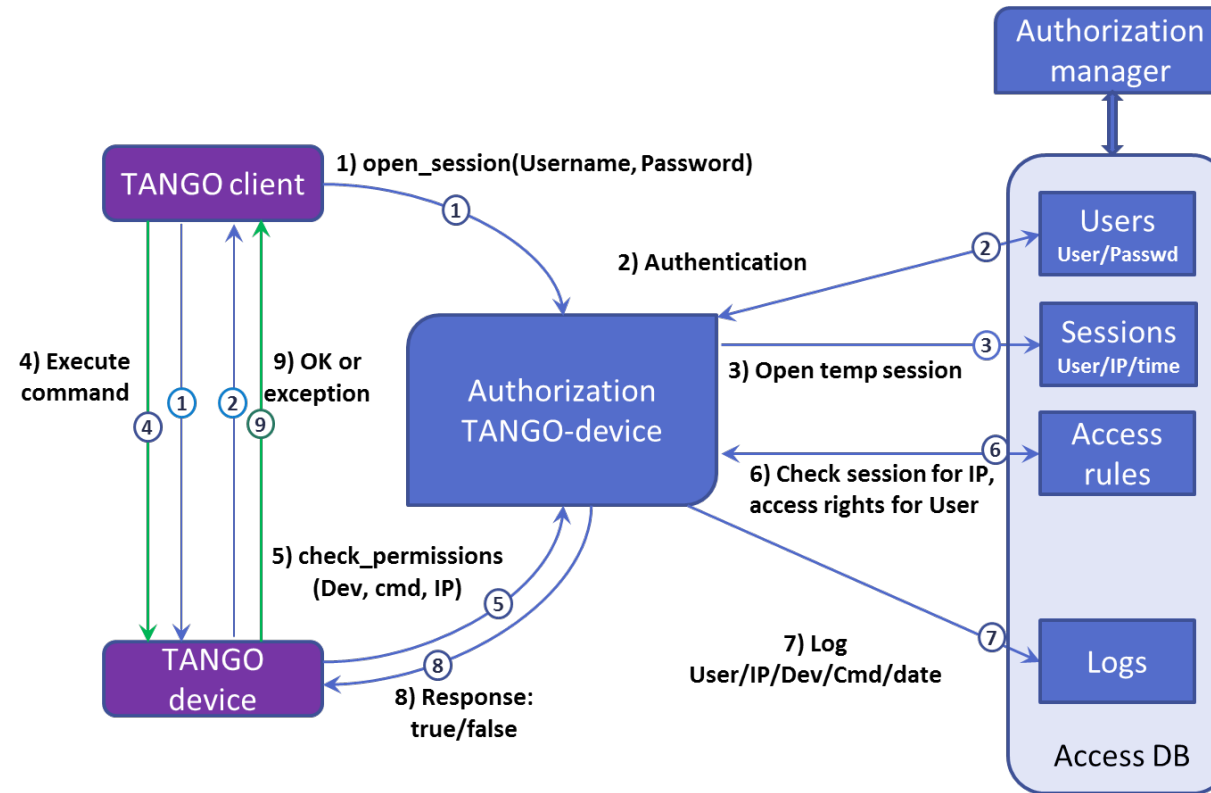
- Все модули среднего уровня работают на виртуальных машинах в кластере на базе серверов Supermicro;
- Для надёжности электропитания используются блоки бесперебойного питания;
- Виртуализация осуществляется при помощи надёжной и гибкой системы Proxmox;
- Для хранения данных используется система Ceph;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

# Сервисы :: Настройка и управление



- Конфигурация устройств осуществляется свойствами через утилиту Jive;
- Управление производится через утилиту Astor

