

# ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

АВТОРЫ:

ЛОНДЕР М.И.,  
К.Т.Н.,  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

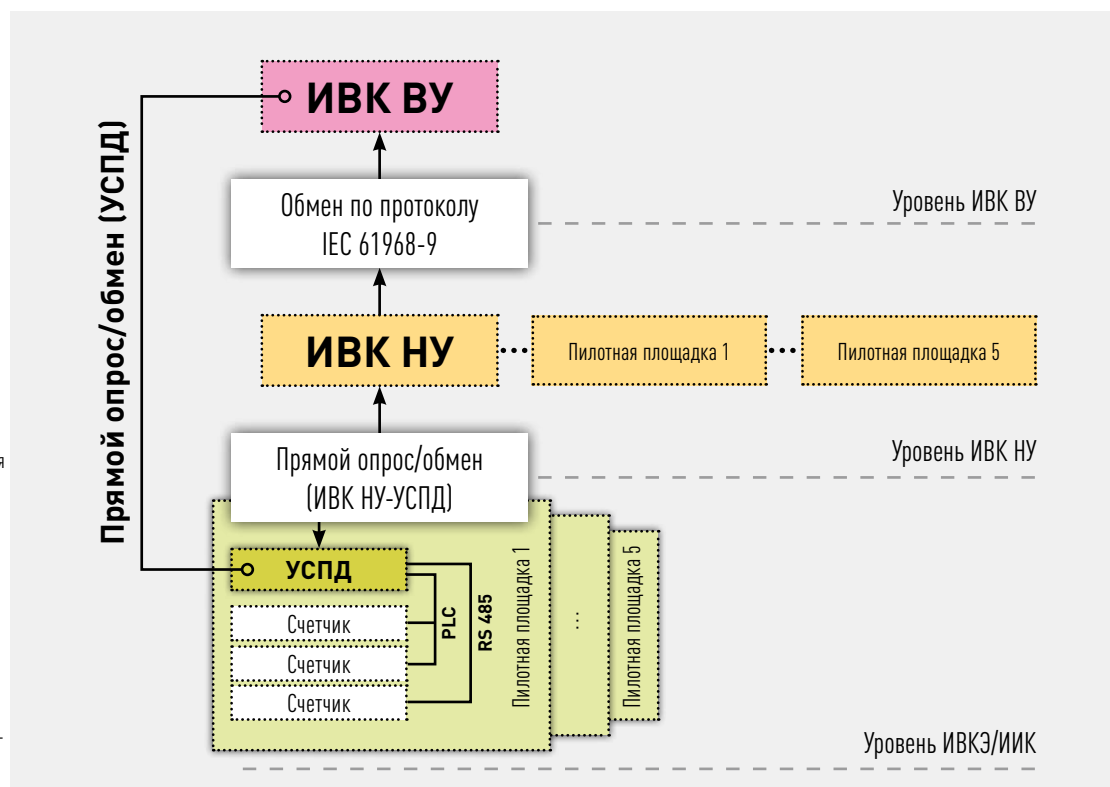
МИХАЙЛОВ А.И.,  
ООО «СОФТЭНЕРГО»

**Ч**тобы оперативно сформулировать и принять корректное управленческое решение, специалисты распределительных электросетевых компаний должны иметь четкое представление о топологии всей электрической сети. Причем описание сети должно включать не

только данные о подстанциях, распределительных пунктах, линиях электропередачи и их связях, но и информацию об электротехнических характеристиках потребительских электроустановок и точках технологического присоединения к распределительной сети.

**Ключевые слова:** Общая информационная модель, топология электрической сети, центр питания, потребительская электроустановка.

