Common Information Model

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДПИСКИ НА ИЗМЕНЕНИЯ CIM-МОДЕЛИ И СИНХРОНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ РЕЗЕРВНОЙ SCADA НА ОСНОВЕ ЯЗЫКА ЗАПРОСОВ SPARQL

Ольховик Дмитрий Александрович

Заместитель директора по ИТ, ООО «ИнноТех Солюшнс»



InnoTech Solutions

Проблематика и актуальность

ПРОБЛЕМАТИКА:

Современные энергосистемы требуют высокой надежности и бесперебойности управления, при нарушениях в каналах связи, сетевом оборудования, недоступности основной SCADA и др., что обеспечивается, в частности, наличием распределенных резервных центров управления с актуальными копиями данных.

АКТУАЛЬНОСТЬ:

Актуальной задачей является обеспечение синхронизации цифровых моделей между основной и резервными SCADA-системами, особенно в условиях их территориальной распределенности и необходимости отслеживания изменений только для релевантных объектов. Существующие подходы к полной репликации модели неэффективны при необходимости синхронизации только выделенных частей модели (объектов подписки), что тем самым позволяет снижать затраты на используемое оборудования для резервной SCADA (более низкие требования к аппаратной части), снизить нагрузку и повысить скорость синхронизации цифровых моделей резервной и основной SCADA.



Хранилище

При работе с данными в первую очередь мы оцениваем персистентность и надежность хранилища.
Для графовых данных обычно выделяют два класса решений:

Ненативные (graph-on-top)

- Изначально создавались под другие модели: реляционную, документную, колоночную.
- Граф представляется «поверх» базовой модели: узлы и рёбра хранятся как таблицы/документы/структуры.
- Графовые запросы выполняются через расширения или отдельные движки (например, графовые расширения в SQL-СУБД).

Нативные (native graph DB)

- Спроектированы с нуля для графов.
- Узлы, рёбра и свойства хранятся в структуре, оптимизированной под граф.
- Движок ориентирован на быструю навигацию по связям и эффективные обходы.

Ключевое требование проекта: хранилище должно поддерживать язык запросов SPARQL.

Почему SPARQL?

SPARQL выбран как основной язык запросов для работы с CIM-моделью по трём причинам:

1 Сложные запросы по связям и иерархиям

В CIM-модели часто необходимо выполнять запросы, учитывающие сложные связи между объектами. Например, требуется найти все трансформаторы подстанции X, и их параметры. SPARQL позволяет описывать шаблоны графов, что упрощает процесс поиска данных и делает его более эффективным.

---

2 Гибкость и расширяемость модели

CIM-модель может быть адаптирована под конкретные нужды организации или рынка путём добавления новых классов оборудования, метрологических данных, тарифов и других элементов. SPARQL/RDF предоставляет гибкие инструменты для расширения модели без изменения её базовой структуры. Это достигается за счёт использования новых троек, что позволяет легко интегрировать дополнительные данные.