# 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;

**!!! Ведётся внедрение стандартной системы аутентификации JINR SSO**

# 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.

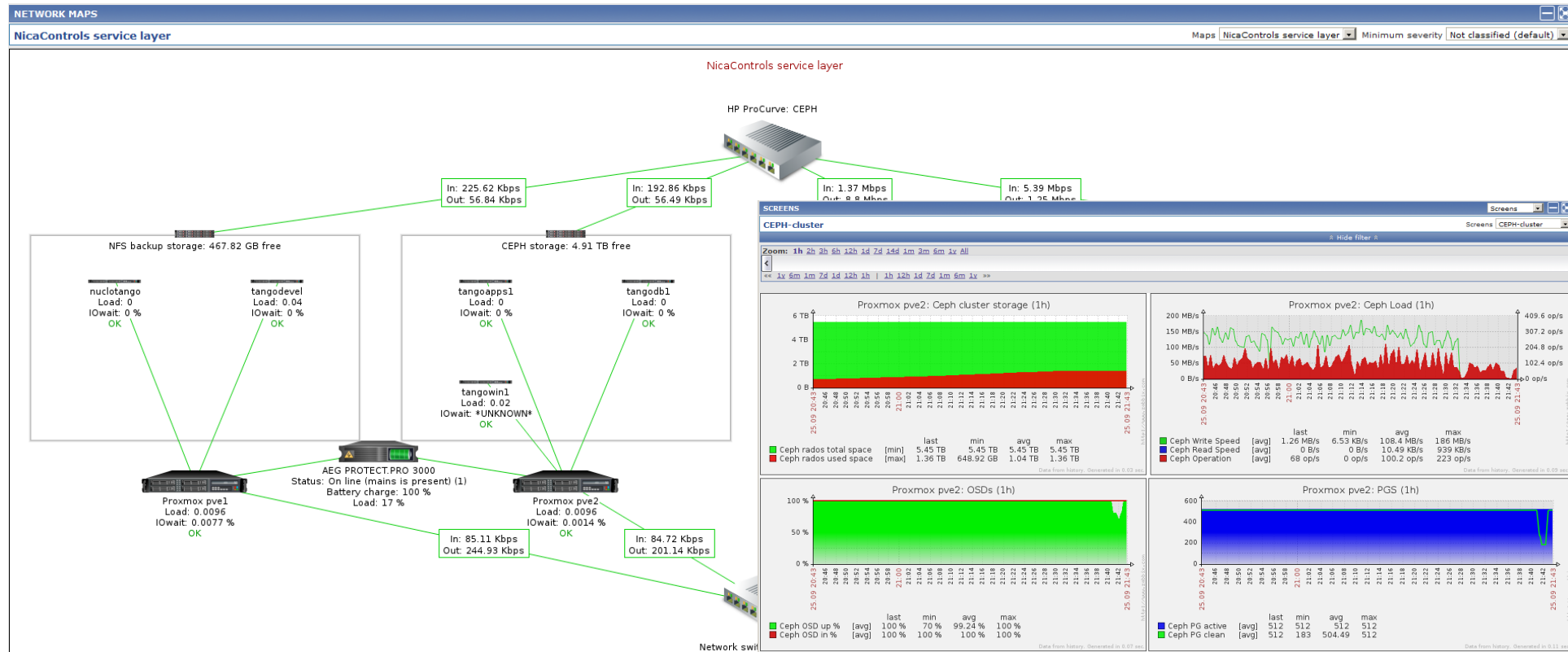
id	facility	created	source	IP	object	Entry	
485	1939197	INFO	2017-04-21 13:24:44	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted (and cached).
486	1939199	INFO	2017-04-21 13:24:46	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/diagnostics/daqmxai/1/OR:010000001700000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000064...	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/OR:010000001700000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000...	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/OR:010000001700000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000640...	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.

