

УДК 621.311.1.019.3 + 621.315.1/.3.019.3

## **ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6(10) кВ В УСЛОВИЯХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ г. ЧЕЛЯБИНСКА**

*А.В. Коржов*

Рассмотрены отдельные результаты исследований по анализу состояния кабельных распределительных сетей с учетом оценки необходимых мероприятий для поддержания их эксплуатационной надежности. Данные рассмотрены на примере ретроспективного анализа повреждаемости кабельных линий 6(10) кВ по городским электрическим сетям г. Челябинска. Представлена методика разработанной системы сбора статистической информации в виде карт жизни КЛ, применяемая для дальнейшего анализа параметров надежности.

Ключевые слова: кабель 6(10) кВ, надежность, изоляция, ретроспективные данные.

В настоящее время в условиях развития городских распределительных кабельных сетей 6(10) кВ существует проблема поддержания эксплуатационной надежности, обусловленная массовым переходом КЛ в период «старения». Не смотря на то, что изначально заданная конфигурация городской распределительной сети обладала высокой надежностью электроснабжения (при повреждении одной из питающих КЛ через АВР обеспечивается питание от другого фидера и т.д.), анализ повреждаемости КЛ, в настоящее время, говорит об обратном – относительно низкой надежности реальной работы кабельной сети. Вероятность безотказной работы всей распределительной кабельной сети Челябинска приблизительно равна 0,9. Причем здесь необходимо отметить, что данная оценка сильно усреднена, в ряде районов вероятность безотказной работы сети равна 0,83. В целом, параметр потока отказов  $\omega$  колеблется в зависимости от района в пределах 7–20 повреждений на 100 км кабельной линии в год. В табл. 1 приведены данные распределения повреждаемости КЛ в целом месте с учетом их возраста (данные за 2014 год).

Таким образом, обостряется проблема эксплуатационной надежности и повышения долговечности и ресурса действующих КЛ, а продолжение стратегии «аварийного ремонта» впоследствии обеспечит массовые аварии и колоссальный ущерб. По анализируемым сетям, на примере г. Челябинска, до 50–60 % КЛ 6(10) кВ с бумажной пропитанной изоляцией выработали свой нормативный срок эксплуатации. При этом следует отметить, что замена данных КЛ, например, на новые с изоляцией из сшитого полиэтилена, требует не только существенных материальных затрат, но и учета

ограничений, обусловленных схемными и режимными параметрами. Данные ограничения способны существенно замедлять желаемый темп обновления кабельной сети.

Таблица 1

Оценка повреждаемости КЛ от срока их эксплуатации

РЭС	0–10	10–20	20–30	30–40	более 40
№ 1	3	4	3	2	12
№ 2	12	9	13	10	9
№ 3	2	1	15	19	28
№ 4	5	0	10	11	11
№ 5	0	0	8	8	2

Анализ данных табл. 1 показывает, что наиболее высокая повреждаемость фиксируется у кабелей, срок эксплуатации которых более 30 лет. Основная причина повреждений – общее старение кабельной сети и, как следствие, ухудшение изоляционных свойств кабеля, кабельной арматуры. Наиболее повреждаемые кабельные линии выполнены кабелем марки ААШв – 34 %.

Таблица 2

Оценка повреждаемости по маркам КЛ

Марка кабеля	Протяженность, %	Повреждений, %	Кол-во повреждений на 100 км
ААШв	34,4	53,6	19,5
ААБ, ААБл	12,9	15,2	14,8
АСБ, АСБл	37,0	27,2	9,2
СБ, СБг	4,5	2,7	7,3
Прочие	11,2	1,3	1,5

В РФ разработан ряд нормативных документов по оценке надежности в технике. Стандарты по надежности в электроэнергетике можно классифицировать по следующим разделам: 1) основные понятия, термины и определения: ГОСТ 27.002-89, ГОСТ Р 27.002-2009, ГОСТ 27.003-90; 2) расчет показателей надежности и их количественная оценка: ГОСТ 27.301-95, ГОСТ Р 27.301-2011, ГОСТ 27.310-90, ГОСТ 27.204-83, ГОСТ Р 27.202-2012, ГОСТ Р МЭК 60605-6-2007, ГОСТ 27.003-2011; 3) методы расчета надежности (ГОСТ Р 27.607-2013, ГОСТ Р МЭК 61650-2007, ГОСТ 27.301-95, ГОСТ Р 27.302-2009): графоаналитические, логические (таблично-логические, пространства состояний), вероятностные (статистические, массового обслуживания). Согласно ГОСТ 27.002 надежность – это способность объекта (в нашем случае КЛ) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способ-

ность выполнять требуемые функции в заданных режимах, т.е. обеспечивать непрерывно потребителей электроэнергией заданного качества в соответствии с графиком электропотребления и по схеме, которая предусмотрена для длительной эксплуатации [1]. Надежность – это комплексное свойство, включающее в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

В условиях эксплуатации КЛ необходима разработка мероприятий, обеспечивающих повышение долговечности и ресурса изоляции, а также необходимо рассматривать такие показатели, как режимная управляемость, устойчивость, живучесть и безопасность (свойство объекта не создавать опасности для людей и окружающей среды во всех возможных режимах работы и аварийных ситуациях). Под долговечностью понимают свойство КЛ сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при условии соблюдения установленной системы технического обслуживания и ремонта.