Проект SmartMetering, г. Пермь, (2011-2012) реализация интеграции информационно-вычислительных комплексов верхнего и нижнего уровня (ИВК ВУ – ИВК НУ) (протоколы обмена). УСПД – устройство прямого доступа; ИВКЭ/ИИК – информационно-вычислительные комплексы энергообъектов/информационно-измерительные комплексы



## UML-ДИАГРАММА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

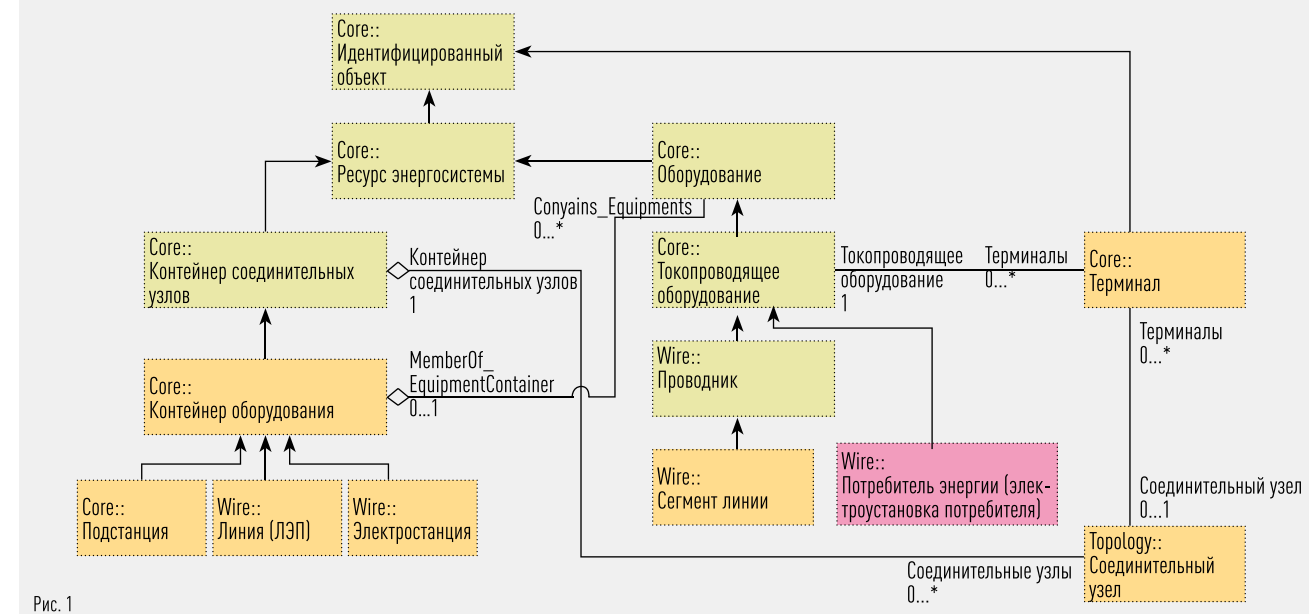


Рис. 1

## ВВЕДЕНИЕ

В региональной распределительной электросетевой компании большинство энергопринимающих устройств конечных потребителей присоединено к сетям среднего (35 кВ) и низкого (0,4–10 кВ) напряжения. Поэтому для оперативного и своевременного принятия различных управленческих решений, например в целях обеспечения функционирования бизнес-процесса по передаче электрической энергии и мощности, у специалистов компании возникает необходимость в формальном представлении топологии распределительной электрической сети на этих уровнях напряжения. Такая информация должна включать не только данные о подстанциях, распределительных пунктах, линиях электропередачи и их топологических связях, но и сведения об электротехнических характеристиках потребительских электроустановок и точках их технологического присоединения к распределительной сети. Только в этом случае появляется реальная возможность сформировать полную

картину распределения и потребления электроэнергии по зоне ответственности электросетевой компании, а также оценить качество предоставляемых услуг.