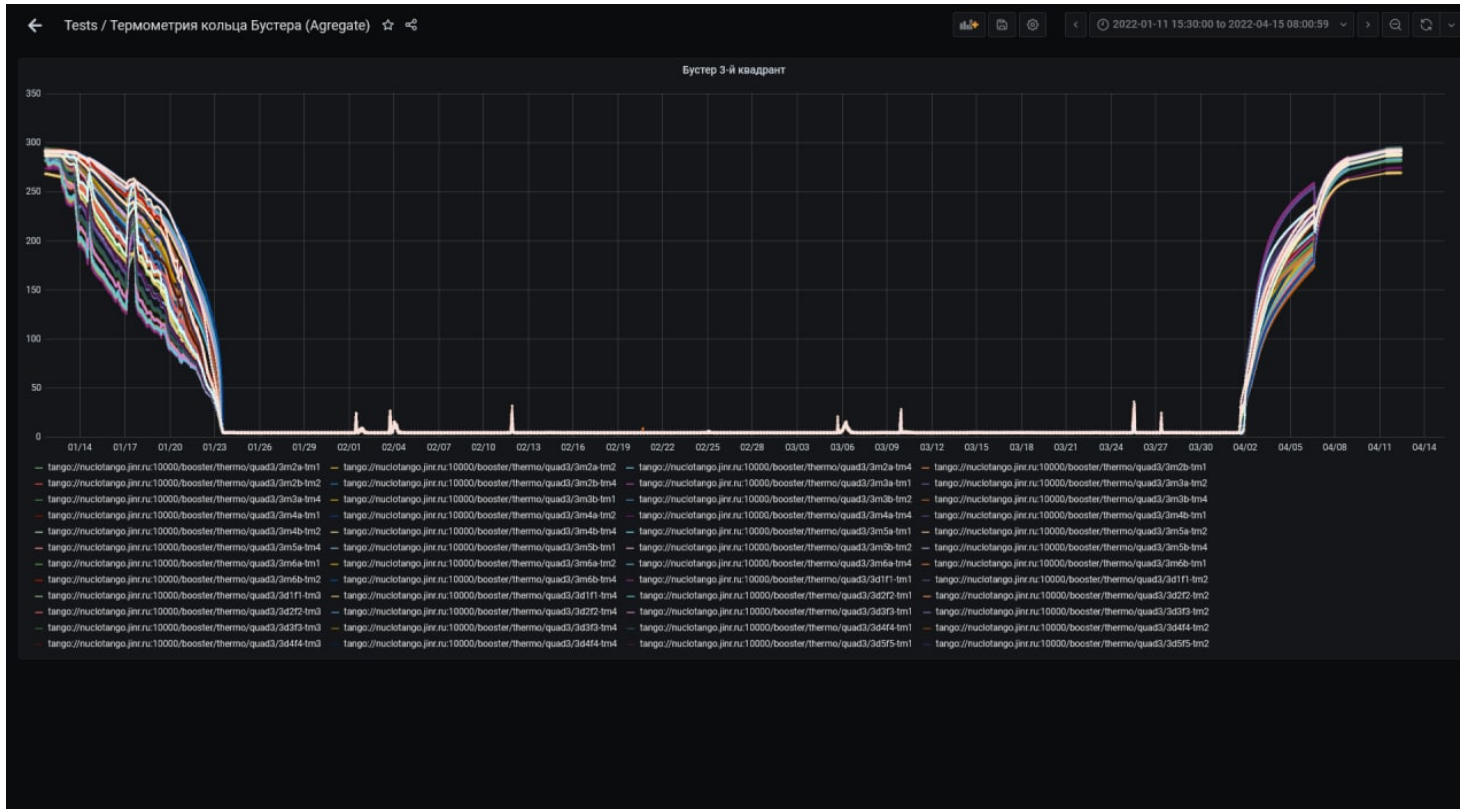


# Сервисы :: Мониторинг



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 и электронную почту.

# Сервисы :: Архивация, просмотр и выгрузка 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 :: Json Store (архивация, конфигурация)

