

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)  
Институт № 8 «Компьютерные науки и прикладная математика»  
Кафедра № 806 «Вычислительная математика и программирование»

**Создание модуля управления временными рядами сигналов для  
системы активного мониторинга сложных технических систем**  
Выпускная квалификационная работа бакалавра

**Студент группы М8О-407Б-19: Инютин Максим Андреевич**  
**Научный руководитель: ст. преподаватель кафедры 806**  
**Дзюба Дмитрий Владимирович**

Москва — 2023



- Газотурбинное оборудование широко используется на электростанциях. Сбои и поломки турбин приводят к перебоям в электросети.
- Предсказание аварий позволяет заблаговременно ремонтировать оборудование, тем самым сокращая ресурсы на устранение последствий.
- Цифровой двойник электростанции используется для аналитики, предсказания сбоев и заблаговременного проведения обслуживания.



**Цель** — разработать модуль, обеспечивающий управление структурой хранения временных рядов и данными сенсоров для системы мониторинга цифрового двойника промышленных электростанций, использующих газотурбинное оборудование.



## Задачи:

- 1 Спроектировать модель данных дерева организационной структуры предприятия.
- 2 Описать способы взаимодействия: добавление, удаление и изменение вершин и рёбер дерева.
- 3 Спроектировать модель хранения временных рядов датчиков.
- 4 Изучить средства и технологии, которые будут применяться в ходе разработки программного продукта.
- 5 Реализовать модуль управления графом организационной структурой и данными.
- 6 Разработать алгоритм объединения данных датчиков с разными частотами дискретизации.
- 7 Реализовать генерацию данных для таблиц датчиков, алгоритм получения наборов временных рядов.
- 8 Произвести тест производительности реализованного модуля.



Необходимо предусмотреть следующие особенности:

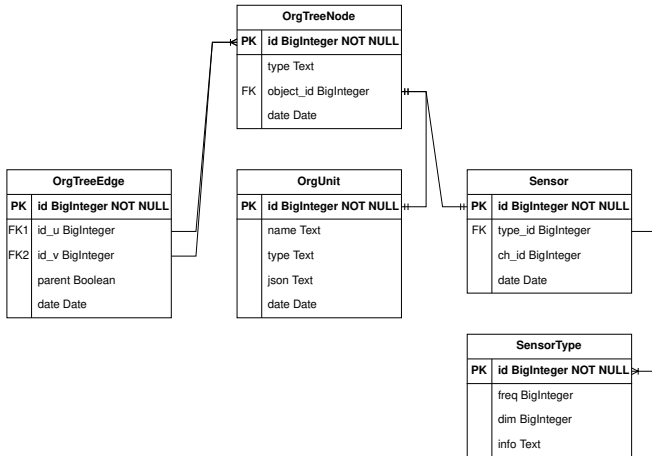
- Возможность управлять деревом организационной структуры, набором датчиков и их характеристиками.
- Предусмотреть интерфейс получения данных с датчиков для последующего мониторинга и аналитики.
- Датчики могут иметь разные частоты дискретизации, нужно интерполировать значения по последним известным на данный момент.
- Временные ряды должны храниться в ClickHouse, а справочники в PostgreSQL.



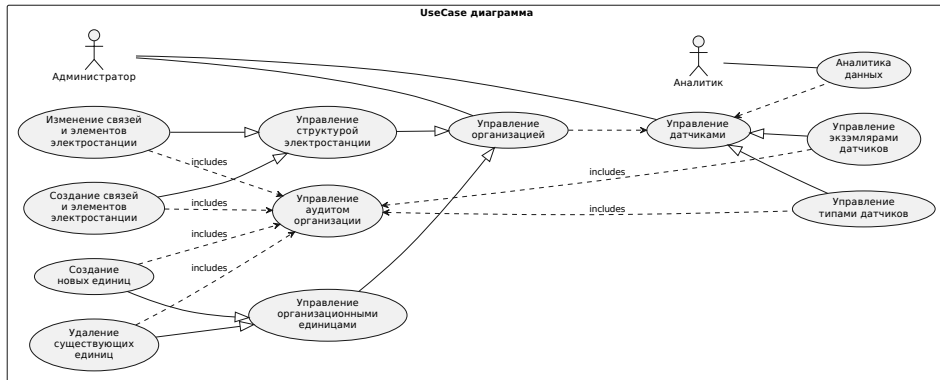
- **Python** является основным языком программирования, который использовался при решении задач;
- **FastAPI** реализует веб-интерфейс для взаимодействия с модулем и базами данных, **SwaggerUI** визуализирует веб-интерфейс;
- **SQLAlchemy** позволяет работать с базами данных на основе объектно-ориентированного подхода;
- **PostgreSQL** обеспечивает хранение дерева организационной структуры предприятия и информации о датчиках;
- **ClickHouse** хранит большие объёмы данных, получаемые от сенсоров;
- **Docker** позволяет разворачивать и переносить изолированные контейнеры с базами данных;
- **GraphViz** визуализирует дерево организационной структуры.



