



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

Методы валидации Информационных моделей ЕЭС России, сформированных по стандартам CIM

Шевчук С.А., главный специалист Службы автоматизированных
систем диспетчерского управления Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Урала



CIM как продолжение идеологии Semantic Web

2

CIM

CIM – это онтология



RDF Schema – это
средство описания
онтологий



RDF – это граф
знаний



IEC 61970-501

**Описывает CIM RDF
Schema**



IEC 61970-552

**Закрепляет RDF как
основной формат
информационного
обмена в CIM**



RDF (resource description framework) – разработанная Консорциумом всемирной паутины модель для представления данных и метаданных

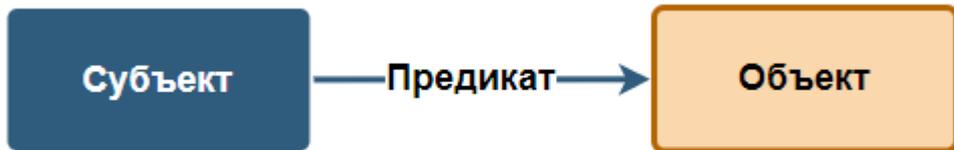
Преимущества RDF:

- Подходит для описания любых онтологий
- Поддерживает неограниченное расширение словаря без необходимости обновления всех систем, использующих данные
- Крайне понятная семантика
- Сериализуется во множество форматов (Turtle, XML, JSON-LD, Notation3 и т.д.)



RDF использует IRI для идентификации сущностей, а структуру триплетов – для описания связей между сущностями

Триплет представляет собой структуру следующего вида:



so:ПС_Южная	cim:Equipments	so:АТГ1
so:АТГ1	cim:PowerTransformerEnd	so:ВН_АТГ1
so:ВН_АТГ1	cim:ratedS	501

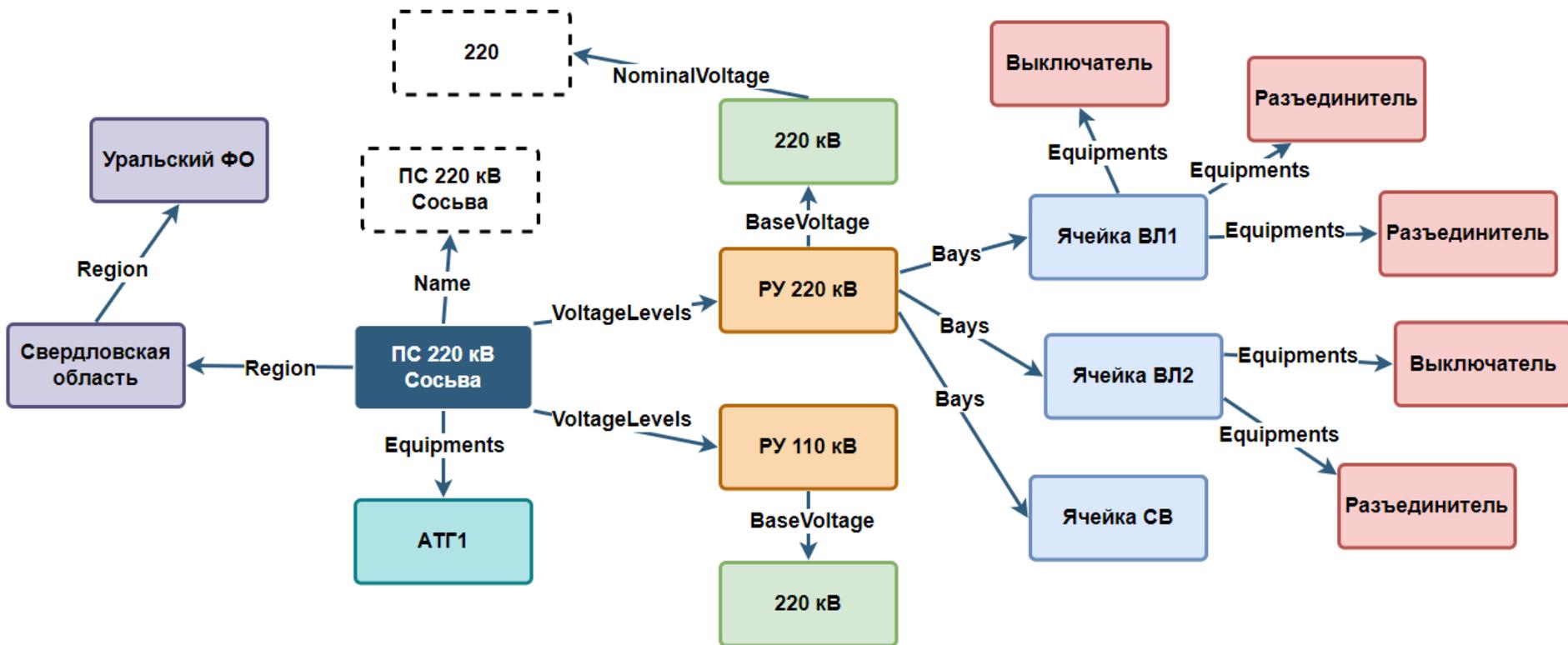
Сущность (субъект и объект) – узел графа, представляющий абстрактные или материальные вещи (класс напряжения, секция шин, организация)