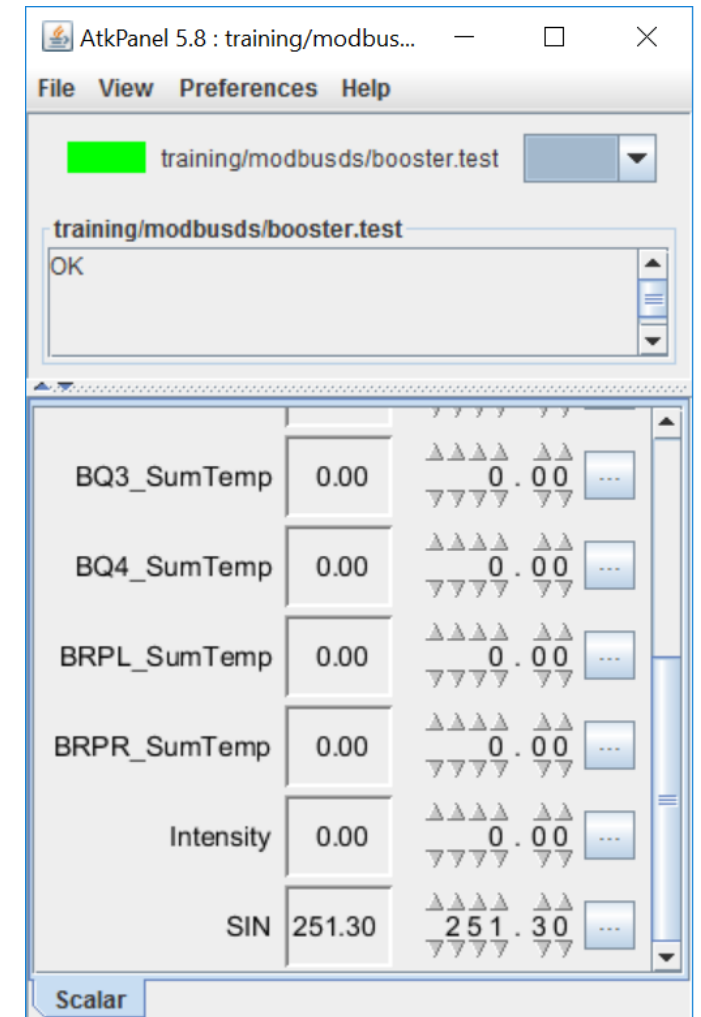
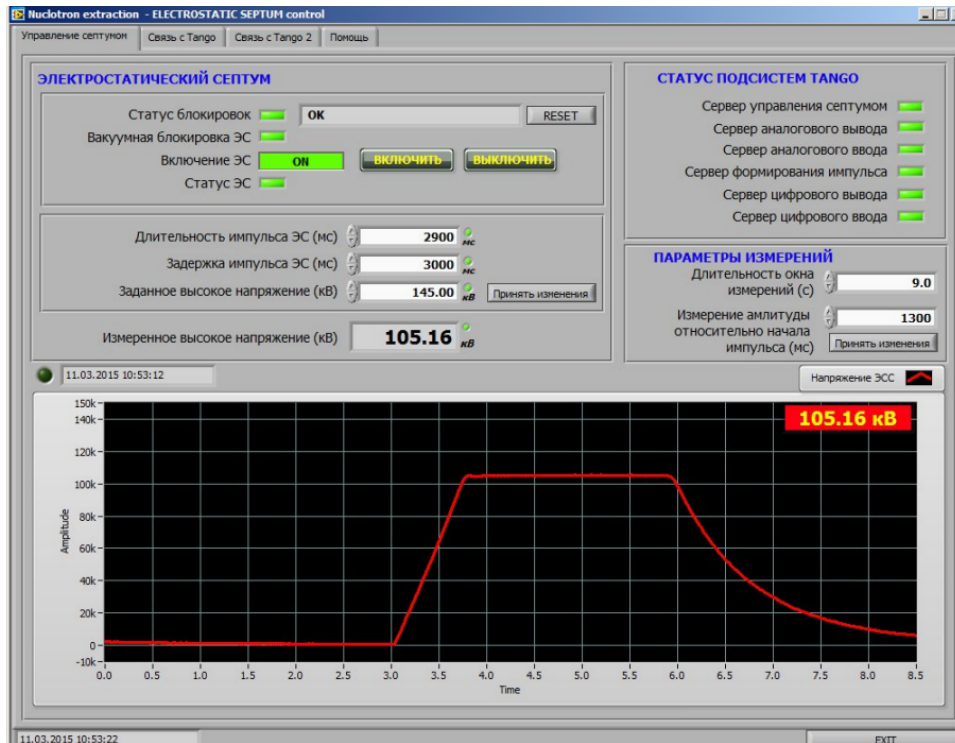
The screenshot shows the HeidiSQL interface connected to a PostgreSQL database. The table 'training/storage/json1' is selected, displaying three rows of data. The 'data' column contains JSON objects with fields like 'ds', 'ls', 'ds2', and 'dsp1'. The 'trigger' column shows values 0, -8.93562, and -26.7606. The bottom status bar indicates the connection is to PostgreSQL 0.0.0.

