

Правительство Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»

Кафедра Информационно - Аналитических систем
Группа 20.М04-мм

Галенина Алина Александровна

Построение модели электроэнергетической системы с использованием графовой базы данных

Курсовая работа

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук
доцент кафедры информационно-аналитических систем
Графеева Наталья Генриховна

Санкт-Петербург
2020 г.

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY
Mathematical support and administration of information systems

Sub-Department of Analytical Information
Systems 20.04.04-MM

Galenina Alina Aleksandrovna

Electric power system modeling using graph databases

Course Thesis

Scientific supervisor:
P.H.D.
associate Professor of sub-department of AIS
Natalia Grafeyeva

Saint-Petersburg
2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Актуальность	5
3. Постановка задачи	5
3.1. Цель	5
3.2. Основные задачи разработки:	5
4. Реализация	5
5. Апробация использования графовой БД	9
6. Перспективы дальнейшего развития	13
Список литературы	14
Приложение А Листинг	15
Приложение Б Описание элементов графовой базы данных	20

1. Введение

Энергия играет важную роль в поддержании бесперебойной работы домов и предприятий, а также в обеспечении различных бытовых приборов во всех секторах. Основная цель энергетической политики - обеспечение безопасных, надежных, устойчивых и недорогих поставок электроэнергии потребителям.

Данные, полученные от различных единиц оборудования, которые являются элементами энергетической системы, имеют решающее значение для работы данной системы. Эти данные генерируются в большом объеме и с колоссальной скоростью с различного числа трансформаторных подстанций. В связи с чем возникает потребность в сборе таких данных, хранении их, а также дальнейшем анализе. Для таких целей долгое время использовались реляционные базы данных, однако у такого типа баз данных есть значительные недостатки.

Реляционные базы данных предназначены для отображения данных в табличных структурах. В свою очередь, структура исходных данных электрической сети является собой более комплексное представление. Данное представление обуславливается разряженной природой данных, которые сложны в обработке и дорогостоящи в хранении. Это влияет на производительность базы данных и затрудняет ее развитие в соответствии с потребностями бизнеса.

При ближайшем рассмотрении выясняется, что структура исходных данных электрической сети органично преобразуется в форму графа, и, соответственно, хорошо подходит для хранения именно в графовых базах данных. Объясняется это тем, что при построении энергосетей решается оптимизационная задача о нахождении кратчайшего пути для минимизации расходов на материалы и строительство и поддержку. В связи с этим имеем графовые базы данных как наилучший инструмент для решения задачи хранения информации подобного типа.

2. Актуальность

Актуальность данной работы обусловлена непрерывным развитием сетей энергоснабжения, что приводит к усложнению структуры исходных данных и, как следствие процессов анализа такой структуры.

3. Постановка задачи

Целью данной работы является исследование и апробация использования графовых баз данных в применении к задаче технического обслуживания сетей энергоснабжения.

Основные задачи разработки:

1. Провести анализ предметной области. Разработать глоссарий терминов. Выделить сущности и отношения, провести классификацию сущностей, а также выделить свойства сущностей и отношений.
2. Построить модель данных в виде графа и реализовать данную модель в NoSQL базе данных Neo4j.
3. Разработать список параметризованных запросов, которые будут наиболее актуальны для пользователя.
4. Реализовать данные запросы на языке Cypher и проверить данные запросы на наборе входных параметров.

4. Реализация

Первоначально необходимо был проведён анализ предметной области. В результате исследования были выделены следующие сущности со следующими свойствами:

- подстанция (чаще всего 35/10 кВ, сокращенно ПС):
 - наименование;
 - номинальное напряжение.
- линейный разъединитель (сокращенно ЛР):
 - номер;

- номинальное напряжение.
- низковольтный трансформатор (сокращенно НТР):
 - номер;
 - номинальное напряжение.
- центрально-распределительный пункт (сокращенно ЦРП):
 - наименование;
 - номинальное напряжение.
- трансформаторная подстанция (сокращенно ТП):
 - наименование;
 - номинальное напряжение;
 - мощность.

В качестве объектов взаимосвязи используются высоковольтные линии (ВЛ) и кабельно-воздушные линии (КВЛ) со следующими характеристиками:

- наименование,
- номер,
- номинальное напряжение.

Было выделено 8 различных типов взаимосвязи:

- Соединение ТП с ЛР,
- Соединение между ЛР,
- Соединение ТП с ПС,
- Соединение ПС с ЛР,
- Соединение ТП или ЛР с ЦРП,
- Соединение с ЛР(НТР),
- Соединение ЦРП с ПС,
- Соединение ЛР(НТР) с ПС.