Модель графа организационный структуры:

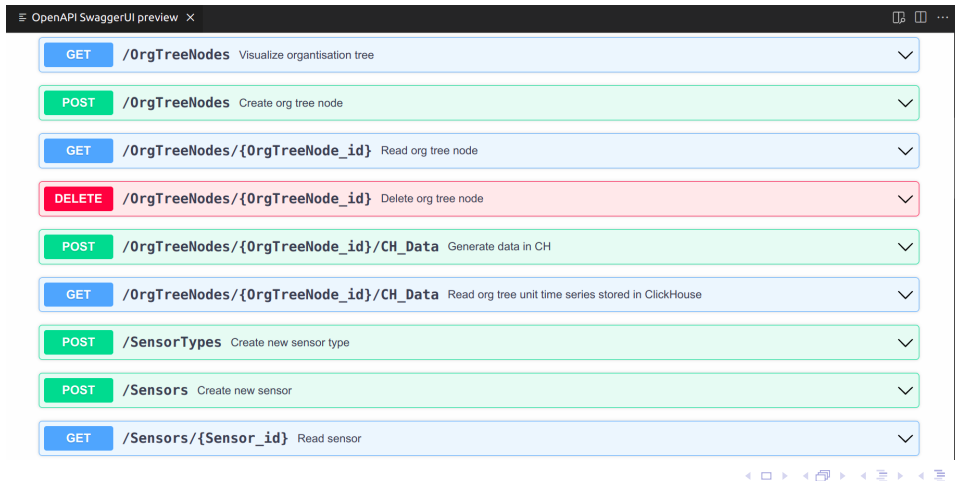


## Основные способы управления временными рядами и деревом орг. структуры





Для демонстрации программного продукта используется OpenAPI SwaggerUI



## Справочная информация в SwaggerUI

OpenAPI SwaggerUI preview

```
SensorType {
  id*          SensorType_id integer($int64)
               The unique identifier of a sensor type

  freq*       integer($int64)
  dim*        integer($int64)
  info*       string
}
```

```
Sensor {
  id*          Sensor_id integer($int64)
               The unique identifier of a sensor

  type_id*     SensorType_id integer($int64)
               The unique identifier of a sensor type

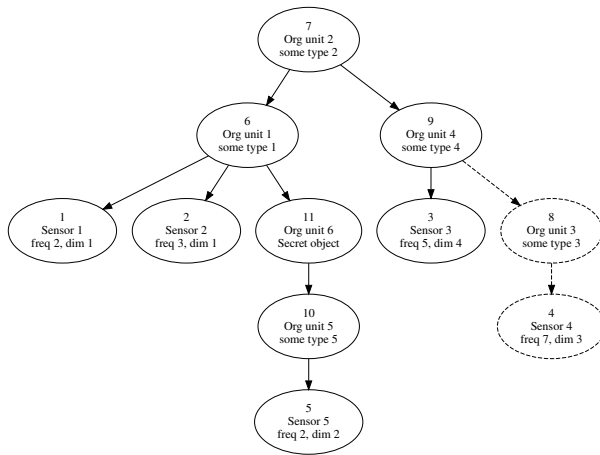
  chid         CH_Sensor_id integer($int64)
               The unique identifier of ClickHouse sensor table

  date*       Date string($date)
               Date of removal
}
```

Error



## Визуализация дерева организационной структуры



## Получение набора временных рядов с датчиков 1, 2, 5

OpenAPI SwaggerUI preview X

Curl

```
curl -X 'GET' \
'http://localhost:8080/OrgTreeNodes/6/CH_Data?time_begin=2023-04-12T14%3A10%3A45.123Z&time_end=2023-04-12T14%3A10%3A55.123Z' \
-H 'accept: text/csv'
```

Request URL

```
http://localhost:8080/OrgTreeNodes/6/CH_Data?time_begin=2023-04-12T14%3A10%3A45.123Z&time_end=2023-04-12T14%3A10%3A55.123Z
```