timestamp	data	trigger	comment
2024-04-25 11:19:02.834668	{\"ds\": 209.703193922, \"ls\": 131, \"ds2\": 123.456, \"dsp1\": ...}	0	
2024-04-25 11:18:59.334844	{\"ds\": 219.435064173, \"ls\": 2, \"ds2\": 123.456, \"dsp1\": [...}	-8.93562	
2024-04-25 11:18:58.165084	{\"ds\": 223.902862758, \"ls\": 108, \"ds2\": 123.456, \"dsp1\": ...}	-26.7606	

The screenshot shows a web browser window titled 'Json Store test' at the URL '127.0.0.1/jsonstore/'. The page has a title 'Json Store test' and several interactive elements: a 'Название:' field with the value 'training/storage/archiver.1' and a 'Очистить' button; a 'Танго:' section with buttons for 'Загрузить', 'Сохранить', 'Исходный код', and 'Показать записи'; and a 'Файл:' section with 'Открыть' and 'Скачать' buttons. Below these is a data viewer showing a JSON object structure: 'object ▶ dsp1 ▶' containing an 'object {4}' with fields 'ds' (-1090.356629476), 'ls' (135), 'ds2' (620), and 'dsp1 [256]' with values 0: 93, 1: 114, 2: 109, 3: 160.

- архивация слепка данных в формате json;
- хранение, редактирование и получение конфигурационной информации для любых приложений системы управления;
- работает по триггеру от циклозадающей аппаратуры;
- использует базу данных PostgreSQL;

# Клиентский уровень :: Приложения для ПК



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



# Клиентский уровень :: C++ клиент

```
#include <iostream>
#include <tango.h>

int main()
{
    try
    {
        // Подключение к устройству
        auto device = Tango::DeviceProxy("sys/tangotest/2");

        // Чтение атрибута
        double doubleValue;
        Tango::DeviceAttribute da = device.read_attribute("double_scalar");
        da >> doubleValue;
        std::cout << doubleValue << std::endl;

        // Выполнение команды
        double argin = 321, argout;
        Tango::DeviceData din, dout;
        din << argin;
        dout = device.command_inout("DevDouble", din);
        dout >> argout;
        std::cout << argout << std::endl;
    }
    catch (Tango::DevFailed& e)
    {
        std::cerr << e.errors[0].desc << std::endl;
    }

    return 0;
}
```