В результате проведённого анализа предметной области была спроектирована графовая модель данных. К базе данных, основанной на модели данного типа, были реализованы запросы, позволяющие провести

апробацию использования модели в применении к имеющемуся набору исходных данных.

Построение модели и реализация запросов были выполнены на платформе Neo4j с использованием декларативного языка Cypher. Благодаря возможностям моделирования графа, предоставляемых Neo4j, были установлены свойства и метки для узлов и отношений.

В ходе реализации модели, сущности, являющие собой физические представления такие как: “подстанция, линейный разъединитель, и т.д.” были преобразованы в узлы графовой модели. Соединения между физическими представлениями были преобразованы в отношения сущностей. Характеристики соединений были преобразованы в свойства отношений между узлами модели. Таким образом имеем графовую базу данных, описывающую имеющиеся исходные данные.

Код для создания базы данных, а так же её структура и наполнение представлены в репозитории¹ и представляют из себя файлы “code.cypher”, “electrical_networks.json”, “electrical_networks.csv” соответственно. Код запросов для апробации представлен в файле “queries.cypher”.

¹ https://github.com/AlinaGalenina/Electrical_networksDB

5. Апробация использования графовой БД

В ходе апробации был реализован набор типовых параметризованных запросов к графовой базе данных. Данный набор включает в себя:

- запрос на поиск в глубину,
- запрос на поиск в ширину,
- запрос на поиск кратчайшего пути с использованием алгоритма Дейкстры,
- запрос на поиск максимального пути между узлами,
- запрос на поиск списка возможных путей между узлами,
- запрос на определение типа связи между объектами,
- запрос на фильтрацию по метке или свойству узла.

Реализация данных запросов, а также получение корректного результата после их осуществления позволяет судить о корректности их применимости, а следовательно, и судить об успешности апробации.

1. Определить наименование всех ТП, которые принадлежат ЛР с именем NAME.

```
RESULT = [['Club', 'Kids camp'], ['St.Vatutina(current)', 'St.Vatutina, Elbrus', 'St.Vatutina, politotdelskaya'], ['8 March street, Lesnaya'], [St.Green, Budennogo, 'St.Sverdl.24_ramp' ], ['KRC'], ['SK Vozrozhdeniye'], ['Embankment'], ['St.Penzinskaya, Sadovaya', 'Ponizovka'], ['Vodokachka'], ['Dolina']]
```

```
NAME = ['LR_024', 'LR_026', 'LR_027', 'LR_032', 'LR_042', 'LR_091', 'LR_064', 'LR_074', 'LR_039', 'LR_040']
```

2. Найти тип связи между объектами электрической сети X и Y, которые связаны ЛЭП напрямую.

```
RESULT = ['CON_PS_LR', 'CONNECTION_PS', 'CON_CRP', 'CON_PS_LR', 'CONNECTION_LR', 'CON_BETWEEN_LR', 'CON_PS_LR_NTR', 'CON_PS_LR', 'CON_CRP', 'CON_BETWEEN_LR']
```

```
X = ['Semzavod', 'Semzavod', 'Pristen (CRP)', 'Pristen (PS35)', 'LR_040', 'LR_024', 'Semzavod', 'Pristen (PS35)', 'Pristen (CRP)', 'LR_025']
```

```
Y = ['LR_024', 'St. Narodnaya', 'Tele2', 'LR_041', 'Dolina', 'LR_026', 'LR_045', 'LR_031', 'MTC', 'LR_024']
```

3. Рассчитать длину пути между объектами электрической сети X и Y, которые не связаны напрямую.

REZULT = [3, 4, 1, 4, 5, 7, 4, 2, 2, 3]

X = ['Semzavod', 'Semzavod', 'LR_024', 'Well', 'Club', 'St.Vatutina, Elbrus', 'MTC', 'LR_030', 'Pristen (CRP)', 'LR_041']

Y = ['Well', '8 March street, Lesnaya', 'LR_026', 'Gas', 'Old farm', 'LR_074', 'Dolina', 'LR_024', 'AZC', 'LR_091']

4. Посмотреть наименование линии и номер линии для ТП с именем NAME.