Основные трудности, с которыми сталкиваются специалисты компаний в процессе создания модели распределительной электрической сети, – это большой объем данных и высокая степень их вариабельности. Особенно это характерно для электросетевых объектов среднего и низкого напряжения. Если на уровне сетей высокого напряжения (110–220 кВ и выше) оперативно-технический персонал еще как-то способен с помощью систем SCADA описать связи первичного оборудования подстанций и линий электропередачи, то на уровне среднего и низкого напряжения данная задача практически невыполнима из-за неимоверно больших затрат временных и человеческих ресурсов. В связи с этим на первый план выходит проблема разработки моделирования топологии распределитель-

ной электрической сети на уровне самих электросетевых объектов (ПС/ТП/РП, ЛЭП), без описания электрических связей токопроводящего оборудования первичных цепей.

## СТАНДАРТ МЭК 61970–301

Эффективным инструментом для решения поставленной задачи является используемый в мировой практике стандарт МЭК 61970–301 «Общая информационная модель» (Common information model – CIM), или CIM [1, 2]. Стандарт вводит единое семантическое описание электросетевых объектов, технологического оборудования и топологии электроэнергетической системы в виде концептуальной модели данных. Используя объектно-ориентированный подход, CIM представляет модель данных, используя универсальный язык моделирования (unified modeling language – UML) [3].

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗНОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

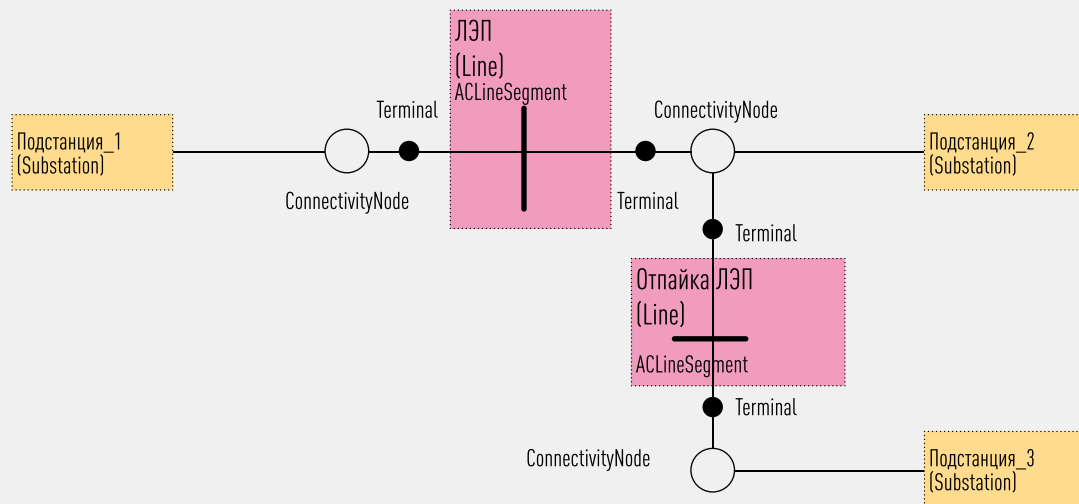


Рис. 2

В стандарте МЭК 61970–301 одним из родительских классов электросетевых объектов является класс **EquipmentContainer** (контейнер оборудования). Этот класс, являясь «потомком» класса **ConnectivityNodeContainer** (контейнер соединительных узлов), использует его свойства и ассоциативные связи с базовым классом коммутационной топологической модели (модель «шины–выключатели») **ConnectivityNode** (соединительный узел). Последний (**ConnectivityNode**) является точкой топологии электрической сети, в которой терминалы (**Terminals**) токопроводящего оборудования объединяются через нулевое сопротивление. Таким образом, классы **ConnectivityNodeContainer** и **EquipmentContainer** связывают модели электросетевых объектов, таких как **Substation** (подстанция), **Line** (ЛЭП) и **Plant** (электростанция), с объектами топологической модели **Terminal** (терминал) и **ConnectivityNode** (соединительный узел) (рис. 1).

Обозначения на рис. 1 соответствуют стандартным обозначениям UML.

Используя правила наследования, можно определить связь

объекта соединительного узла с электросетевым объектом отношением **ConnectivityNode**. **ConnectivityNodeContainer**.