# Клиентский уровень :: Python клиент

```
import tango
import time

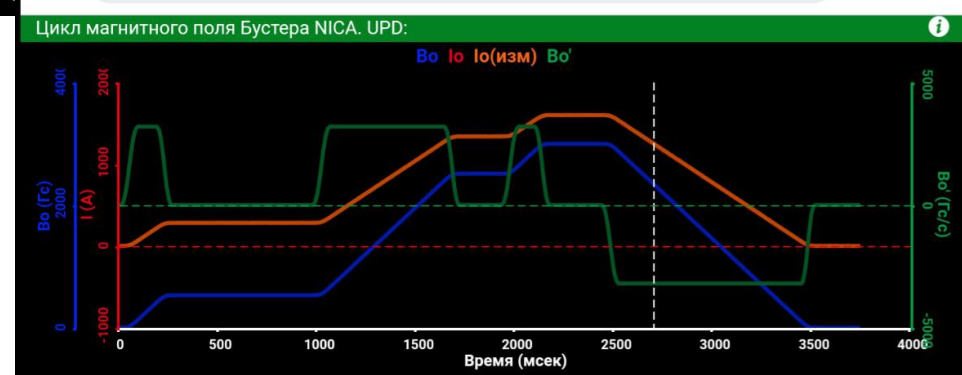
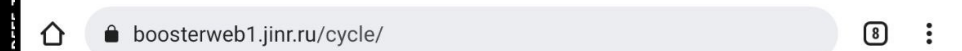
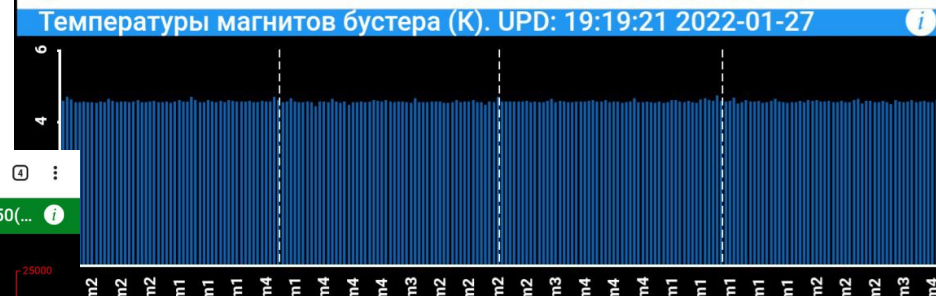
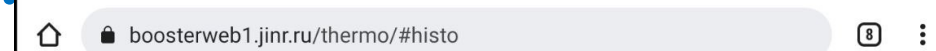
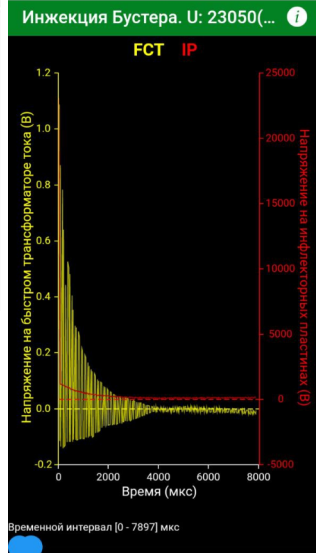
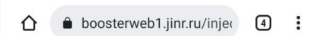
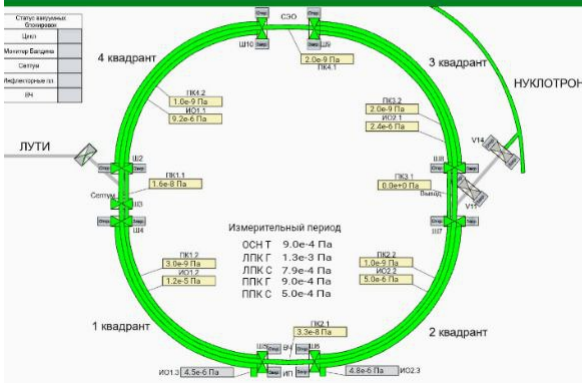
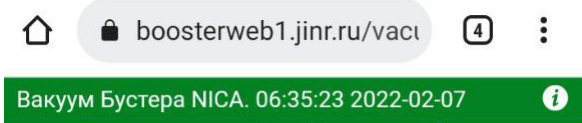
#Подключение к устройству
device = tango.DeviceProxy("sys/tangotest/3")

#Чтение атрибута
doubleValue = device.read_attribute("double_scalar").value
print(doubleValue)

#Чтение атрибута (короткий способ)
print(device["double_scalar"].value)

#Выполнение команды
argin = 321
argout = device.command_inout("DevDouble", argin)
print(argout)
```