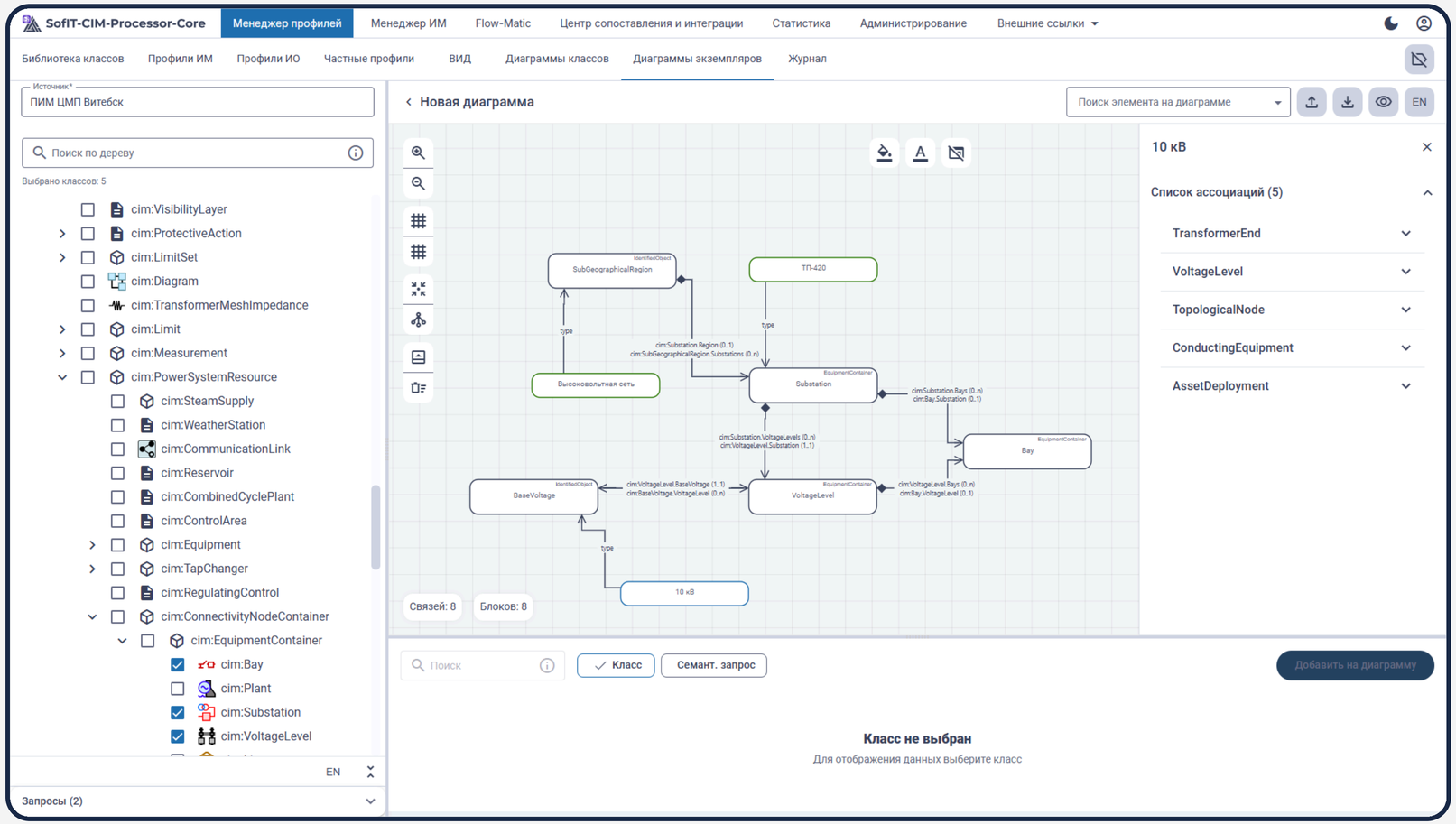
---

3 Интеграция и федеративные запросы

В энергетике и смежных отраслях данные часто распределены по различным системам, таким как АСУ ТП, биллинг, ГИС и ИСУЭ, СУПА. SPARQL поддерживает федеративные запросы, что позволяет объединять данные из разных источников в одном запросе. Это обеспечивает целостность и полноту информации при выполнении аналитических задач.