С другой стороны, как видно из рис. 1, связь объекта класса **ACLineSegment** с объектом соединительного узла можно получить, используя свойства класса **Terminal**: **Terminal.ConductingEquipment** и **Terminal.ConnectivityNode**.

Следовательно, модель топологии распределительной сети на уровне электросетевых объектов должна включать в себя объекты классов **ACLineSegment**, **Terminal**, **ConnectivityNode**, **Substation**. При необходимости в случае разветвленной топологии система классов может быть расширена классом **Line**, который является классом-контейнером для объектов **ACLineSegment**.

Таким образом, полная топологическая модель связности электросетевых объектов выглядит следующим образом (рис. 2).

В этой модели каждый соединительный узел обладает двумя видами связей:

- с электросетевым объектом (**Substation**);
- с терминалами (**Terminals**).

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

В стандарте МЭК 61970–301 в качестве обобщенной нагрузки на уровне токопроводящего оборудования представлен класс **EnergyConsumer** (потребитель энергии) (рис. 1). Этот класс является «потомком» класса **ConductingEquipment** и имеет, по определению стандарта, один терминал. Объекты этого класса могут быть представлены в топологии электрической сети в качестве электроустановки конечного потребителя электрической энергии и мощности.

Многообразие возможных видов электроустановок потребителей, отличающихся, в частности, по назначению, по потребляемой мощности, по социальной значимости, по категории энергоснабжения и т. д., подразумевает наличие

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОЖЕСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

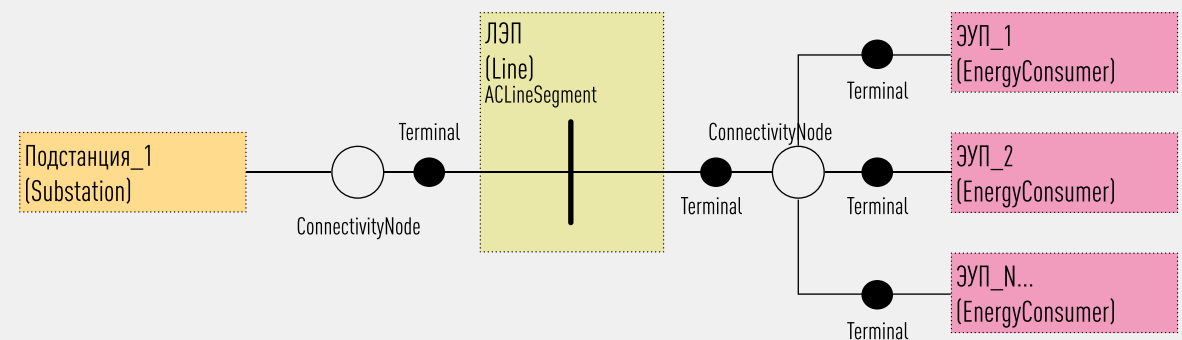


Рис. 3

различных способов технологического присоединения к распределительной сети. Так, топология одного из способов, обусловленная наличием единичного источника питания, имеет вид, показанный на рис. 3.

Другие способы технологического присоединения, соответствующие требованиям повышенной

категорийности энергоснабжения электроустановок с несколькими источниками питания в схеме энергоснабжения потребительского объекта, показаны на рис. 4 и 5. При этом в качестве электроустановок потребителей могут выступать крупные промышленные предприятия, объекты Министерства обороны или Министерства по чрезвычайным ситуациям и т. п.

В ряде случаев наиболее ответственные потребители повышенной категорийности имеют технологические присоединения не только к различным ЛЭП. Более того, они могут быть подключены и к разным центрам питания, которые могут принадлежать различным сетевым организациям. Топологическая модель такого присоединения приведена на рис. 5.