# Клиентский уровень :: Веб-приложения



## Преимущества:

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

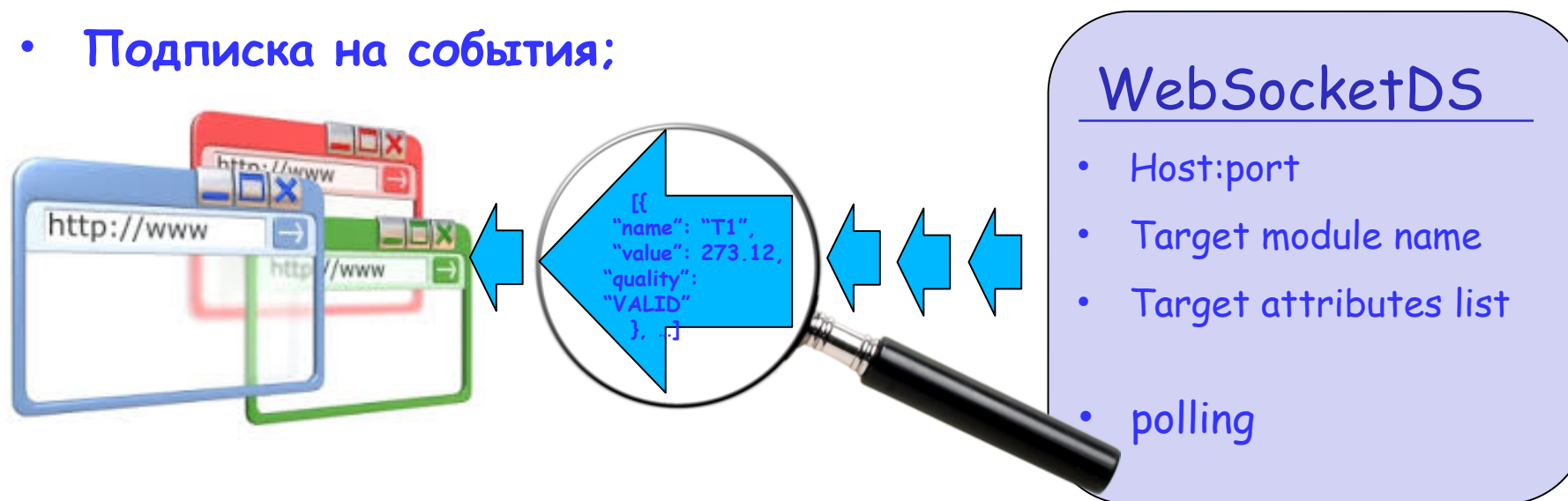
Веб-приложения для системы Tango работают при помощи технологий REST и WebSocket

# Клиентский уровень :: Веб-приложения :: WebSocketDS

WebSocket - протокол полнодуплексной связи (может передавать и принимать одновременно) поверх TCP соединения, предназначенный для обмена сообщениями между браузером и веб-сервером в режиме реального времени.

WebSocketDS:

- Чтение и запись атрибутов;
- Выполнение команд;
- Подписка на события;