Предикат – ребро графа, обозначающее некоторую связь между сущностями (например, «находится в»)

Объектом может быть не только сущность, но и литерал (число, строка и т.д.)

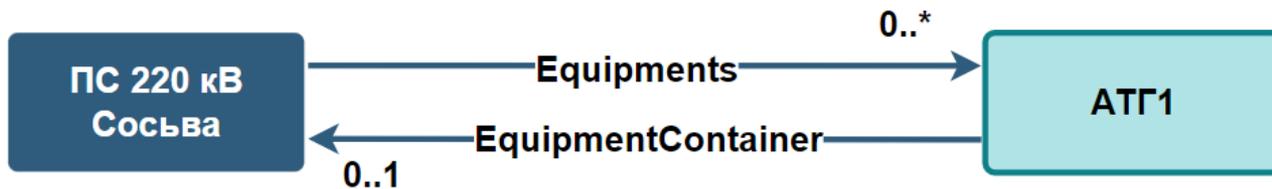


CIM-модель как граф





В CIM сущности связаны между собой двусторонне и каждая связь имеет определённую множественность



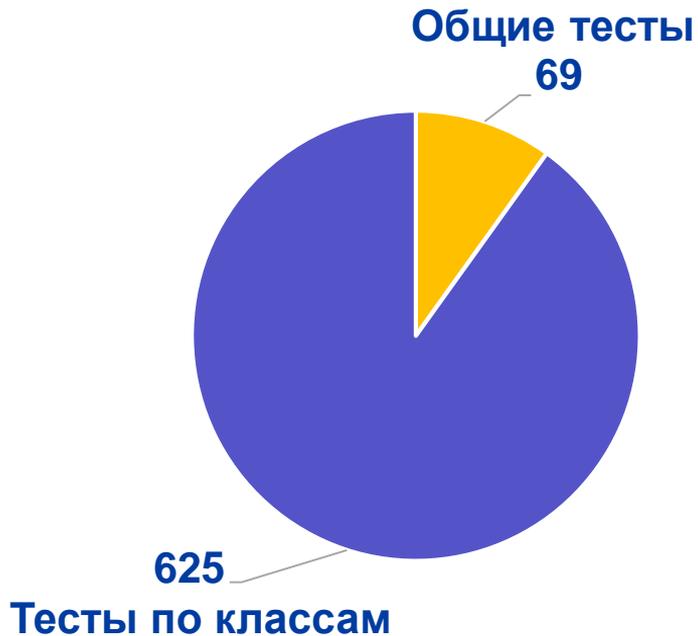


Потребность в оценке качества информационных моделей зависит от сферы применения

Критерии оценивания:

- Синтаксическая корректность
- Семантическая корректность
- Достоверность информации
- Общие принципы формирования модели (сложно формализуемый критерий)

Используемые СО средства валидации. Правила проверки



В СО для валидации информационной модели используются 694 правила проверки, написанные на С#

Плюсы:

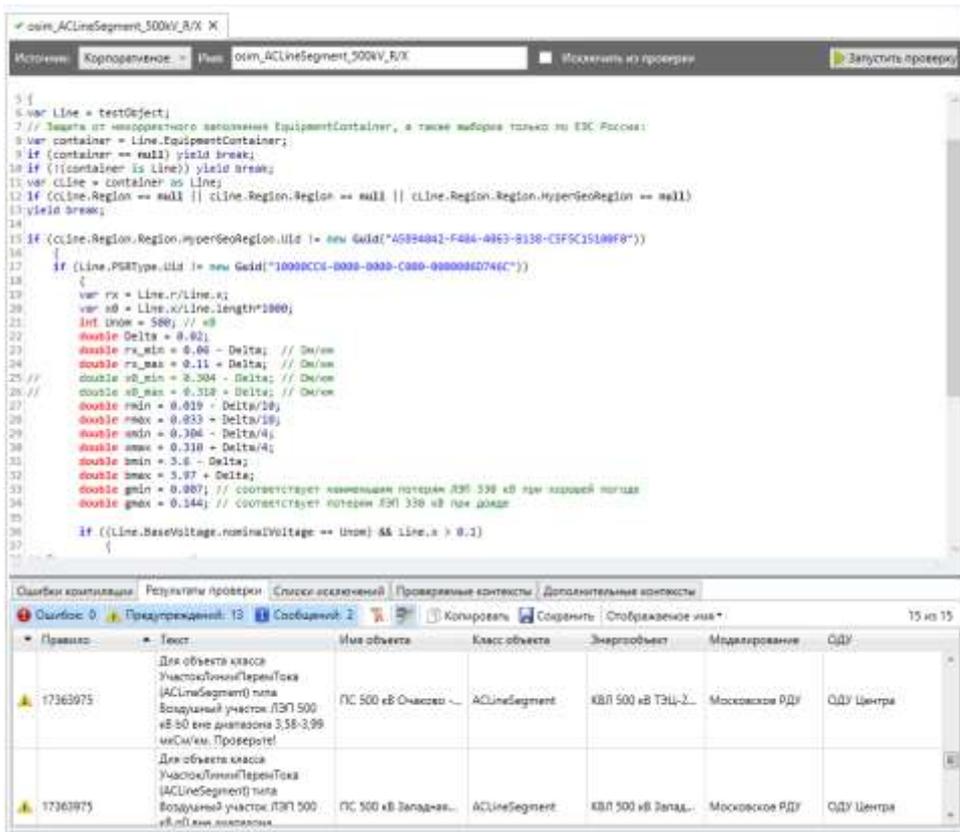
- Полный доступ ко всем возможностям С#
- Возможность накладывать ограничения как объекты конкретного класса, так и на все объекты
- Быстрая проверка (2-3 минуты на уровне ОДУ)
- Наглядный протокол проверки

Минусы:

- Использование доступно только внутри СК-11
- Далеко от общемировой практики

Используемые СО средства валидации. Правила проверки

10



```
5 {
6 var Line = testObject;
7 // Защита от многократного вызова метода EquipmentContainer, а также защита только по БС России
8 var container = Line.EquipmentContainer;
9 if (container == null) yield break;
10 if (!(container is Line)) yield break;
11 var cLine = container as Line;
12 if (cLine.Region == null || cLine.Region.Region == null || cLine.Region.Region.HyperGeoRegion == null)
13 yield break;
14
15 if (cLine.Region.Region.HyperGeoRegion.Uid != new Guid("A0924842-F486-4963-8138-C3F5C3108F9"))
16 {
17     if (Line.PSType.Uid != new Guid("10000CC1-0030-0030-C000-00000000D746C"))
18     {
19         var rX = Line.r/Line.k;
20         var s0 = Line.k/Line.length*1000;
21         int Unom = 500; // кВ
22         double Delta = 0.02;
23         double rX_min = 0.00 - Delta; // Дельта
24         double rX_max = 0.11 - Delta; // Дельта
25         double r0_min = 0.304 - Delta; // Дельта
26         double r0_max = 0.310 - Delta; // Дельта
27         double r0n = 0.019 - Delta/10;
28         double r0mx = 0.033 - Delta/10;
29         double r0nd = 0.306 - Delta/4;
30         double r0me = 0.310 - Delta/4;
31         double r0ml = 3.0 - Delta;
32         double r0ms = 3.07 - Delta;
33         double r0nr = 0.007; // соответствует минимальным потерям ЛЭП 330 кВ при холодной погоде
34         double r0nx = 0.144; // соответствует потерям ЛЭП 330 кВ при дожде
35
36         if ((Line.BaseVoltage.nominalVoltage == Unom) && Line.k > 0.2)
37         {
```