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПОТРЕБИТЕЛЯ СО МНОЖЕСТВОМ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И ОДНИМ ЦЕНТРОМ ПИТАНИЯ

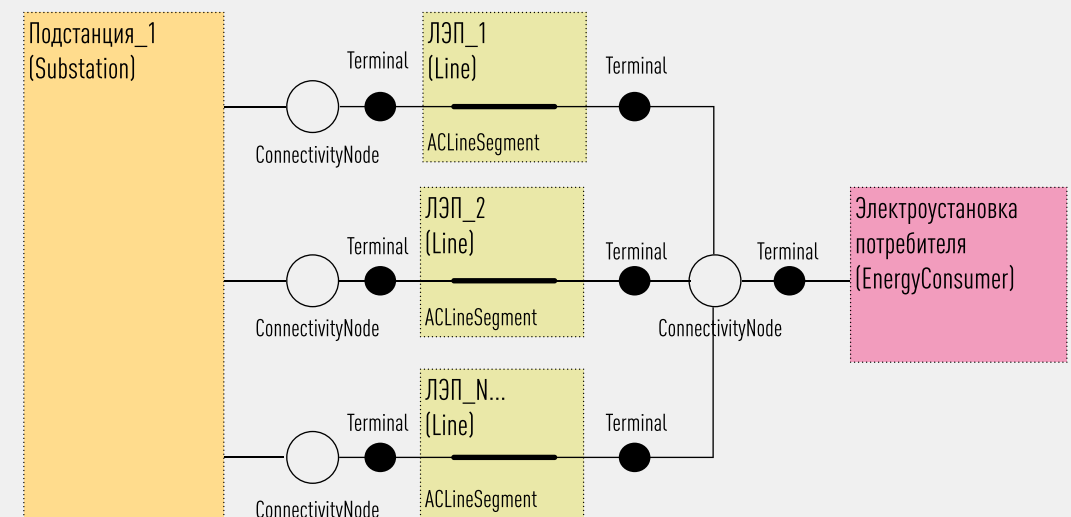


Рис. 4

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ ПОТРЕБИТЕЛЯ СО МНОЖЕСТВОМ ИСТОЧНИКОВ И ЦЕНТРОВ ПИТАНИЯ

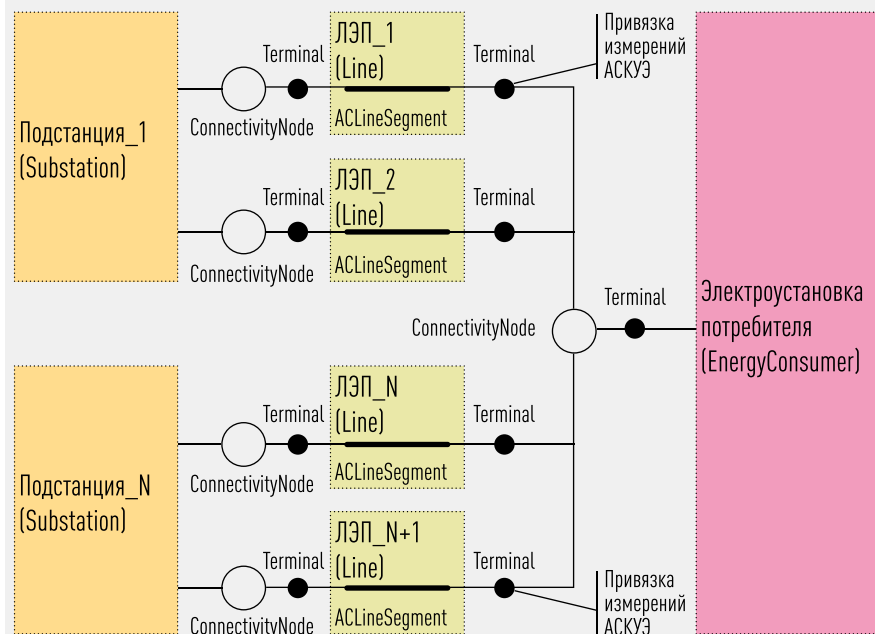


Рис. 5

Следует отметить, что в перспективе класс EnergyConsumer предоставляет уникальную возможность конкретизировать типы потребительских объектов путем расширения и введения дополнительных классов, наследующих

его свойства и связи. А представленная выше модель топологии распределительной электрической сети позволит разукрупнять (т. е. детализировать) схемы электросетевых объектов до уровня первичного оборудования.

## ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

В качестве примера применения представленного решения можно привести задачу организации информационного обмена между распределенными базами данных структурных подразделений сетевой компании. В этом случае на уровне исполнительного аппарата компании формируется общая база данных, обеспечивающая единое представление топологии распределительной электрической сети по всем ветвям административно-технической иерархии компании. При такой архитектуре описания фрагментов распределительной сети передаются снизу вверх, а наборы расчетных или статистических данных в обратном направлении – индивидуально по каждому структурному подразделению. При этом в качестве формата информационных сообщений целесообразно использовать «расширяемый язык разметки» XML [4]. Но в рамках классического XML-формата возможно определить только иерархические связи между элементами. Поэтому для решения задачи информационного обмена следует использовать диалект CIMXML языка RDF (resource description

## СХЕМА ФРАГМЕНТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

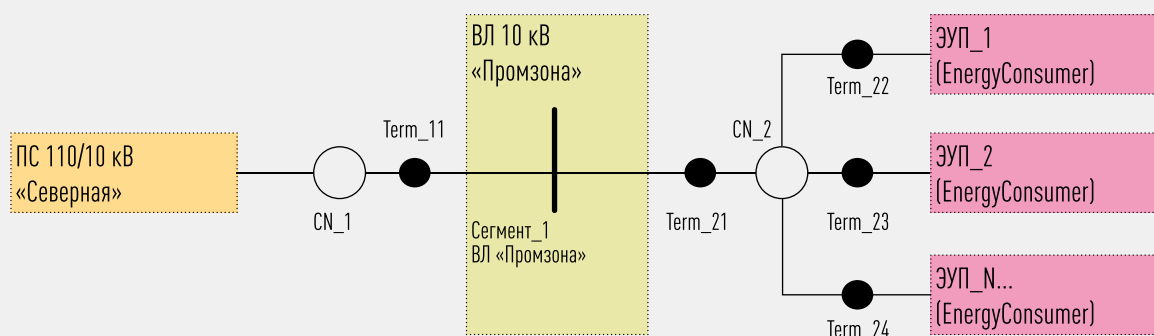


Рис. 6

framework – шаблон описания ресурсов) [5], который позволяет, сохраняя синтаксис XML, организовать связи между элементами, далеко выходящие за стандартные отношения иерархических структур данных.

Если модель, представленную на рис. 3, рассмотреть с точки зрения практического применения CIMXML для описания профиля компании, то источником данных для нее может послужить схема, показанная на рис. 6.

Фрагменты информационного сообщения в формате CIMXML приведены на рис. 7.

Исследуя контекст данного сообщения, можно заметить, что любому объекту, будь то подстанция или терминал, присваивается идентификационный код, указанный в значении атрибута rdf:ID. Диспетчерское наименование электросетевого объекта определяется атрибутом cim:IdentifiedObject.name, а его сокращенное наименование – атрибутом cim:IdentifiedObject.aliasName. Связь соединительного узла CN1 с электросетевым объектом ПС 110/10 кВ «Северная», определяемая отношением ConnectivityNode, представлена в строке 20, где атрибут соединительного узла rdf:resource ссылается на идентификационный номер электросетевого объекта. Аналогичным образом формируются связи терминалов и потребительских электростанций (см. строку 24). Дополнительное внимание стоит уделить описанию ВЛ 10 кВ «Промзона», которая в своем составе агрегирует сегмент линии переменного тока «Сегмент\_1 ВЛ Промзона». В контексте сообщения агрегация описана в строке 10, где атрибут rdf:resource ссылается на идентификационный номер линии электропередачи.