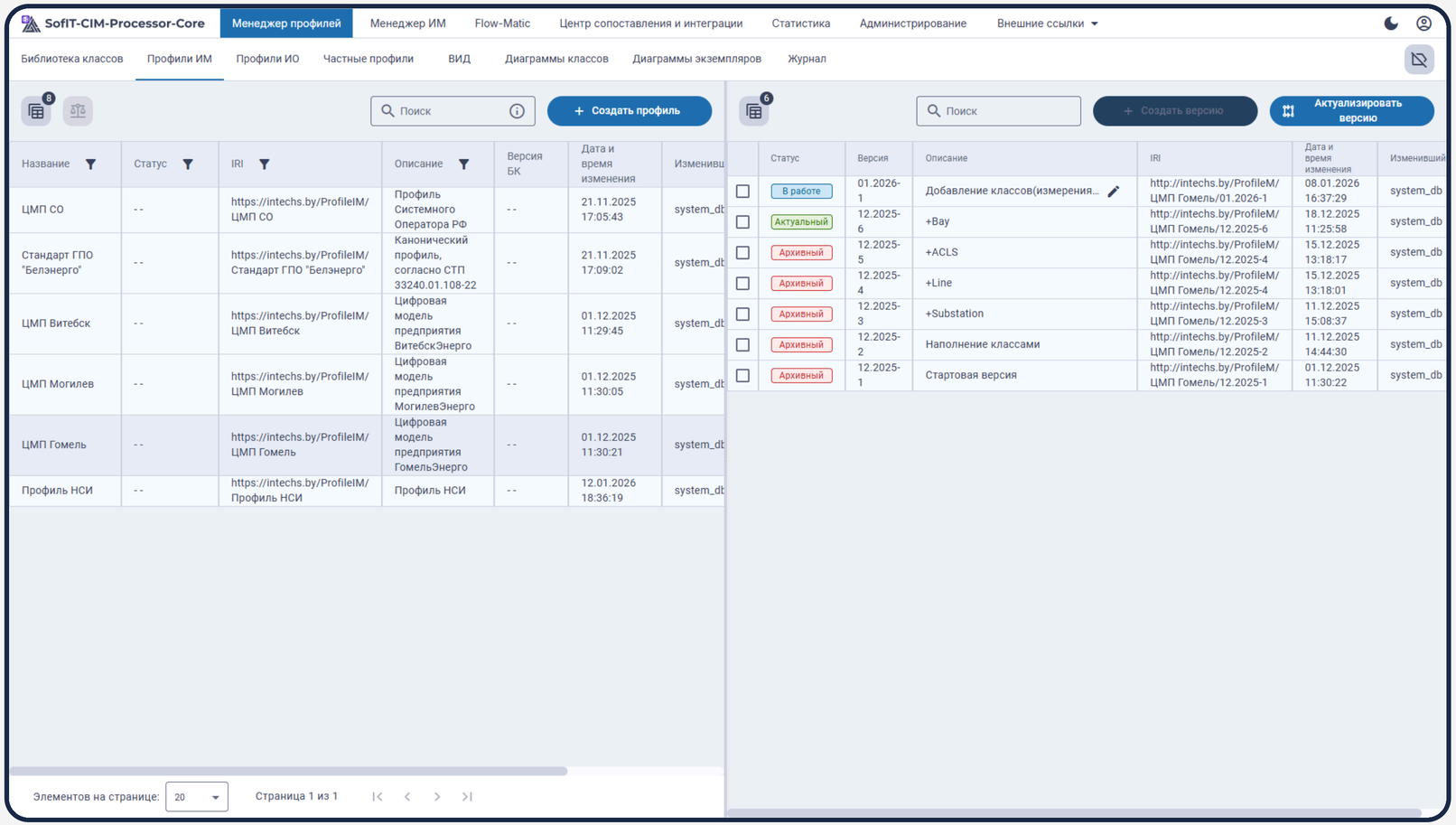
Пример использования

Диаграммы экземпляров



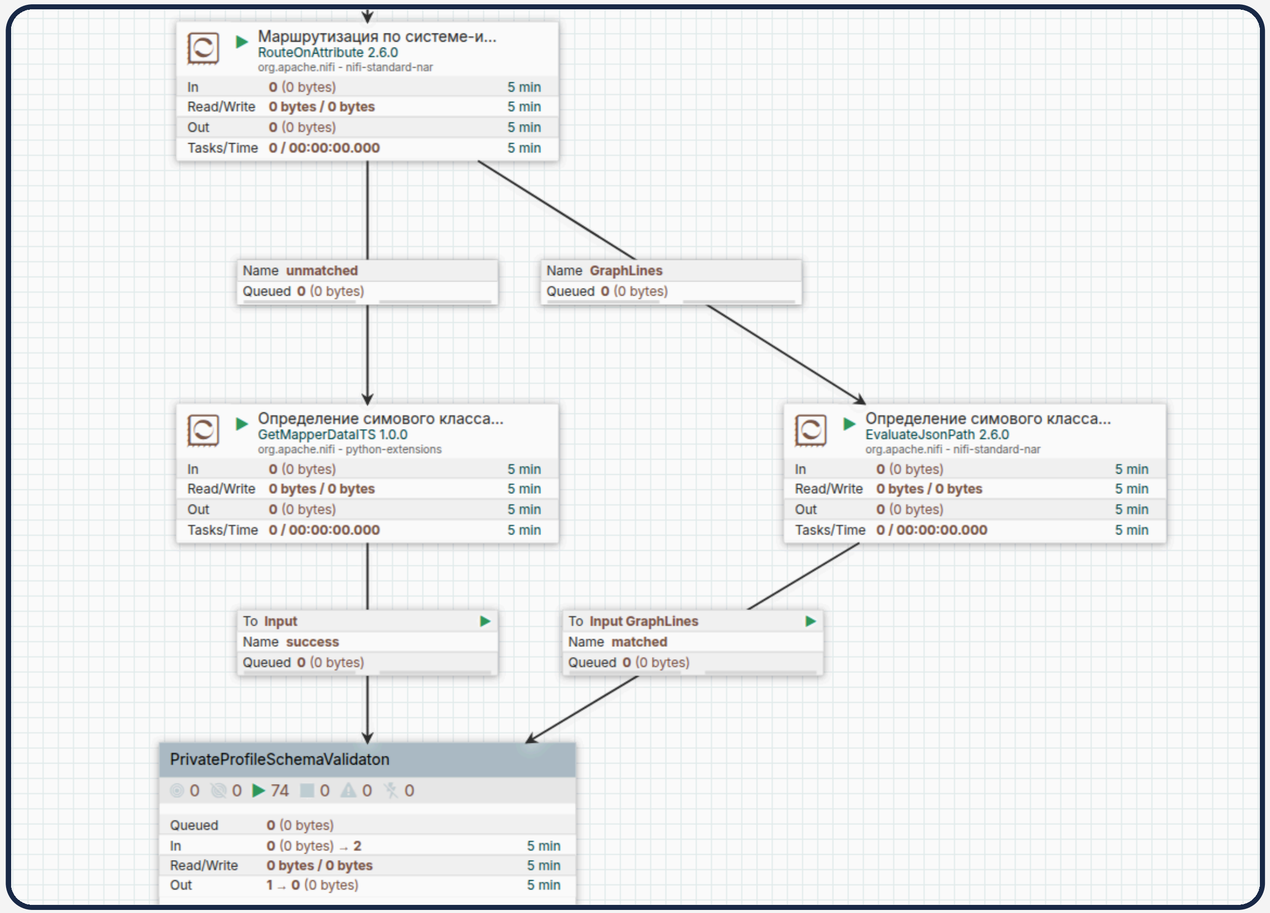
Пример использования

Профили информационной модели



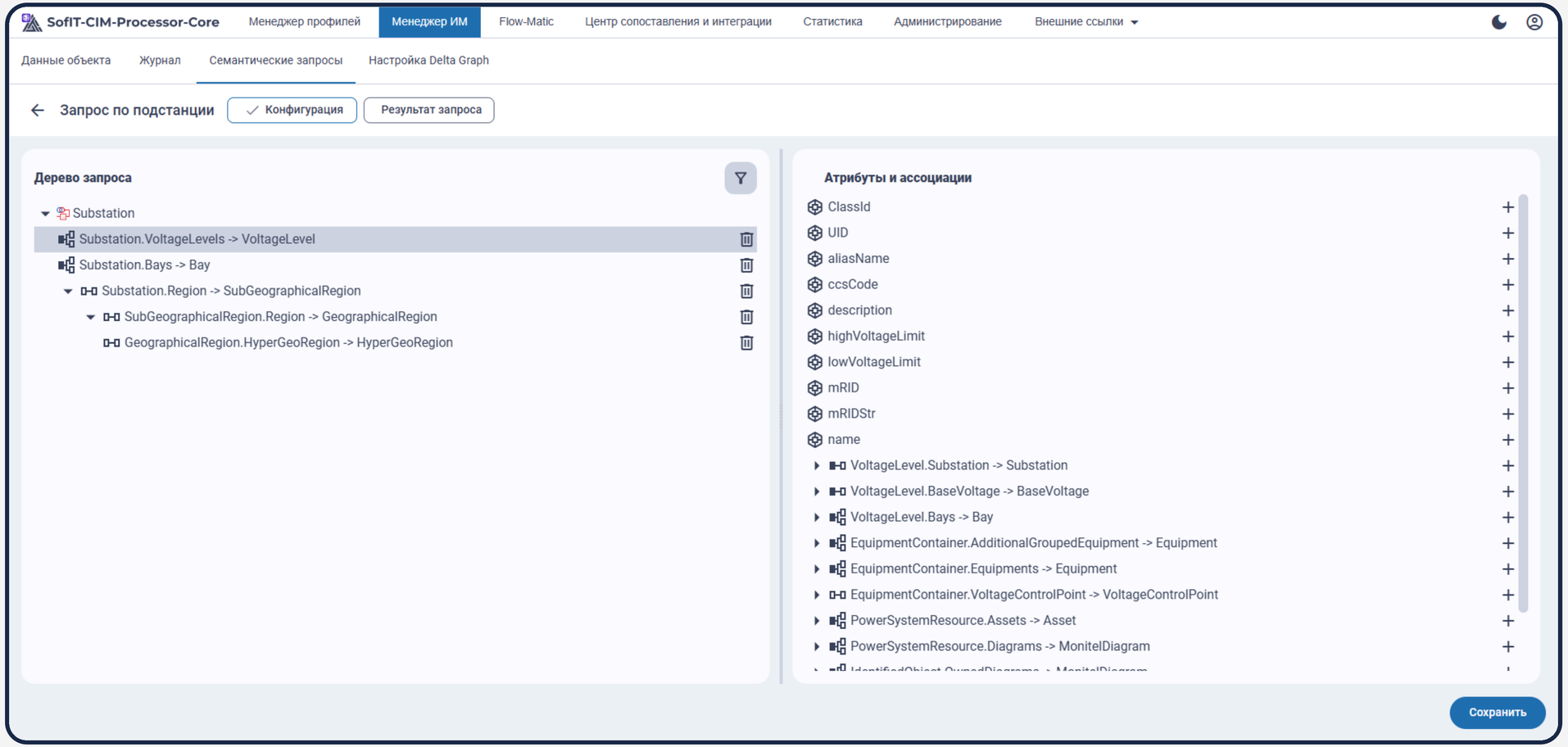
Пример использования

ETL/ELT потоки данных



Пример использования

Семантические запросы



Замеры разных реализаций хранилищ

Тестовый стенд:

- 16 CPU;
- 32 GB RAM;
- 200 GB SSD.

Дополнительные проблемы ненативного подхода (в дальнейших тестах):

- Существенное замедление запросов выборки при объёме модели в несколько миллионов троек;
- Высокое потребление оперативной памяти.

Сценарий теста:

Загрузка инициализирующей модели объёмом **3,5 GB** (≈42 миллиона троек).

Результаты:

- Ненативное хранилище: загрузка заняла более суток; данные пришлось дробить, поскольку 32 GB RAM недостаточно для стабильной загрузки в одном прогоне.