Правило	Текст	Имя объекта	Класс объекта	Энергообъект	Моделирование	ОДУ
17363975	Для объекта класса УчастокЛинииТермТока (ACLineSegment) типа Воздушный участок ЛЭП 500 кВ в диапазоне 3,58-3,99 км/км. Проверьте!	ПС 500 кВ Чкаловск...	ACLineSegment	КВЛ 500 кВ ТЭЦ-2...	Московское РДУ	ОДУ Центра
17363975	Для объекта класса УчастокЛинииТермТока (ACLineSegment) типа Воздушный участок ЛЭП 500 кВ в диапазоне 3,58-3,99 км/км. Проверьте!	ПС 500 кВ Запад-восток...	ACLineSegment	КВЛ 500 кВ Запад-восток...	Московское РДУ	ОДУ Центра

Дополнительные возможности:

- ❑ Возможность гибко задавать исключения (по классам, по конкретным объектам)
- ❑ Возможность включать/отключать правила для различных контекстов модели

Используемые СО средства валидации. Проверка фрагментов ИМ от ПАО «Россети»

11



Свердловским РДУ разработано средство проверки фрагментов в формате CIMXML

Плюсы:

- ❑ Разработан на C# и позволяет добавлять правила любой сложности
- ❑ Не требуется стороннего программного обеспечения

Минусы:

- ❑ Сложность дальнейшего поддержания средств валидации в актуальном состоянии
- ❑ Далеко от общемировой практики



RDF Schema расширяет возможности RDF, задает структуру графа и позволяет:

- ❑ Создавать классы и экземпляры классов

`cim:Substation` `rdf:type` `rdfs:Class`

`so:Сосьва` `rdf:type` `cim:Substation`

- ❑ Объявлять типы предикатов, их область определения

`cim:Equipments` `rdf:type` `rdf:Property`

`cim:Equipments` `rdfs:range` `cim:Equipment`

`cim:Equipments` `rdfs:domain` `cim:Substation`

- ❑ Создавать иерархию классов и предикатов

`cim:Substation` `rdfs:subClassOf` `cim:EquipmentContainer`

`cim:Breaker` `rdfs:subClassOf` `cim:ProtectedSwitch`



Хотя RDF Schema не является средством валидации, она позволяет описать структуру онтологии, а потом проверить граф на соответствие этой структуре

В CIM такую структуру принято называть «профилем», то есть при помощи RDF Schema мы можем проверить полученный CIMXML файл на соответствие какому-то стандартизированному профилю, например:

- ГОСТ Р 58651.2-2019 Базисный профиль информационной модели
- ГОСТ Р 58651.3-2020 Профиль информационной модели линий электропередачи и электросетевого оборудования напряжением 110-750 кВ
- ГОСТ Р 58651.4-2020 Профиль информационной модели генерирующего оборудования



ShEx и SHACL – наиболее продвинутые средства валидации RDF-графов

Стандарт SHACL – рекомендация W3C для валидации

Стандарт ShEx – результат работы сообщества энтузиастов

“Graph shape” (контур графа) в обоих стандартах является основным механизмом валидации

Контур графа – набор ограничений на любые компоненты графа (на экземпляры заданного класса, на разрешённое количество предикат на один экземпляр, на используемые типы данных, на сочетания различных предикатов, на значения литералов и т.д.)