REZULT = [['VL', 16], ['KVL', 14], ['KVL', 18], ['VL', 16], ['KVL', 14], ['KVL', 18], ['VL', 9], ['VL', 10], ['KVL', 14], ['KVL', 9]]

NAME = ['Parkovaya', 'SK Vozrozhdeniye', 'Festivalnaya, solnechnaya', 'St.Lenina, Komsomolskaya, School', 'KRC', 'AZC', 'Megaphone', 'St.Narodnaya', 'Embankment', 'Gas']

5. Найти наименование ПС, от которого запрашивается объект электрической сети с именем NAME

REZULT = ['Semzavod', 'Pristen', 'Pristen', 'Semzavod', 'Pristen', 'Pristen', 'Semzavod', 'Semzavod', 'Pristen', 'Semzavod']

NAME = ['St.Zarechnaya, Prudki, Bath', 'Old farm', 'KRC', 'LR_030', 'Ponizovka', 'Gas', 'Krestyanskaya', 'Svobodnyy']

6. Найти кратчайший путь между объектами электрической сети X и Y

REZULT = [(:TP {name: "Old farm"})-[:CONNECTION_PS]->(:PS35 {name: "Pristen"})<-[:CON_PS_CRP]-(:CRP {name: "Pristen"})<-[:CON_CRP]-(:TP {name: "Tele2"}) | (:PS35 {name: "Semzavod"})<-[:CON_PS_LR_NTR]-(:LR {name: "LR_045"})-[:CON_PS_LR_NTR]->(:PS35 {name: "Pristen"}) | (:TP {name: "Parkovaya"})-[:CONNECTION_LR]->(:LR {name: "LR_030"})<-[:CON_BETWEEN_LR]-(:LR {name: "LR_032"})<-[:CONNECTION_LR]-(:TP {name: "St.Sverdl. 24_ramp"}) | (:TP {name: "Club"})-[:CONNECTION_LR]->(:LR {name: "LR_024"})<-[:CONNECTION_LR]-(:TP {name: "Kids camp"}) | (:TP {name: "SK Vozrozhdeniye"})-[:CONNECTION_LR]->(:LR {name: "LR_091"})-[:CON_BETWEEN_LR]->(:LR {name: "LR_064"})<-[:CON_BETWEEN_LR]->(:LR {name: "LR_087"})>[:CON_PS_LR]->(:PS35 {name: "Pristen"}) | (:TP {name: "MTC"})-[:CON_CRP]->(:CRP {name: "Pristen"})<-[:CON_CRP]-(:TP {name: "Beeline"}) | (:LR {name: "LR_030"})-[:CON_BETWEEN_LR]->(:LR {name: "LR_032"}) | (:TP {name: "Ponizovka"})-[:CONNECTION_LR]->(:LR {name: "LR_074"})>[:CON_CRP]-(:PS35 {name:

"Pristen"})) | (:LR {name: "LR_031"})-[:CON_PS_LR]->(:PS35 {name: "Pristen"})<-[:CONNECTION_PS]- (:TP {name: "AZC"}) | (:TP {name: "Krestyanskaya"})-[:CON_CRP]->(:CRP {name: "Pristen"})

X = ['Old farm', 'Semzavod', 'Parkovaya', 'Club', 'SK Vozrozhdeniye', 'MTC', 'LR_030', 'Ponizovka', 'LR_031', 'Krestyanskaya']

Y = ['Tele2', 'Pristen', 'St.Sverdl.24_ramp', 'Kids camp', 'Beeline', 'LR_032', 'Pristen', 'LR_024', 'AZC', 'LR_091', 'Pristen']

7. Найти ЛР, у которых количество подсоединенных ТП задано диапазоном X. Вернуть наименование ЛР, количество ТП.

REZULT = [["LR_032", "LR_030", "LR_026", "LR_024", "LR_041", "LR_074"], [2,3,3,2,3,2]], [["LR_032", "LR_030", "LR_027", "LR_026", "LR_024", "LR_031", "LR_041", "LR_040", "LR_039", "LR_074", "LR_064", "LR_042", "LR_091"], [2, 3, 1, 3, 2, 1, 3, 1, 1, 2, 1, 1, 1]], [["LR_030", "LR_026", "LR_041"], [3, 3, 3]], [["LR_032", "LR_027", "LR_024", "LR_031", "LR_040", "LR_039", "LR_074", "LR_064", "LR_042", "LR_091"], [2, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1]], [["LR_032", "LR_030", "LR_026", "LR_024", "LR_041", "LR_074"], [2, 3, 3, 2, 3, 2]], [["LR_030", "LR_026", "LR_041"], [3, 3, 3]], [["LR_030", "LR_026", "LR_041"], [3, 3, 3]], [["LR_032", "LR_030", "LR_027", "LR_026", "LR_024", "LR_031", "LR_041", "LR_040", "LR_039", "LR_074", "LR_064", "LR_042", "LR_091"], [2, 3, 1, 3, 2, 1, 3, 1, 1, 2, 1, 1, 1]], [["LR_032", "LR_030", "LR_026", "LR_024", "LR_041", "LR_074"], [2, 3, 3, 2, 3, 2]].