- Нативное хранилище: время загрузки — 12 минут.

Вывод

Выбор в пользу нативного графового хранилища сделан по следующим причинам:

- Производительность и ресурсоёмкость: заметно выше скорость работы при меньших требованиях к вычислительным ресурсам.
- Целостность данных: снижает риск дублирования и логических несоответствий в модели.
- Гибкая схема: отсутствует необходимость сопровождать DDL и миграции. Мета-информация (профиль информационной модели) настраивается на уровне специалистов, сопровождающих систему; ключевое требование — знание CIM.

«Дельтаграф»: от задачи к сервису

Для решения описанной задачи мы начали разработку сервиса «Дельтаграф». Его назначение — предоставлять релевантные объекты пользователям и внешним системам за счёт настройки наблюдаемых объектов.

Конфигурирование — это процесс подписки: консьюмер выбирает интересующие объекты или группы объектов, после чего сервис начинает формировать и поставлять соответствующие данные (также именуемые у нас как “дельтадиффы”).

«Дельтаграф» является частью интеграционной платформы Цифровой модели предприятия (ЦМП), основан на открытых стандартах (включая SPARQL) и решает две ключевые задачи:

1. **Первичная инициализация модели**

   Выгружает текущее состояние объектов подписки из централизованного графового RDF-хранилища в формате CIM XML — для первоначального создания данных в целевой системе (резервная региональная SCADA).

2. **Доставка инкрементальных изменений**

   Отслеживает и доставляет только изменения (дельтадиффы) по объектам подписки в стандартном формате CIM XML.

