

УДК 621.311

## НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ КАБЕЛЕЙ

Хапочкин А.В., студент гр. ЭПм-231, I курс

Прудников И.В., студент гр. ЭПм-231, I курс

Глушков А.И., студент гр. ЭПм-231, I курс

Научный руководитель: Казунина Г.А., д.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева,

г. Кемерово

Актуальность проведения исследования связана с тем, что в настоящее время в связи с нарастанием нагрузки в городских кабельных сетях возрастает вероятность отказа работы кабельных линий в связи с наличием фактора старения, износа изолирующего слоя. Несмотря на то, что изначально проектирование городской кабельной электрораспределительной сети предполагало наличие высокой степени надежности, благодаря применению аварийного питания из другого фидера при выходе из строя отдельного кабеля, фактические данные статистики об использовании кабельных линий сетей городского электроснабжения КЛ 6-10 КВ свидетельствуют об обратном – нарастании степени износа кабелей [1].

Данная проблема приводит к нарастанию числа аварийных отключений из-за повреждений и отказа работы кабеля.

По данным АО «Кемеровская горэлектросеть», представленным на рисунке 1, количество аварийных отключений кабельных линий в г. Кемерово с каждым годом возрастает [4].

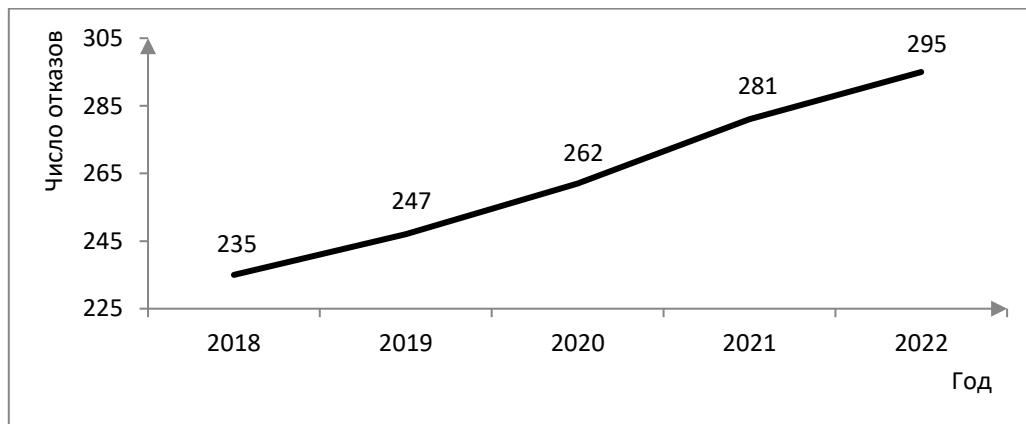


Рис. 1. Количество аварийных отключений кабельных линий в г. Кемерово в 2018-2022 годах

Поток отказов характеризуется параметром  $\gamma$ , который задает число отказов кабеля в год на один километр электрических сетей и вводится согласно соотношению:

$$\gamma = \frac{n}{L}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – число отказов в год на 1 км КЛ 6-10 кВ;

$n$  – количество аварийных отказов;

$L$  – Длина КЛ 6-10 кВ, км.

В таблице 1 представлен расчет параметра потока отказов КЛ 6-10 кВ  $\gamma$  в год на 1 км электрических сетей. Показатель  $\gamma$  рассчитан по формуле 1.

Таблица 1. Расчет параметра потока отказов КЛ 6-10 кВ  $\gamma$  в год

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022
Длина КЛ 6-10 кВ, км.	1549	1552	1553	1559	1564
Количество аварийных отказов, ед.	235	247	262	281	295
$\gamma$ в год на 1 км электрических сетей	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19

Исходя из полученных данных, видно, что с каждым годом параметр потока отказов работы кабельных линий возрастает, что требует решения проблемы повышения надежности кабелей линий городского электроснабжения.

Целью настоящего исследования является исследование надежности работы кабелей городского электроснабжения КЛ 6-10 кВ в зависимости от срока эксплуатации. Определение такой зависимости позволит сформировать программу своевременной замены кабелей в городских сетях для недопущения нарастания числа аварийных ситуаций отказа работы сети из-за физического износа кабеля.

