

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ  
ANALYSIS OF EMERGENCY SHUTDOWNS IN THE CITY  
DISTRIBUTION ELECTRICAL GRID

Сергеенко И. М., преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь  
I. Sergeenko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация.* Были проанализированы данные по отключениям в городской электрической сети. В результате были определены следующие показатели, характеризующие надежность распределительной сети: количество отключений линий по подстанциям и отключений в год на 100 км, SAIDI, статистика причин отключений линий. Полученные данные показали довольно высокую надежность рассчитываемой сети.

*Abstract.* Data on outages in the city electrical network were analyzed. As a result, the following indicators characterizing the reliability of the distribution network were determined: the number of line outages by substations and outages per year per 100 km, SAIDI, statistics of the reasons for line outages. The obtained indicators showed a rather high reliability of the calculated electrical grid.

*Ключевые слова:* распределительная сеть, аварийные отключения, надежность, виды повреждений, SAIDI.

*Key words:* distribution grid, emergency shutdowns, reliability, types of damage, SAIDI.

## ВВЕДЕНИЕ

Для исследования аварийных отключений рассматривается город с населением 61847 человек, занимающий площадь 24,6 км<sup>2</sup>. Электро-снабжение данного города осуществляет городским районом электрических сетей (ГРЭС).

На обслуживаемой территории ГРЭС расположено 3 питающих центра (ПЦ) и 13 распределительных пунктов (РП):

- ПС «Луч» 110/35/10 кВ, ПС «Завод» 110/10 кВ, ПС «Двор» 110/10 кВ;
- РП-1, РП-2, РП-3, РП-4, РП-5, РП-6, РП-7, РП-8, РП-9, РП-10, РП-11, РП-12, РП-Модуль.

Основными источниками питания для обслуживаемых подстанций являются узловые подстанции:

- «Город» 330/110/10 кВ;
- «Дороги» 110/35/10 кВ.

В распределительных сетях 10/0,4 кВ ГРЭС присутствуют объекты распределенной генерации.

Полностью отсутствуют накопители электрической энергии.

Электроснабжение города представляет собой систему связанных между собой элементов генерации, передачи, преобразования и потребления электрической энергии. Распределительная сеть 10 кВ ГРЭС характеризуется массовостью и разветвленностью, преобладает выполнение сетей кабельными линиями.

#### **ПС «Двор» 110/10 кВ.**

Общая протяженность распределительных сетей 10 кВ составляет 49,264 км. Доля проводов СИП-3 составляет не более 18 %. Кабельные линии (вставки) составляют более 91 %.

Кабели (вставки) с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке отсутствуют.

подавляющее большинство кабельных линий имеют длину не более 1 км.

Основная защита линий 10 кВ от повреждений установлена на 1 и 2 секции шин ПС. Применена защита типа МТЗ-610.ЛЗМ производства ОАО «Белэлектромонтажналадка».

#### **ПС «Завод» 110/10 кВ.**

Общая протяженность распределительных кабельных сетей 10 кВ составляет 35,84 км. Кабели (вставки) с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке отсутствуют. Кабельные линии (вставки) составляют 100 %.

подавляющее большинство кабельных линий имеют длину не более 1 км.

Основная защита линий 10 кВ от повреждений установлена на 1 и 2 секции шин ПС. Тип защит – МР-500 производства ОАО «Белэлектромонтажналадка».

#### **ПС «Луч» 110/35/10 кВ.**

Общая протяженность распределительных сетей 10 кВ составляет 191,18 км. Воздушные линии составляют порядка 22,6 км. Доля проводов СИП-3 составляет не более 1 %. Кабельные линии (вставки) составляют порядка 168,58 км.

Кабели (вставки) с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке отсутствуют.

подавляющее большинство кабельных линий имеют длину не более 1 км.

На всех подстанциях сечения кабелей ступенчато уменьшаются от головных участков к концу линии, имеет место большое число резервных связей, выполненных с использованием разъединителей с ручным приводом.

Конфигурация сети выполнена по двухлучевой и кольцевой схеме, что обеспечивает независимое питание потребителей по двум секциям шин. Каждой секции шин соответствуют свои распределительные пункты (РП), получающие питание по двум вводам. Далее от РП запитываются цепочки трансформаторных подстанций. Коммутационная аппаратура подстанций по высокой стороне выполнена обычными выключателями нагрузки, а в

качестве перемычки между секциями шин смонтированы шинные мосты с соответствующими секционными разъединителями. Данная структура характерна для потребителей первой и второй категории.