Удобство формата CIMXML заключается в том, что представленный контекст информационного сообщения, с одной стороны, понятен для программ синтаксического анализа в составе автоматизированных систем, а с другой стороны, читаем человеком.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все объекты и их ассоциативные связи, представленные в описанных выше моделях, формализованы в рамках стандарта МЭК 61970–301. Достоинством данного решения является то, что такой подход значительно упрощает и ускоряет процесс интеграции различных автоматизированных систем, эксплуатируемых в границах ИТ-ландшафта компании. В первую очередь к системам такого рода относятся задачи, использующие знания топологии распределительной электрической сети именно на уровне электросетевых объектов. В частности, задача формирования услуг передачи электроэнергии как часть DMS (ЦОК – центр обслуживания клиентов, АСУТПр – автоматизированная система управления технологическими присоединениями и многие другие).

## ЛИТЕРАТУРА

1. IEC 61970: Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) – Part 301: Common Information Model (CIM) Base. Third Edition.
2. Лондер М.И., Тумаков А.В. Единое информационное пространство как основа создания интегрированной системы управления электрическими сетями России // Естественные и технические науки, 2010, № 4.
3. Уэнди Боггс, Майкл Боггс. UML и Rational Rose. – SYBEX, 2004.
4. Майкл Дж. Янг. XML. Шаг за шагом. – М.: ЭКОМ, 2002.
5. Shelley Powers. Practical RDF. – O'Reilly, 2003.

## ФРАГМЕНТ ИНФОРМАЦИОННОГО СООБЩЕНИЯ В ФОРМАТЕ CIMXML

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:cim="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#">
  <!-- Подстанция -->
  1. <cim:Substation rdf:ID="_00000000000000000000000000000000A01">
  2. <cim:IdentifiedObject.name>ПС 110 кВ Северная</cim:IdentifiedObject.name>
  3. <cim:IdentifiedObject.aliasName>ПС Северная 110/10 </cim:IdentifiedObject.aliasName>
  4. </cim:Substation>
  <!-- ЛЭП -->
  5. <cim:Line rdf:ID="_00000000000000000000000000000000A02">
  6. <cim:IdentifiedObject.name>ВЛ 10кВ Промзона</cim:IdentifiedObject.name>
  7. <cim:IdentifiedObject.aliasName>ВЛ 10кВ Промзона </cim:IdentifiedObject.aliasName>
  8. </cim:Line>
  <!-- Сегмент ЛЭП -->
  9. <cim:ACLineSegment rdf:ID="_00000000000000000000000000000000A22">
  10. <cim:Equipment.EquipmentContainer rdf:resource="_00000000000000000000000000000000000000A02"/>
  11. <cim:IdentifiedObject.name>Сегмент_1 ВЛ Промзона </cim:IdentifiedObject.name>
  12. </cim:ACLineSegment>
  <!-- Потребитель -->
  13. <cim:EnergyConsumer rdf:ID="_00000000000000000000000000000000A03">
  14. <cim:IdentifiedObject.name>Электроустановка потребителя №1</cim:IdentifiedObject.name>
  15. <cim:IdentifiedObject.aliasName>ЭУП_1 </cim:IdentifiedObject.aliasName>
  16. </cim:EnergyConsumer> и т.д. (3 блока)
  17. ....
  <!-- Объекты топологии (Соединительные узлы и Терминалы) -->
  18. <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_00000000000000000000000000000000B01">
  19. <cim:IdentifiedObject.name>CN1</cim:IdentifiedObject.name>
  20. <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="_00000000000000000000000000000000A01"/>
  21. </cim:ConnectivityNode>
  22. <cim:Terminal rdf:ID="_00000000000000000000000000000000B11">
  23. <cim:IdentifiedObject.name>T1 </cim:IdentifiedObject.name>
  24. <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="_00000000000000000000000000000000B01"/>
  25. <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="_000000000000000000000000000000000000A22"/>
  26. </cim:Terminal> и т.д.
  ....
</rdf:RDF>
```

Рис. 7