Типы конфигураций

- По наименованию класса (пример, справочная информация);

```
{"by_class_name":[{"class_name":"BaseVoltage","prefix":"cim"}]}
```

- По списку uids (ручная настройка, не всегда удобно);

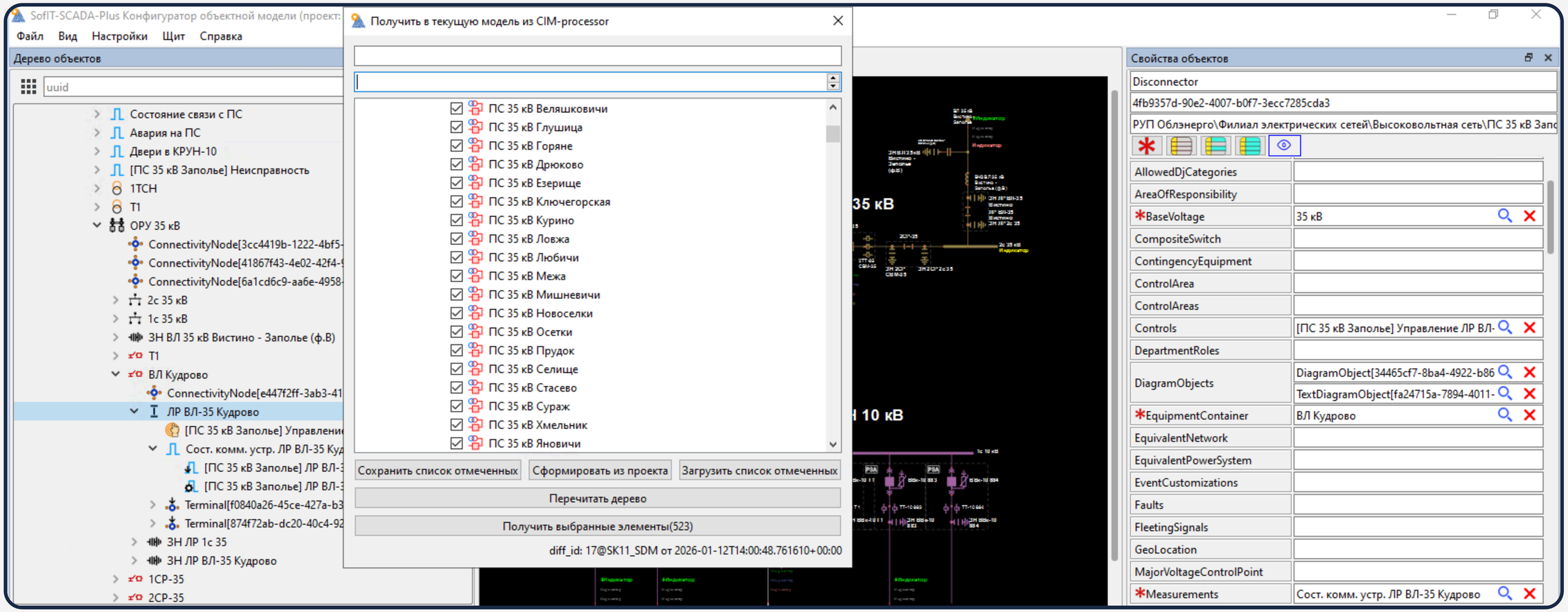
```
{"by_uids":[{"uid":"e8abb7e6-6ab5-44c4-8840-b6e67ca74fa6"}]}
```

- Список uids с возможностью рекурсивного обхода дочерних элементов (введение иерархических аттрибутов Parent/Child) - ускоряет конфигурирование;