X = [2-3, 1-3, 3-5, 1-2, 2-4, 3-4, 3-5, 1-4, 2-5]

8. Найти объекты, которые связан между собой отношением типом TYPE. Вывести первые 20 объектов.

REZULT = [["St.Sverdl.24_ramp", "St.Green,Budennogo", "LR_032", "LR_032", "Parkovaya", "St.Lenina,Komsomolskaya,School", "St.Lenina,Pervomayskaya,Komsomolskaya", "LR_030", "LR_030", "LR_030"], [["LR_032", "LR_032", "St.Green,Budennogo", "St.Sverdl.24_ramp", "LR_030", "LR_030", "LR_030", "St.Lenina,Pervomayskaya,Komsomolskaya", "St.Lenina,Komsomolskaya,School", "Parkovaya"]], [["Pumping station, gym", "St.Oktyabrskaya", "St.Zarechnaya,Prudki,Bath", "St.Novikova,Tele2", "Semzavod", "Semzavod", "Semzavod", "Semzavod", "Semzavod", "Semzavod"], [["Semzavod", "Semzavod", "Semzavod", "Semzavod", "Khutor mokrenkiy", "Megaphone", "Gas", "Ozerki(current)", "St.Narodnaya", "St.Molodezhnaya"]], [["LR_032", "LR_030", "LR_027", "LR_026", "LR_026", "LR_025", "LR_024", "LR_024", "LR_087", "LR_064"], [["LR_030", "LR_032", "LR_026", "LR_024", "LR_027", "LR_024", "LR_026", "LR_025", "LR_064", "LR_042"]], [["Pristen", "Pristen", "Pristen", "Pristen", "Pristen", "Krestyanskaya", "SHT",

"Beeline", "MTC"], ["LR_074", "Tele2", "Beeline", "MTC", "Krestyanskaya", "SHT", "Pristen", "Pristen", "Pristen", "Pristen"]], [{"LR_041", "LR_064", "LR_088", "LR_088"}, {"LR_088", "LR_088", "LR_041", "LR_064"}], [{"Pristen", "Pristen"}, {"Pristen", "Pristen"}], [{"LR_030", "Semzavod", "Semzavod", "LR_024", "LR_031", "Pristen", "Pristen", "Pristen", "Pristen", "Pristen"}, {"Semzavod", "LR_024", "LR_030", "Semzavod", "Pristen", "LR_087", "LR_039", "LR_041", "LR_040", "LR_031"}], [{"Semzavod", "Pristen", "LR_045", "LR_045"}, {"LR_045", "LR_045", "Semzavod", "Pristen"}]].

TYPE = ['CONNECTION_LR', 'CONNECTION_PS', 'CON_BETWEEN_LR', 'CON_CRP', 'CON_LR_NTR', 'CON_PS_LR', 'CON_PS_LR_NTR']

9. Найти путь максимальной длины от объекта электрической сети с именем NAME. Вернуть узлы и длину пути.

REZULT = [{"LR_025", "LR_024", "Semzavod", 3}, {"LR_041", "Pristen", 2}, {"Pristen", 1}, {"LR_025", "LR_024", "Semzavod", 3}, {"LR_091", "LR_064", "LR_087", "Pristen", 4}, {"LR_042", "LR_064", "LR_087", "Pristen", 4}, {"LR_032", "LR_030", "Semzavod", 3}, {"LR_030", "Semzavod", 2}, {"LR_026", "LR_024", "Semzavod", 3}, {"LR_027", "LR_026", "LR_024", "Semzavod", 4}]

NAME = [' Well', ' St.Druzhba, Mirnaya', 'MTC', ' St.Gagarina', 'SK Vozrozhdeniye', 'KRC', 'St.Green, Budennogo', 'St.Lenina, Komsomolskaya, School', 'St.Vatutina(current)', '8 March street, Lesnaya']

10. Найти узел с максимальным количеством отношений типа TYPE. Вернуть имя узла и число отношений.