Плановая, своевременная замена КЛ 6-10 кВ является основой для повышения уровня надежности и безаварийности работы сети электроснабжения г. Кемерово.

Для оценки степени надежности кабельной сети на практике применяются расчетные параметры [3]:

1. Вероятность безотказной работы кабельной линии  $P$ , которая рассчитывается согласно выражению

$$P(t) = \frac{N-n(t)}{N} \times 100\% \quad (2)$$

где  $N$  – количество исследуемых кабельных линий;  $n(t)$  – количество исследуемых кабельных линий, отказавших за время  $t$ .

2. Статистическая интенсивность отказов  $\lambda(t)$  определяется путем расчета отношения числа неисправных кабелей, которые отказали в течение определенного времени, к среднему числу работающих кабелей в том же временном промежутке [2]:

$$\lambda(t) = \frac{n_{\text{кл}}(t)}{N_{\text{ср}} \cdot \Delta T}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{кл}}(t)$  – число отказавших кабелей за период их эксплуатации;

$N_{\text{ср}}$  – среднее число исправных кабелей за период;

Среднее число исправных кабелей за период  $\Delta T$  определяется согласно соотношению

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{кл}} + (N_{\text{кл}} - n_{\text{кл}}(t))}{2}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{кл}}$  – количество исследуемых кабельных линий, исправно работающих в период времени  $\Delta T$ .

В таблице 2 представлены результаты расчета параметров надежности кабельной линии по КЛ 6-10 кВ различного срока эксплуатации.

В качестве периода исследования принимаем один год.

Таблица 2. Результаты расчета параметров надежности кабельной линии исходя из срока эксплуатации

Параметры надежности кабельной линии	Срок эксплуатации кабельной линии, лет				
	1-3	4-7	8-12	12-30	31 и старше
$N$	156	161	171	145	99
$n(t)$	6	12	24	41	58
$P(t), \%$	96,1	92,5	85,9	71,7	41,4
$N_{\text{ср}}$	153	155	159	124,5	70
$\lambda(t)$	0,013	0,026	0,05	0,11	0,276

Наглядно зависимость расчетных параметров надежности кабельной сети в зависимости от параметра срока эксплуатации представим на рисунках 2,3.

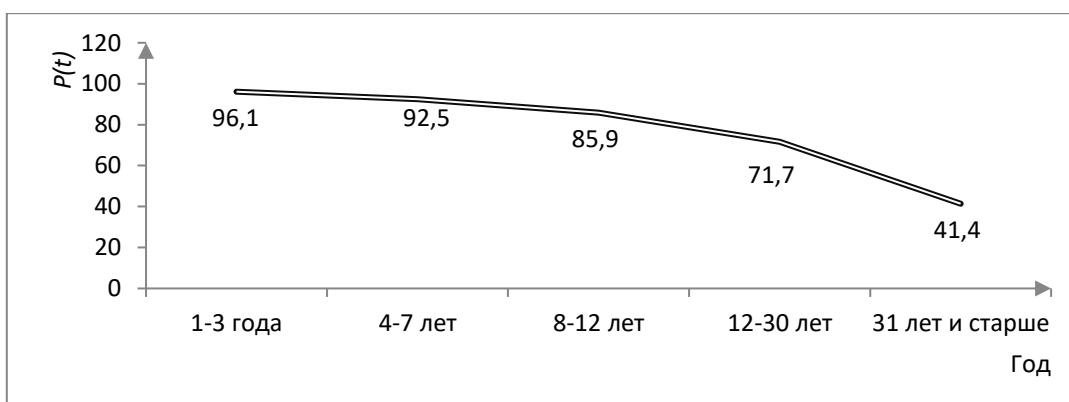


Рис.2. Зависимость вероятности безотказной работы кабельной линии  $P(t)$  от срока ее эксплуатации

Таким образом, из графика на рисунке 2 видно, что с увеличением срока эксплуатации кабельной сети вероятность ее безотказной работы снижается. При этом надежность кабельной сети идет на резкое снижение, начиная с интервала 12-30 лет эксплуатации и затем начиная с 31 года снижается уже существенно.

Поэтому именно в период, начиная в среднем с 20 лет эксплуатации кабеля целесообразно рассмотреть вопрос о частичной замене и обновлении таких кабельных линий.