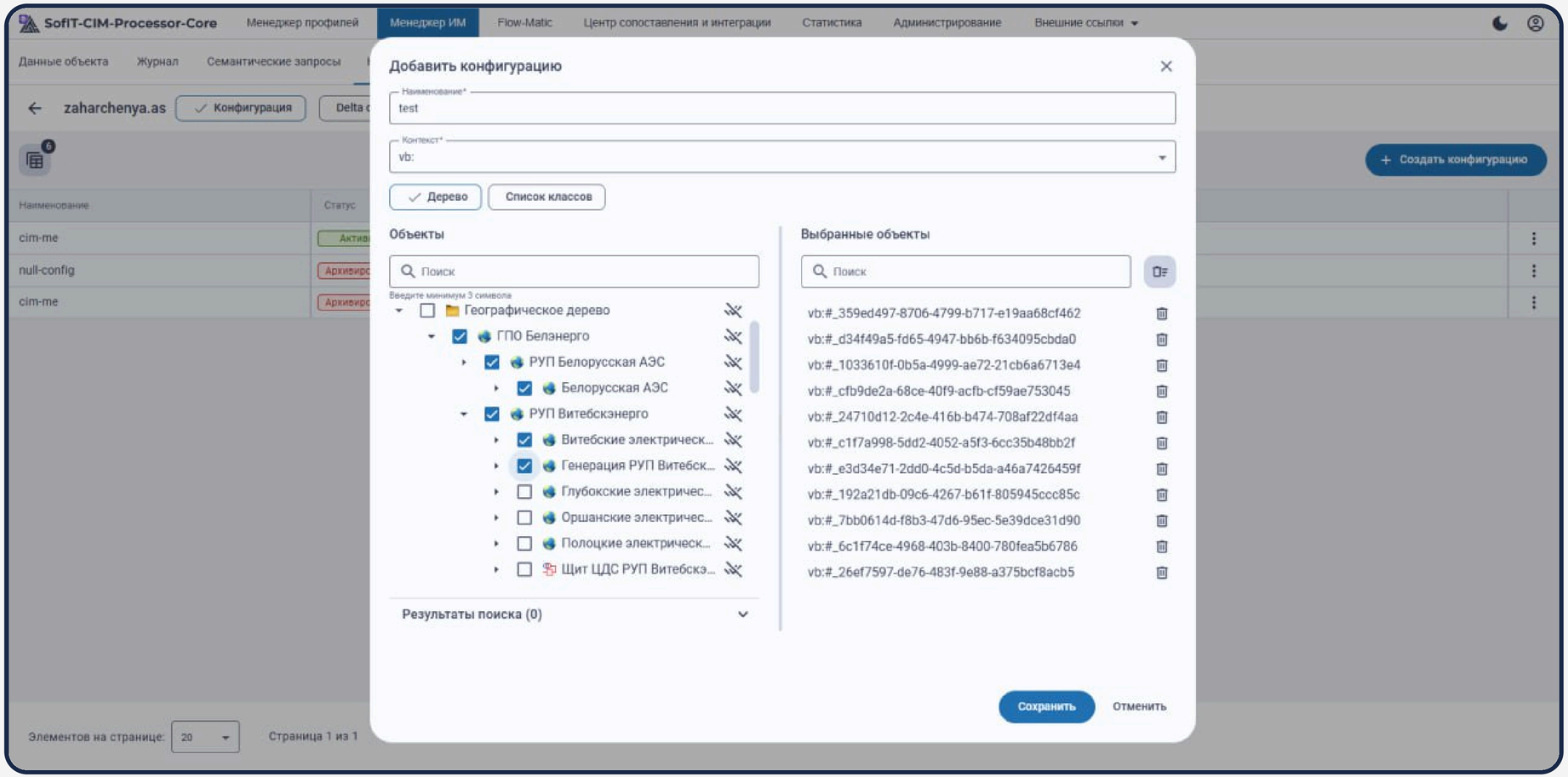
```
{"by_uids":[{"uid":"e8abb7e6-6ab5-44c4-8840-b6e67ca74fa6","recursive":true}]}
```

- Список uids с возможность собрать все зависимости относительно определенного класса с помощью SPARQL - экспертный режим (необходимы знания SPARQL).