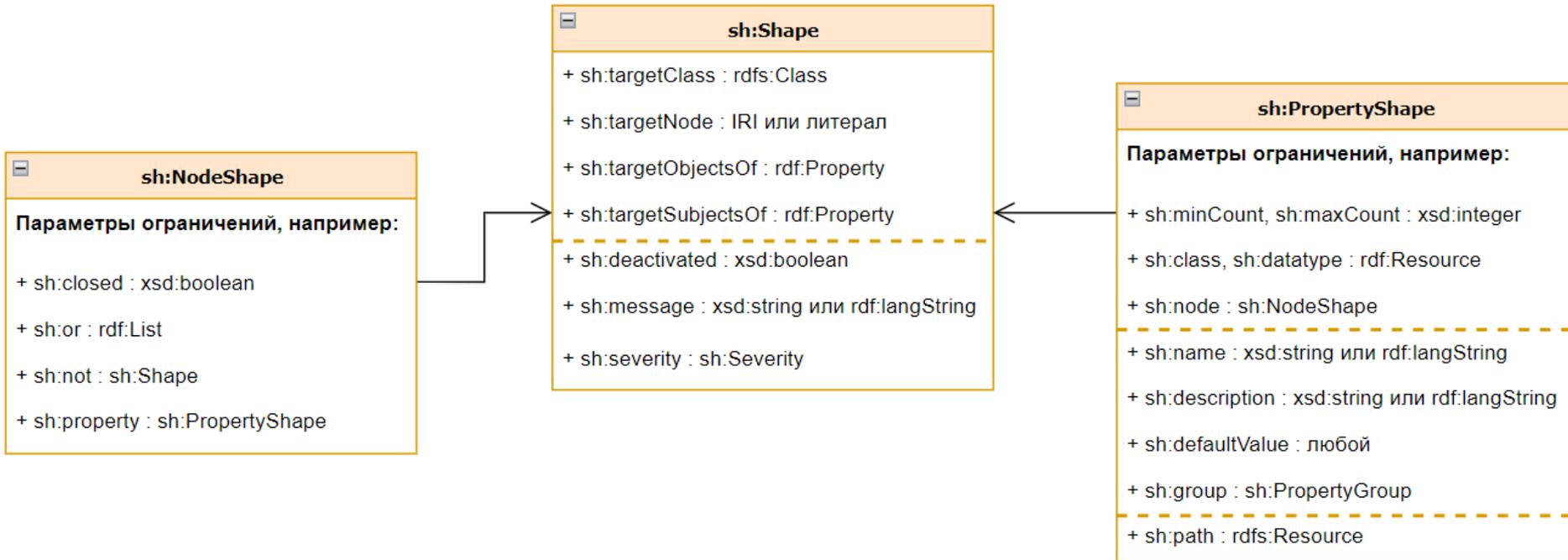
В чём SHACL превосходит ShEx

15

- ❑ SHACL в варианте SHACL-SPARQL позволяет писать ограничения на языке запросов SPARQL, что делает его крайне выразительным и мощным
- ❑ ShEx не позволяет объявить, что комбинация «предикат+языковой тэг» должна быть уникальной
- ❑ ShEx не позволяет выполнить сравнение значений различных свойств объекта. SHACL имеет Property Pair Constraint Components
- ❑ ShEx не позволяет проверку множественности с дополнительными условиями
- ❑ ShEx ограниченно поддерживает property paths из SPARQL и не позволяет указать множественность property path values



Основные концепции SHACL





На типы данных

- `sh:class`
- `sh:datatype`
- `sh:nodeKind`

На содержимое строк

- `sh:minLength`
- `sh:maxLength`
- `sh:pattern`
- `sh:languageIn`
- `sh:uniqueLang`