Server response

Code	Details
200	<div>Response body</div> <pre>"Time, ms",Sensor_1_value_1,Sensor_2_value_1,Sensor_5_value_1,Sensor_5_value_2 2023-04-12 14:10:44.309000,17290.0,25935.0,34580.0,34580.1 2023-04-12 14:10:44.642333,17290.0,25935.1,34580.0,34580.1 2023-04-12 14:10:44.809000,17290.1,25935.1,34580.2,34580.3 2023-04-12 14:10:44.975667,17290.1,25935.2,34580.2,34580.3 2023-04-12 14:10:45.309000,17290.2,25935.3,34580.4,34580.5 2023-04-12 14:10:45.642333,17290.2,25935.4,34580.4,34580.5 2023-04-12 14:10:45.809000,17290.3,25935.4,34580.6,34580.7 2023-04-12 14:10:45.975667,17290.3,25935.5,34580.6,34580.7 2023-04-12 14:10:46.309000,17290.4,25935.6,34580.8,34580.9 2023-04-12 14:10:46.642333,17290.4,25935.7,34580.8,34580.9 2023-04-12 14:10:46.809000,17290.5,25935.7,34581.0,34581.1 2023-04-12 14:10:46.975667,17290.5,25935.8,34581.0,34581.1 2023-04-12 14:10:47.309000,17290.6,25935.9,34581.2,34581.3 2023-04-12 14:10:47.642333,17290.6,25936.0,34581.2,34581.3 2023-04-12 14:10:47.809000,17290.7,25936.0,34581.4,34581.5</pre>

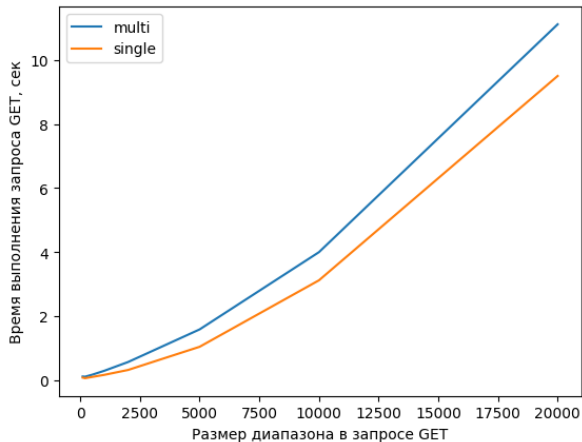


- `multi` — каждому датчику соответствует отдельная таблица в ClickHouse.
- `single` — единая таблица для всех датчиков, в которой предварительно выполнена интерполяция данных.

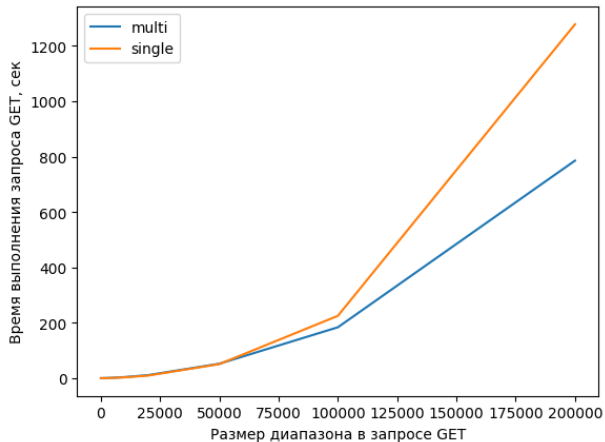
Необходимо сравнить способы и выбрать более эффективный с точки зрения вычислительных ресурсов.



Графики времени обработки запроса для диапазонов до 20000 секунд



Графики времени обработки запросов для больших диапазонов



QR-код со ссылкой на GitHub репозиторий с исходным кодом





- В результате выполнения ВКР был разработан модуль управления временными рядами сигналов сложных технических систем на языке Python с использованием СУБД PostgreSQL и ClickHouse.
- Модуль автоматизирует сбор информации с сенсоров системы, тем самым упрощая создание цифрового двойника электростанции.
- Данные с датчиков надёжно хранятся в базе данных и будут использованы для моделирования объекта и предиктивной аналитики.
- Можно будет оптимизировать работу оборудования, замедляя темпы его износа, повысить отказоустойчивость как отдельной электростанции, так и всей электросети в целом.