Подобная картина наблюдается также и по иному рассчитанному показателю – интенсивности отказов (рисунок 3).

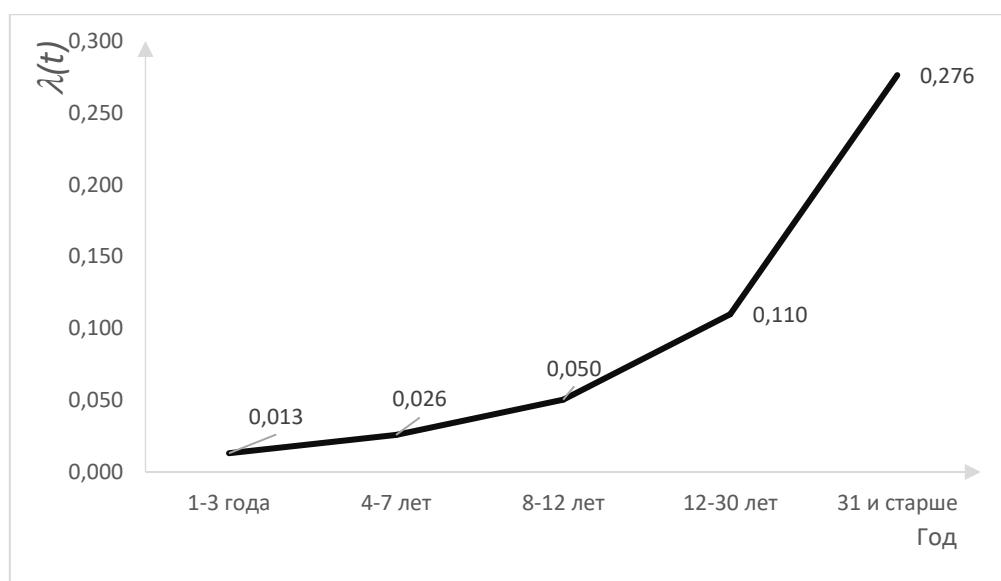


Рис. 3. Зависимость интенсивности отказов работы кабельной линии  $\lambda(t)$  от срока ее эксплуатации

В зависимости от срока эксплуатации КЛ и интенсивности отказов КЛ  $\lambda(t)$  определим функцию надежности  $P(t)$ , которая определяет вероятность безотказной работы как функцию времени  $t$  [5] для кабелей с разным сроком эксплуатации:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Зависимость функции надежности от времени  $t$  показана на рисунке 4.

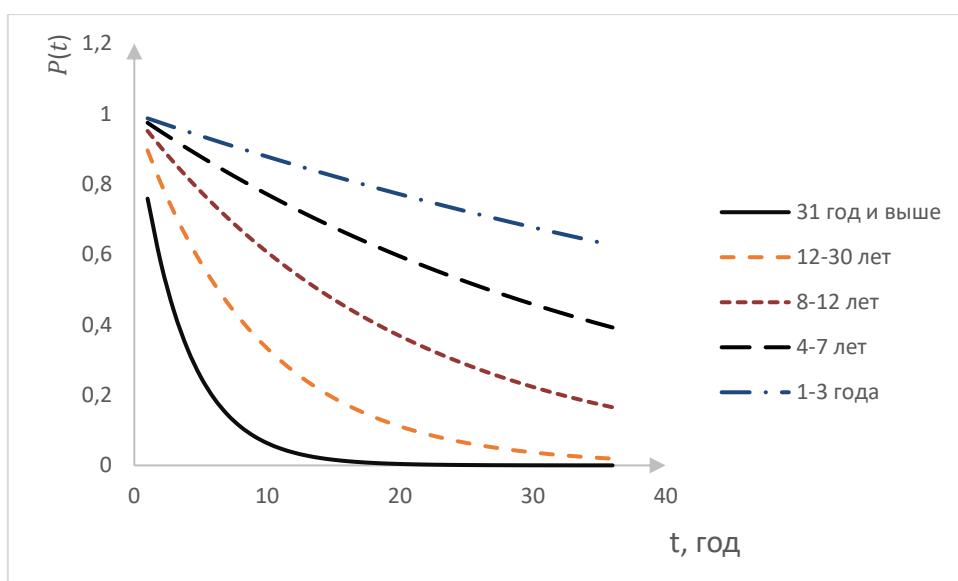


Рис.4. Зависимость функции надежности  $P(t)$  от параметра времени  $t$ , изменяющегося от 0 до 36

Чем меньше срок эксплуатации КЛ, тем выше лежит кривая  $P(t)$ .