В нормальном режиме кольцо имеет разрыв на какой-либо ТП в цепочке. Этот разрыв необходим для обеспечения селективности защит и для обособленной работы каждой части цепи. Данная схема применяется для потребителей третьей категории.

Режим работы нейтрали в городских электрических распределительных сетях города – режим компенсированной нейтрали. Особенностью систем электроснабжения промышленных предприятий является то, что на присоединениях 10 кВ всех объектов кабельной сети, включая ТП, в соответствии с требованиями ПУЭ предусмотрена установка кабельных ТТНП (ТЗЛМ-1-УЗ, ТЗРЛ-10), а их вторичные обмотки соединены последовательно и нагружены на пусковой орган (реле тока) защиты.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

По данным, предоставленным ГРЭС, была составлена и проанализирована статистика по отключениям линий, состоящих на балансе. Было подсчитано количество отключений КЛ и КВЛ по годам для всех имеющихся подстанций на балансе ГРЭС за период 2017–2022 год, полученные данные приведены на рис.

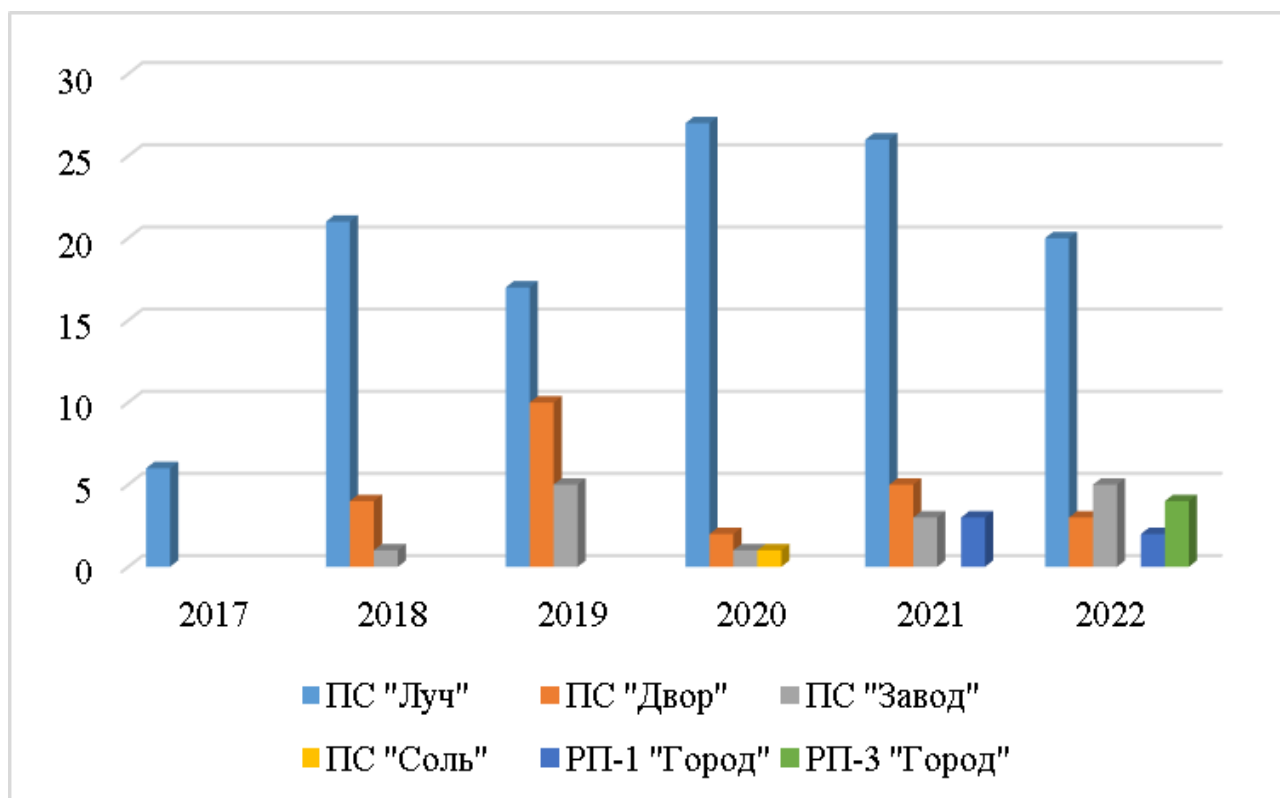


Рис. Количество отключений для подстанций по годам

Суммарное количество аварийных отключений за рассматриваемый период составило 166. В результате анализа было определено, что

наибольшее количество аварийных отключений наблюдается на ПС «Луч» как по годам, так и суммарно за весь рассматриваемый период.