REZULT = [{"Semzavod", 10}, {"Pristen", 5}, {"LR_025", 6}, {"LR_064", 3}, {"Pristen", 6}, {"LR_045", 2}, {"LR_088", 2},

TYPE = [' CONNECTION_PS', ' CON_PS_LR', ' CONNECTION_LR', 'CON_BETWEEN_LR', ' CON_CRP ', ' CON_PS_LR_NTR', 'CON_PS_CRP', 'CON_LR_NTR']

11. Найти объекты электрической сети, которые запрашиваются от ПС типом линии TYPE и номером NUMBER.

REZULT = [{"Parkovaya", "St.Lenina, Komsomolskaya, School", "St.Lenina, Pervomayskaya, Komsomolskaya"}, {"SK Vozrozhdeniye", "KRC", "Embankment"}, {"St.Molodezhnaya", "St.Narodnaya", "Ozerki(current)"}, {"Festivalnaya, solnechnaya", "Old farm", "AZC"}, {"Gas", "Megaphone", "Khutor mokrenkiy}]

TYPE = [' VL', ' KVL', ' VL', 'KVL', ' VL']

NUMBER = [16,14,10,18,9]

12. Найти все пути с узлом с именем NAME. Вернуть имена узлов в пути.

```
REZULT = [ [ ["KRC","LR_042","LR_064","LR_087","Pristen"],["SK  
Vozrozhdeniye","LR_091","LR_064","LR_087","Pristen"],["LR_088","LR_064",  
LR_087","Pristen"],["Embankment","LR_064","LR_087","Pristen"]], [ "Kids  
camp","LR_024","Semzavod"], [ "8 March street, Lesnaya", "LR_027", "LR_026",  
"LR_024", "Semzavod"]], [ ["St.Green, Budennogo", "LR_032", "LR_030",  
"Semzavod"], [ "St.Sverdl.24_ramp", "LR_032", "LR_030", "Semzavod"],  
[ "St.Lenina, Pervomayskaya, Komsomolskaya", "LR_030", "Semzavod"],  
[ "St.Lenina, Komsomolskaya, School", "LR_030", "Semzavod"], [ "Parkovaya",  
"LR_030", "Semzavod"]], [ "LR_088", "LR_041", "Pristen",  
"LR_088","LR_064","LR_087","Pristen"], [ "Dolina","LR_040","Pristen"],  
[ ["St.Green,Budennogo","LR_032","LR_030","Semzavod"],["St.Sverdl.24_ramp",  
LR_032","LR_030","Semzavod"]], [ "St.Vatutina, Elbrus", "LR_026", "LR_024",  
"Semzavod"], [ ["8 March street, Lesnaya", "LR_027", "LR_026", "LR_024",  
"Semzavod"], [ "St.Vatutina(current)", "LR_026", "LR_024", "Semzavod"],  
[ "St.Vatutina, Elbrus", "LR_026", "LR_024", "Semzavod"], [ "St.Vatutina,  
politotdelskaya", "LR_026","LR_024","Semzavod"]],  
[ "St.Gagarina","LR_025","LR_024","Semzavod"] ]
```

NAME = ['LR_087 ', ' Kids camp', '8 March street, Lesnaya', 'LR_030',
'LR_088', 'Dolina', 'LR_032', 'St.Vatutina, Elbrus', 'LR_026', 'St.Gagarina']

На основании осуществлённых запросов, а также корректности данных, полученных в ответ, можно судить о том, что апробация прошла успешно, а следовательно данная модель базы данных подходит под имеющиеся исходные данные.

6. Перспективы дальнейшего развития

1. Исследование разрешимости задачи балансировки нагрузки.
2. Прогнозирование потенциальных неисправностей сети.
3. Анализ структуры энергосети и выработка идей по её потенциальному улучшению.

Список литературы

1. Bruggen, Rik van, and Pratyush Mohanta. Learning Neo4j. Community Experience Distilled. Birmingham: Packt Publishing, 2014.
2. Fosic, I., and K. Solic. “Graph Database Approach for Data Storing, Presentation and Manipulation.” 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2019 42nd International Convention On, May 1, 2019, 1548–52. doi:10.23919/MIPRO.2019.8756793.
3. The Neo4j Cypher Manual v4.2 – URL: <https://neo4j.com/docs/cypher-manual/current/>
4. The Neo4j Operations Manual v4.2 – URL: <https://neo4j.com/docs/operations-manual/current/>
5. Робинсон, Я. Графовые базы данных: новые возможности для работы со связанными данными / Я. Робинсон, Д. Вебер, Э. Эйфрем. – 2-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2016. – 256 с. – ISBN 978-5-97060-201-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/90122>