Функция плотности экспоненциального распределения  $f(t)$  [5] показывает распределение вероятностей между событиями, которые появляются с постоянной интенсивностью отказов. Для параметра времени  $t \geq 0$ , она определяется выражением:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (6)$$

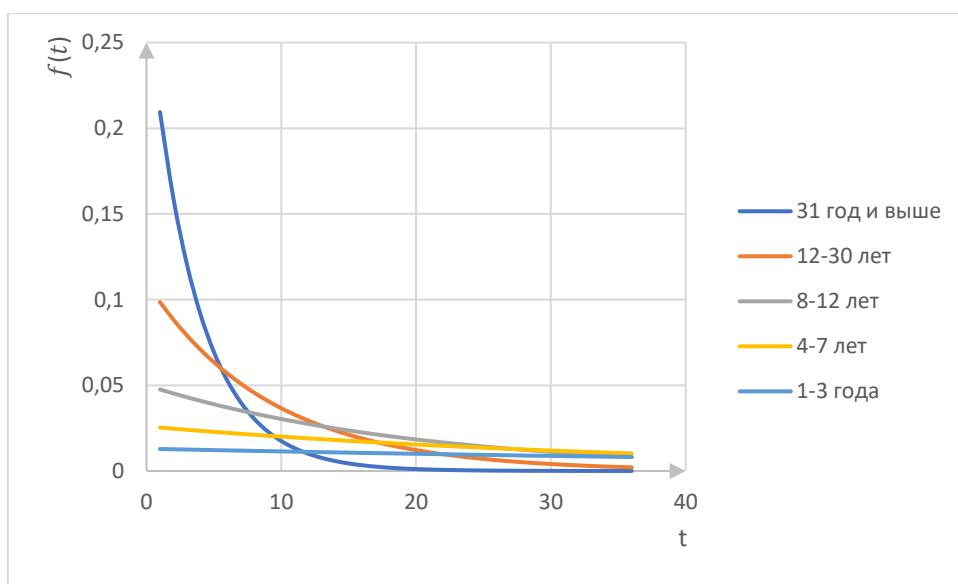


Рис.5. Зависимость функции плотности вероятности  $f(t)$  от параметра времени  $t$ , изменяющегося от 0 до 36

Подводя итог проведенному исследованию, можно сделать следующие выводы:

1. Поддержание надежности работы кабелей является важным

фактором предотвращения возникновения аварийных ситуаций на линиях городского электроснабжения.

2. Результаты проведенных расчетов показателей надежности кабельной линии показали, что с увеличением срока эксплуатации кабельной сети вероятность ее безотказной работы снижается. При этом надежность кабельной сети идет на резкое снижение, начиная с интервала 12-30 лет эксплуатации и затем, начиная с 31 года, снижается уже существенно.

3. В период в среднем с 20 лет эксплуатации кабеля целесообразно рассмотреть вопрос о частичной замене и обновлении таких кабельных линий.

#### **Список литературы:**

1. Жилина, М.А. Анализ причин отказов кабельных линий 6 (10 КВ) в городских распределительных сетях / М.А. Жилина. // Научный портал КузГТУ URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/energ1/energ/pages/Articles/2/Zhilina.pdf> (дата обращения: 11.11.2023).
2. Ю.М Правиков, Г.Р. Муслина Основы теории надежности в машиностроении / 2015. – (123). – С.23.
3. Коржов, А. В. Оценка эксплуатационной надежности кабельных линий 6 (10) кВ в условиях развивающихся городских электрических сетей на примере г. Челябинска / А. В. Коржов // Наука ЮУрГУ – 2015.– С. 1221-1224.
4. Официальный сайт АО «Кемеровская горэлектросеть». URL: <https://kemges.ru/> (дата обращения: 11.11.2023).
5. Павлов П.П., Литвиненко Р.С. учебное пособие основы теории надежности электромеханических комплексов, г. Казань-2017- С.19.