После была составлена статистика по аварийным отключениям для каждой КЛ и КВЛ по подстанциям. По данной статистике были установлены линии, имеющие наибольшее количество повреждений.

Для каждой рассматриваемой линии было определено число отключений в год на 100 км линии  $N_i$ , откл./год по формуле (1):

$$N_i = \frac{P_i}{t \cdot l_i} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $P_i$  – количество аварийных отключений в КЛ, КВЛ за рассматриваемый период;

$t$  – рассматриваемый период, год;

$l_i$  – длина рассматриваемой линии, км.

Также определили число отключений в год на 100 км для каждой подстанции  $N_{ПСi}$ , откл./год по формуле (2):

$$N_{ПСi} = \frac{\sum P_i}{t \cdot \sum l_i} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $\sum P_i$  – суммарное количество аварийных отключений в КЛ, КВЛ от-

носящихся к рассматриваемой ПС за рассматриваемый период;

$\sum l_i$  – суммарная длина рассматриваемых КЛ, КВЛ, км.

В результате расчетов наиболее повреждаемыми линиями по ПС рассматриваемой сети оказались: по ПС «Луч» – КВЛ № 231, КЛ № 249, по ПС «Двор» – КВЛ № 539, по ПС «Завод» – КЛ № 149, по ПС «Соль» – КЛ № 122, по РП – 1 «Город» – КЛ № 4, по РП – 3 «Город» – КЛ № 33, КЛ № 37.

Суммарная длина ЛЭП равняется 276,28 км. Число отключений в год на 100 км для ГРЭС составило 12,02 откл./год.

Для повышения надежности указанных участков следует принимать дополнительные мероприятия такие как: замена старых кабелей новыми, обладающими лучшими характеристиками, изменение способа прокладки, увеличение площади сечения участка, применение защитных устройств от механических повреждений и т. д.

Далее была составлена статистика причин, по которым было произведено аварийное отключение участка [1].

В результате самыми распространенными причинами отключения участков оказались повреждение изоляции КЛ и повреждение в сети абонента табл.

## Причины повреждения ЛЭП рассматриваемой сети

Причина повреждения	Количество
Повреждение изоляции КЛ	74
Повреждение в сети абонента	30
Повреждение концевой муфты	19
Повреждение соединительной муфты	9
Повреждение на КТП, РП, СТП, ТП и т. д.	13
Не установлено	6
Повреждение на потребительских КЛ	5
Повреждение изолятора	3
Перекрытие птицами, животными	2
Обрыв вязки	1
Обрыв провода	1
Повр. выключателя	1
Повреждение ТТ	1
Итого	165

В завершение был рассчитан показатель SAIDI. SAIDI оказался равен 0,7, что свидетельствует о достаточно высоком уровне надежности городской распределительной сети [2].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа суммарное количество аварийных отключений для рассматриваемой сети составило 166 за период 2017–2022 год. Число аварийных отключений в год на 100 км для сети ГРЭС составило 12,02. Самыми распространенными причинами отключения участков оказались повреждение изоляции КЛ и повреждение в сети абонента. SAIDI равен 0,7. Полученные данные свидетельствует о довольно высокой надежности, рассматриваемой городской распределительной сети.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Острейковский В. А. Теория надежности: учебник для вузов / В. А. Острейковский – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
2. Модели оценки влияния надежности электрической сети на электроснабжение потребителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ozlib.com/800947/tehnika/model\\_otsenki\\_vliyaniya\\_nadezhnosti\\_elektricheskoy\\_seti\\_elektrosnabzhenie\\_potrebiteley/](https://ozlib.com/800947/tehnika/model_otsenki_vliyaniya_nadezhnosti_elektricheskoy_seti_elektrosnabzhenie_potrebiteley/). – Дата доступа: 05.04.2023.