Приложение А

Листинг

```
CREATE (tp092:TP {name:'St.Sverdl.24_ramp'})
CREATE (tp093:TP {name:'St.Green,Budennogo'})
CREATE (lr032:LR {name:'LR_032'})
CREATE
  (tp092)-[:CONNECTION_LR {number_lr:32}]->(lr032),
  (tp093)-[:CONNECTION_LR {number_lr:32}]->(lr032)

CREATE (tp089:TP {name:'Parkovaya'})
CREATE (tp088:TP {name:'St.Lenina,Komsomolskaya,School'})
CREATE (tp090:TP {name:'St.Lenina,Pervomayskaya,Komsomolskaya'})
CREATE (lr030:LR {name:'LR_030'})
CREATE
  (tp089)-[:CONNECTION_LR {number_lr:30, name: ['VL'],
nominal_voltage:10, number_vl:16}]->(lr030),
  (tp088)-[:CONNECTION_LR {number_lr:30, name: ['VL'],
nominal_voltage:10, number_vl:16}]->(lr030),
  (tp090)-[:CONNECTION_LR {number_lr:30, name: ['VL'],
nominal_voltage:10, number_vl:16}]->(lr030)

MATCH (a:LR), (m:LR)
WHERE a.name = 'LR_032' AND m.name = 'LR_030'
CREATE (a)-[:CON_BETWEEN_LR]->(m)
RETURN a, m

CREATE (tp140:TP {name:'Pumping station, gym'})
CREATE (tp094:TP {name:'St.Oktyabrskaya'})
CREATE (tp091:TP {name:'St.Zarechnaya,Prudki,Bath'})
CREATE (tp095:TP {name:'St.Novikova,Tele2'})
CREATE (ps:PS35 {name:'Semzavod', nominal_voltage:'35/10'})
CREATE
  (tp140)-[:CONNECTION_PS]->(ps),
  (tp094)-[:CONNECTION_PS]->(ps),
  (tp091)-[:CONNECTION_PS]->(ps),
  (tp095)-[:CONNECTION_PS]->(ps)

MATCH (a:LR), (m:PS35)
WHERE a.name = 'LR_030' AND m.name = 'Semzavod'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR]->(m)
RETURN a, m

CREATE (tp082:TP {name:'St.Molodezhnaya'})
CREATE (tp081:TP {name:'St.Narodnaya'})
CREATE (tp085:TP {name:'Ozerki(current)'})

MATCH (a:TP), (m:PS35)
WHERE a.name = 'St.Narodnaya' OR a.name = 'Ozerki(current)' or a.name
= 'St.Molodezhnaya' AND m.name = 'Semzavod'
CREATE
  (a)-[:CONNECTION_PS {name: ['VL'], nominal_voltage:10,
number_vl:10}]->(m)

CREATE (tp067:TP {name:'8 March street, Lesnaya'})
```

```

CREATE (lr027:LR {name:'LR_027'})
CREATE
  (tp067)-[:CONNECTION_LR {number_lr:27}]->(lr027)

CREATE (tp068:TP {name:'St.Vatutina, politotdelskaya'})
CREATE (tp071:TP {name:'St.Vatutina(current)'})
CREATE (tp069:TP {name:'St.Vatutina,Elbrus'})
CREATE (lr026:LR {name:'LR_026'})
CREATE
  (tp068)-[:CONNECTION_LR {number_lr:26}]->(lr026),
  (tp069)-[:CONNECTION_LR {number_lr:26}]->(lr026),
  (tp071)-[:CONNECTION_LR {number_lr:26}]->(lr026)

MATCH (a:LR), (m:LR)
WHERE a.name = 'LR_027' AND m.name = 'LR_026'
CREATE (a)-[:CON_BETWEEN_LR]->(m)
RETURN a, m

CREATE (tp077:TP {name:'St.Krasnostepovskaya'})
CREATE (tp076:TP {name:'Well'})
CREATE (tp075:TP {name:'St.Gagarina'})
CREATE (tp073:TP {name:'St.Dzerzhinskogo'})
CREATE (tp074:TP {name:'Village council central,Embankment'})
CREATE (tp072:TP {name:'St.Shkolnaya, Vishnev, Hospital'})
CREATE (lr025:LR {name:'LR_025'})
CREATE
  (tp077)-[:CONNECTION_LR {number_lr:25}]->(lr025),
  (tp076)-[:CONNECTION_LR {number_lr:25}]->(lr025),
  (tp075)-[:CONNECTION_LR {number_lr:25}]->(lr025),
  (tp073)-[:CONNECTION_LR {number_lr:25}]->(lr025),
  (tp074)-[:CONNECTION_LR {number_lr:25}]->(lr025),
  (tp072)-[:CONNECTION_LR {number_lr:25}]->(lr025)

CREATE (tp064:TP {name:'Kids camp'})
CREATE (tp065:TP {name:'Club'})
CREATE (lr024:LR {name:'LR_024'})
CREATE
  (tp064)-[:CONNECTION_LR {number_lr:24}]->(lr024),
  (tp065)-[:CONNECTION_LR {number_lr:24}]->(lr024)

MATCH (a:LR), (m:LR)
WHERE a.name = 'LR_026' AND m.name = 'LR_024'
CREATE (a)-[:CON_BETWEEN_LR]->(m)
RETURN a, m

MATCH (a:LR), (m:PS35)
WHERE a.name = 'LR_024' AND m.name = 'Semzavod'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR]->(m)
RETURN a, m

CREATE (tp078:TP {name:'Gas'})
CREATE (tp080:TP {name:'Megaphone'})
CREATE (tp063:TP {name:'Khutor mokrenkiy'})
MATCH (a:TP), (m:PS35)
WHERE a.name = 'Gas' OR a.name = 'Megaphone' or a.name = 'Khutor
mokrenkiy' AND m.name = 'Semzavod'
CREATE