На множественность

- `sh:minCount`
- `sh:maxCount`

На пары свойств

- `sh:equals`
- `sh:disjoint`
- `sh:lessThan`
- `sh:lessThanOrEquals`

Дополнительные

- `sh:closed`, `sh:ignoreProperties`
- `sh:hasValue`
- `sh:in`

На числовые пределы

- `sh:minInclusive`
- `sh:minExclusive`
- `sh:maxInclusive`
- `sh:maxExclusive`

Логические операторы

- `sh:not`
- `sh:and`
- `sh:or`
- `sh:xone`



- ❑ SHACL Playground <https://shacl.org/playground/>
- ❑ AllegroGraph <https://allegrograph.com>
- ❑ Apache Jena SHACL <https://jena.apache.org/documentation/shacl/>
- ❑ Corese <https://project.inria.fr/corese/>
- ❑ pySHACL <https://github.com/RDFLib/pySHACL>
- ❑ Neo4J <https://neo4j.com/labs/neosemantics/4.0/validation/>
- ❑ RDF4J <https://rdf4j.org/documentation/programming/shacl/>
- ❑ shaclex <https://github.com/weso/shaclex>
- ❑ StarDog <https://www.stardog.com/blog/studio-shacl-released/>
- ❑ TopBraid SHACL API <https://www.topquadrant.com/technology/shacl/>
- ❑ Zazuko SHACL <https://github.com/zazuko/rdf-validate-shacl>



```
:SubstationShape a sh:NodeShape;  
  sh:targetClass cim:Substation;
```

Контур для класса cim:Substation

```
  sh:property [  
    sh:path cim:IdentifiedObject.name;  
    sh:minCount 1;  
    sh:datatype xsd:string;
```

Ограничения для свойства name (обязательно должно быть, тип – строка)

```
  ];  
  sh:property [  
    sh:path cim:Region;  
    sh:minCount 1;  
    sh:maxCount 1;  
    sh:class cim:SubGeographicalRegion;  
  ];
```

Ограничения для свойства Region (обязательно должно быть, но не более одного, связь с классом cim:SubGeographicalRegion)



Примеры контуров SHACL

20

```
:ACLineSegmentShape a sh:NodeShape;  
  sh:targetClass cim:ACLineSegment;  
  sh:or (
```

Контур для класса cim:ACLineSegment

```
[  
  sh:property [  
    sh:path cim:ConductingEquipment.BaseVoltage;  
    sh:hasValue so:110kV  
  ];  
  sh:property [  
    sh:path cim:ACLineSegment.r0;  
    sh:datatype xsd:double;  
    sh:minInclusive 12;  
    sh:maxInclusive 42.8;  
  ];  
]
```

Ограничения для участков ЛЭП 110 кВ (удельное сопротивление от 12 до 42.8 Ом/км, тип double)

```
[  
  sh:property [  
    sh:path cim:ConductingEquipment.BaseVoltage;  
    sh:hasValue so:220kV  
  ];  
  sh:property [  
    sh:path cim:ACLineSegment.r0;  
    sh:datatype xsd:double;  
    sh:minInclusive 1.1;  
    sh:maxInclusive 12.1;  
  ];  
]
```

Ограничения для участков ЛЭП 220 кВ (удельное сопротивление от 1.1 до 12.1 Ом/км, тип double)



- ❑ В рамках работ по переводу процесса предоставления информации в АО «СО ЕЭС» по Приказу Минэнерго от 13.02.2019 №102 на формат CIMXML задача валидации фрагментов модели имеет высокую значимость
- ❑ Имеющиеся в СК-11 АО «СО ЕЭС» средства ограничено подходят для валидации предоставляемых субъектами электроэнергетики в АО «СО ЕЭС» фрагментов модели в формате CIMXML
- ❑ SHACL является наиболее перспективной и мощной технологией валидации предоставляемых субъектами электроэнергетики в АО «СО ЕЭС» фрагментов модели



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

Частота в ЕЭС, Гц

50,000

member of



[О компании](#)

[Деятельность](#)

[Филиалы и представительства](#)

[Новости](#)

[Контакты и реквизиты](#)

[ЕЭС России](#)



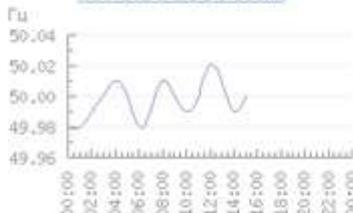
www.so-ups.ru

Оперативная информация о работе ЕЭС России



Индикаторы ЕЭС

Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



Новости Системного оператора

Росстандарт одобрил участие системы стандартизации в отрасли

Руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) Антон Шалаев направил благодарственное письмо в адрес Первого заместителя Председателя Правления АО «СО ЕЭС», председателя технического комитета по стандартизации ТК 016 «Электроэнергетика» Сергея Павлушко

Спасибо за внимание

Шевчук Сергей Андреевич

e-mail: shevchuk@ural.so-ups.ru, тел:+7(999)566-13-04