Пример интерфейса конфигурирования со стороны консюмера



Пример интерфейса конфигурирования со стороны шины данных и основного хранилища



Примеры SPARQL-запросов

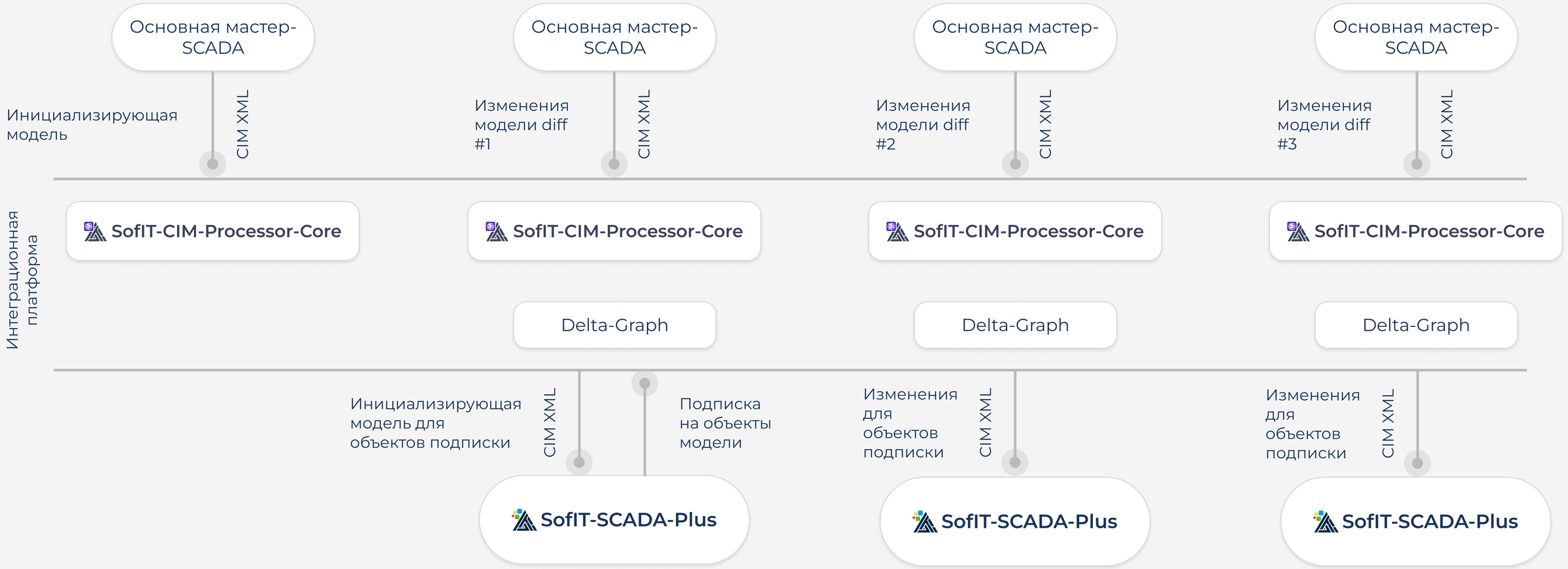
Получить все вложенные uids по uid

```
PREFIX ex:<http://example.com/2014/cim16#>
SELECT
    ?objects
WHERE {
    <#_a8b484fa-124d-48d8-b271-27f1dc7111c2> ex:IdentifiedObject.Child+ ?objects
}
```

Получить список uids PowerTransformer по uid Substation

```
PREFIX cim:<http://iec.ch/TC57/2014/CIM-schema-cim16#>
SELECT
    ?objects
WHERE {
    <#_5e52c1a6-df55-478e-b03b-39ea43040be6> cim:EquipmentContainer.Equipments ?objects.
    ?objects a cim:PowerTransformer
}
```

Схема. Реализация доставки изменений ЦМП объектов подписки на основе сервиса Дельтаграф



Заключение и выводы

Разработанное решение на основе сервиса Дельтаграф подтвердило свою эффективность для задач синхронизации распределенных SCADA-систем

Основные выводы:

- Реализован селективный механизм подписки с применением языка запросов SPARQL на объекты CIM-модели, что позволяет значительно снизить нагрузку на сеть и вычислительные ресурсы по сравнению с полной репликацией.
- Использование открытого формата CIM XML обеспечивает совместимость решения с системами управления, поддерживающими международные стандарты.
- Реализация прошла апробацию в рамках организации взаимодействия основной и резервной региональной SCADA, показав надежность доставки изменений и корректность первичной инициализации моделей.
- Практическое применение результатов проекта позволяет повысить отказоустойчивость систем оперативно-диспетчерского контура за счет создания актуальных и синхронизированных резервных копий моделей данных.
- Экономическая выгода, снижение затрат на оборудование резервных центров управления и повышение надежности и скорости принятия решения при локализации аварийных ситуаций.

Направление дальнейшей работы (исследования)

Перспективными направлениями развития проекта являются:

- Расширение функционала подписки за счет поддержки более сложных условий фильтрации (на основе SPARQL-запросов).
- Оптимизация механизма доставки изменений для работы в условиях нестабильных каналов связи.
- Исследование возможности применения для синхронизации не только с SCADA, но и с другими системами (EMS, DMS).

ООО “ИнноТех Солюшнс”

220100, г. Минск, ул. Кульман, 21 Б-4, 9
220062, г. Минск, пр-т. Победителей, 104-105
220062, г. Минск, пр-т. Победителей, 108-104

+375 (17) 397 28 77

info@intechs.by
olhovik.da@intechs.by

www.intechs.by