```



```

(a)-[:CONNECTION_PS {name: ['VL'], nominal_voltage:10,
number_vl:9}]->(m)

CREATE (tp086:TP {name:'Kolbasovka'})
CREATE (lr031:LR {name:'LR_031'})
CREATE (tp086)-[:CONNECTION_LR {number_lr:31}]->(lr031)

MATCH (a:LR), (m:LR)
WHERE a.name = 'LR_030' AND m.name = 'LR_031'
CREATE (a)-[:CON_BETWEEN_LR]->(m)

CREATE (tp087:TP {name:'Svobodnyy'})
CREATE (psp:PS35 {name:'Pristen', nominal_voltage:'35/10'})
CREATE (tp087)-[:CONNECTION_PS]->(psp)

MATCH (a:LR), (m:PS35)
WHERE a.name = 'LR_031' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR]->(m)

CREATE (tp120:TP {name:'Grachevka, Vodokachka, Shilovka'})
CREATE (tp123:TP {name:'St.Druzhba, Mirnaya'})
CREATE (tp113:TP {name:'Solnechnaya, Mirnaya'})
CREATE (lr041:LR {name:'LR_041'})
CREATE
  (tp120)-[:CONNECTION_LR {number_lr:41}]->(lr041),
  (tp123)-[:CONNECTION_LR {number_lr:41}]->(lr041),
  (tp113)-[:CONNECTION_LR {number_lr:41}]->(lr041)

CREATE (tp110:TP {name:'AZC'})
CREATE (tp111:TP {name:'Old farm'})
CREATE (tp112:TP {name:'Festivalnaya, solnechnaya'})
MATCH (a:TP), (m:PS35)
WHERE (a.name = 'AZC' OR a.name = 'Old farm') AND m.name = 'Pristen'
CREATE
  (a)-[:CONNECTION_PS {name: ['KVL'], nominal_voltage:10,
number_kv1:18}]->(m)

CREATE (lr045:LR {name:'LR_045', type:'NTR'})

MATCH (a:LR), (m:PS35)
WHERE a.name = 'LR_045' AND m.name = 'Semzavod'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR_NTR]->(m)

CREATE (tp109:TP {name:'Dolina'})
CREATE (lr040:LR {name:'LR_040'})
CREATE
  (tp109)-[:CONNECTION_LR {number_lr:40}]->(lr040)

MATCH (a:LR), (m:PS35)
WHERE a.name = 'LR_041' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR]->(m)

CREATE (tp108:TP {name:'Vodokachka'})
CREATE (lr039:LR {name:'LR_039'})
CREATE
  (tp108)-[:CONNECTION_LR {number_lr:39}]->(lr039)

MATCH (a:LR), (m:PS35)