Проведенная оценка отказов КЛ при пробоях изоляции в заданных условиях эксплуатации позволяет оценивать надежность кабельной сети по расчету вероятности безотказной работы КЛ  $P(t)$  (вероятность того, что в заданном интервале времени  $t$  при определенных режимах и условиях эксплуатации не произойдет ни одного отказа). Для ее оценки используется выражение:

$$P(t) = \frac{N_{\text{кл}} - n_{\text{кл}}(t)}{n_{\text{кл}}(t)}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{кл}}$  – количество исследуемых КЛ;  $n_{\text{кл}}(t)$  – количество КЛ, отказавших за время  $t$ .

На рис. 1 приведена оценка вероятности безотказной работы КЛ по годам эксплуатации. При проведении расчета весь рассматриваемый временной интервал разбивался на  $S = 1, 2, \dots, s$  интервалов длительностью 1 год. Функция безотказной работы изоляции кабелей:

$$P(t_s) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{r=1}^s y(t_r), \quad (2)$$

где  $N$  – суммарное кол-во пробоев КЛ;  $t_s$  – момент времени на  $s$ -м интервале;  $y(t_r)$  – кол-во пробоев на интервале  $[t_{r-1}; t_r]$ .

Среднее время наработки до отказа определено по выражению:

$$T = \sum_{s=1}^s P(t_s) \Delta t. \quad (3)$$

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  – это условная вероятность возникновения отказа для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t) = \frac{1}{P(t)} \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{n_{\text{кл}}(t)}{[N_{\text{кл}} - n_{\text{кл}}(t)] \cdot t}. \quad (4)$$

Физически – это количество отказов КЛ на протяжении какого-либо достаточно малого интервала времени. В качестве примера на рис. 2 приведен график оценки интенсивности отказов КЛ с учетом возраста эксплуатации. На рис. 2 проведена оценка в течение 1 года.

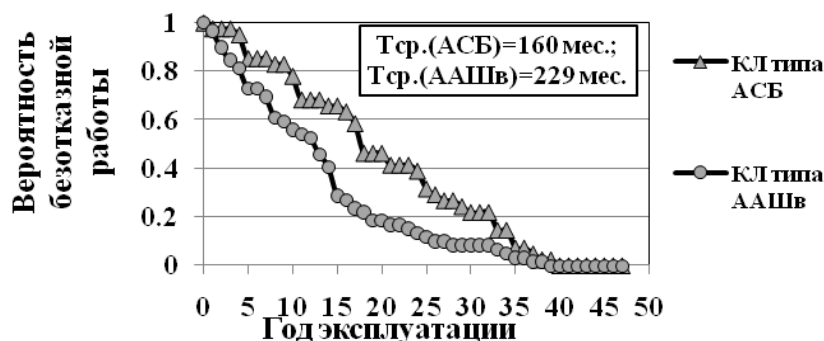


Рис. 1. Функции безотказной работы разных типов КЛ

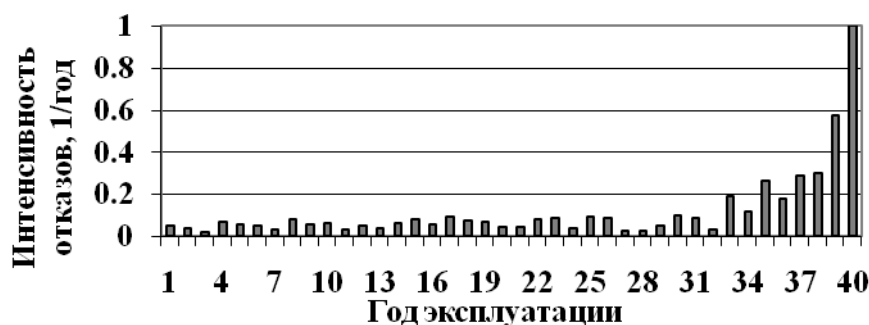


Рис. 2. Оценка интенсивности отказов в зависимости от года эксплуатации

## Выводы

В ходе проведенных исследований было установлено значительное снижение вероятности безотказной работы действующих КЛ с бумажной пропитанной изоляцией 6(10) кВ.

В данных условиях необходима разработка методик и моделей по оценке надежности не только КЛ как отдельных объектов, но и выделенных фидеров, слабых мест и узлов в распределительной сети, а также разработка мероприятий по повышению надежности и ресурса изоляции действующих КЛ.

## Библиографический список

1. Коржов, А.В. Влияние электрического и магнитного полей силовых кабельных линий напряжением 6(10) кВ на интенсивность частичных разрядов в изоляции при различных режимах эксплуатации / А.В. Коржов // Кабели и Провода. – 2012. – № 1 (332). – С. 16–21.

[К содержанию](#)