## Спецификация объясняет как:

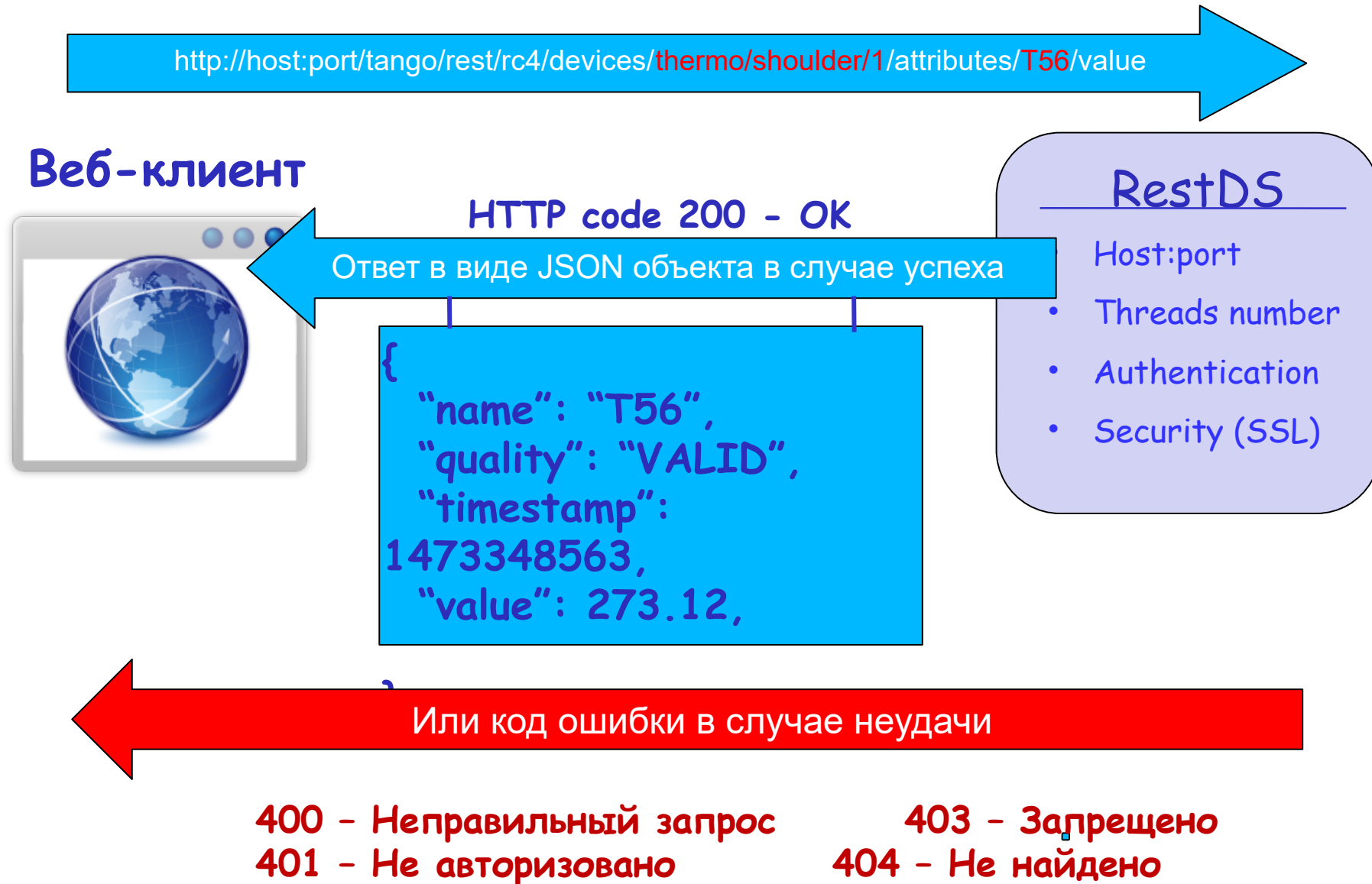
- Отображать структуру системы управления;
- Читать/Писать атрибуты;
- Выполнять команды;
- Читать/Писать пайпы;
- Получать/Устанавливать свойства;
- Использовать механизмы авторизации;
- Использовать коды ошибок;

`http://tangodevel.jinr.ru:8080/tango/rest/rc3/nuclotango.jinr.ru/20000/devices/sys/tg_test/1/attributes/DevDouble/`

**value** { **REST Service URL** { **REST API Version** { **Tango host** { **Tango device ID** { **Attribute**, **Command**, **Pipe**, **Property** }

\* <http://tango-rest-api.readthedocs.io/en/latest/>

# Клиентский уровень :: Веб-приложения :: RestDS



# Система управления :: статус

## Бустер:

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

## Отдельно

- DocDB
- Сохранение состояния системы

## Нуклотрон:

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

- Сделано
- Интегрировано
- Возможно интегрируется
- В работе

## Коллайдер:

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



# Система управления :: нерешенные задачи

- Logbook
- Приложение для визуализации архивных данных
- Системы организации "суперцикла" работы многоцелевого ускорительного комплекса
- Средства автоматического тестирования устройств Tango
- Система предупреждений и обратных связей для устройств Tango
- Автоматические регуляторы (ПИД и т.п., алгоритмы настройки регуляторов)
- Суперклиент для системы управления
- Виртуальный ускоритель: симуляция работы подсистем ускорительного комплекса на основе архивных данных
- Виртуальный ускоритель: симуляция работы подсистем ускорительного комплекса на основе математической модели
- Локальные программистские задачи по автоматизации элементов ускорительного комплекса (особенно каналов перевода пучка)
- Развитие средств диагностики пучка
- Развитие сервисов системы управления
- Организация информационного табло с актуальной информацией о работе комплекса
- Система помощи операторам комплекса на основе машинного обучения (на архивных данных, математической модели и актуальных данных из сеансов)
- Telegram бот и другие средства оповещения.