```

```

WHERE a.name = 'LR_039' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR]->(m)

CREATE (crp:CRP {name:'Pristen', nominal_voltage:10})

MATCH (a:CRP), (m:PS35)
WHERE a.name = 'Pristen' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_PS_CRP]->(m)

CREATE (tp125:TP {name:'Krestyanskaya'})
CREATE (tp126:TP {name:'SHT'})
CREATE (tp127:TP {name:'Beeline'})
CREATE (tp128:TP {name:'MTC'})
CREATE (tp158:TP {name:'Tele2'})

MATCH (a:TP), (m:CRP)
WHERE a.name = 'Tele2' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_CRP]->(m)

CREATE (tp196:TP {name:'Ponizovka'})
CREATE (tp194:TP {name:'St.Penzinskaya, Sadovaya'})
CREATE (lr074:LR {name:'LR_074'})
CREATE
  (tp194)-[:CONNECTION_LR {number_lr:74}]->(lr074),
  (tp196)-[:CONNECTION_LR {number_lr:74}]->(lr074)

MATCH (a:LR), (m:CRP)
WHERE a.name = 'LR_074' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_CRP {name: ['VL'], nominal_voltage:10, number_vl:9}]->(m)

CREATE (tp097:TP {name:'Babkin'})
CREATE (lr087:LR {name:'LR_087'})
CREATE (lr064:LR {name:'LR_064'})
CREATE (lr064)-[:CON_BETWEEN_LR]->(lr087)

MATCH (a:TP), (m:PS35)
WHERE a.name = 'Babkin' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CONNECTION_PS]->(m)

MATCH (a:LR), (m:PS35)
WHERE a.name = 'LR_087' AND m.name = 'Pristen'
CREATE (a)-[:CON_PS_LR]->(m)

CREATE (tp121:TP {name:'Embankment'})

MATCH (a:TP), (m:LR)
WHERE a.name = 'Embankment' AND m.name = 'LR_064'
CREATE (a)-[:CONNECTION_LR {name: ['KVL'], nominal_voltage:10, number_kv1:14}]->(m)

CREATE (lr088:LR {name:'LR_088', type:'NTR'})

MATCH (a:LR), (m:LR)
WHERE a.name = 'LR_088' AND m.name = 'LR_041'
CREATE (a)-[:CON_LR_NTR]->(m)

CREATE (lr042:LR {name:'LR_042'})

```

```

CREATE (lr091:LR {name:'LR_091'})

MATCH (a:LR), (m:LR)
WHERE a.name = 'LR_042' AND m.name = 'LR_064'
CREATE (a)-[:CON_BETWEEN_LR {name: ['KVL'], nominal_voltage:10,
number_kv1:14}]->(m)

CREATE (tp039:TP {name:'KRC'})

MATCH (a:TP), (m:LR)
WHERE a.name = 'KRC' AND m.name = 'LR_042'
CREATE (a)-[:CONNECTION_LR {name: ['KVL'], nominal_voltage:10,
number_kv1:14}]->(m)

CREATE (tp254:TP {name:'SK Vozrozhdeniye'})

MATCH (a:TP), (m:LR)
WHERE a.name = 'SK Vozrozhdeniye' AND m.name = 'LR_091'
CREATE (a)-[:CONNECTION_LR {name: ['KVL'], nominal_voltage:10,
number_kv1:14}]->(m)

```

Приложение Б

Описание элементов графовой базы данных

Таблица 1 – Node labels

Label	Meaning	Color
LR	Линейный разъединитель (ЛР)	Зеленый
TP	Трансформаторная подстанция (ТП)	Коричневый
PS35	Подстанция номинального напряжения 35/10 кВ (ПС)	Красный
CRP	Центральный распределительный пункт (ЦРП)	Розовый

Таблица 2 – Property Keys

Key	Meaning
name	Наименование
number_lr	Номер ЛР, с которым ТП
number_vl	Номер ВЛ, которая соединяет ТП с ЛР или ПС
number_kv1	Номер КВЛ, которая соединяет ТП с ЛР или ПС
nominal_voltage	Номинальное напряжение
type	Тип ЛР

Таблица 3 – Relationship Types

Type	Meaning
CONNECTION_LR	Соединение ТП с ЛР
CON_BETWEEN_LR	Соединение между ЛР
CONNECTION_PS	Соединение ТП с ПС
CON_PS_LR	Соединение ПС с ЛР
CON_CRP	Соединение ТП или ЛР с ЦРП
CON_LR_NTR	Соединение с ЛР(НТР)
CON_PS_CRP	Соединение ЦРП с ПС
CON_PS_LR_NTR	Соединение ЛР(НТР) с ПС