

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЦИКЛА РАБОТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6(10) кВ*

А.В. Коржов

г. Челябинск, ЮУрГУ

THE METHODOLOGY OF ESTIMATION OF ISOLATION RESOURCES UNDER OPERATION TO SET EQUIVALENT WORK CYCLE OF CABLES 6 (10) kV

A.V. Korzhov

Chelyabinsk, SUSU

Приведены методика и математическая модель сбора, анализа, прогнозирования информации об эксплуатации кабельных линий 6(10) кВ, разработанная на основе статистического анализа состояния изоляции силовых кабельных линий (КЛ) городских электрических сетей.

Ключевые слова: силовой кабель, ресурс изоляции, прогнозирование, статистические исследования.

The methodology and mathematical model of collecting data, analysis and forecasting information about cables 6 (10) kV production time are given. The model is based on statistical analysis of power cables isolation in city network systems

Keywords: power cable, isolation, forecasting, statistical analysis.

По результатам проведённого нами статистического анализа в электрических сетях городов Челябинска, Кургана, Нефтекамска [1–3] был предложен алгоритм сбора информации об эксплуатации силовых кабелей напряжением 6(10) кВ (табл. 1) и апробирована разработанная нами методика составления прогноза повреждаемости изоляции силовых КЛ (см. рисунок).

Точность прогноза зависит от полноты и достоверности исходной информации. В настоящее время на предприятиях, эксплуатирующих кабельные сети, имеется следующая разрозненная информация: 1) паспорта на кабельные линии; 2) акты на монтаж муфт; 3) трассы прокладки кабелей; 4) диспетчерские журналы; 5) акты об испытании состояния изоляции; 6) данные метеорологических служб. Хранящаяся на предприятиях информация никак не используется в целях повышения надёжности функционирования кабельной сети, часть её может быть утеряна, часть не отражена должным образом в отчётной документации; отсутствие единого алгоритма сбора и хранения указанной информации [3] не позволяет качественно проводить анализ состояния изоляции силовых кабелей, именно поэтому необходима его разработка и внедрение.

Хранение информации в полном объёме в одной базе данных позволяет без дополнительных затрат времени и сил анализировать накопленную статистическую информацию и определять эквивалентный цикл эксплуатации кабельной линии, необходимый для проведения ресурсных исследований, включающий в себя весовые коэффициенты воздействующих на изоляцию факторов.

Отличительными особенностями базы данных является деление каждой КЛ на участки по точкам, где увеличивается вероятность пробоя (рассчитанная по статистическим показателям), например: муфта, изгиб кабеля, пересечение с подземными коммуникациями и проезжей дорогой, а также наличие персональных сведений об электромонтерах-кабельщиках.

Данный алгоритм сбора и хранения информации о состоянии изоляции применим для любой кабельной сети вне зависимости от её индивидуальных особенностей: напряжения, протяжённости, марки кабеля и т.д. На основании предложенного алгоритма сбора и хранения информации на предприятиях электрических сетей с применением математического аппарата появляется возможность проводить анализ состояния изоляции ка-

* Исследования проведены при государственной поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских учёных – кандидатов наук (шифр заявки: МК 1402.2009.8).

Таблица 1

Состав единой базы данных о функционировании кабельной сети

Номер и название вкладки (листа)	Содержание листа
1. Электрическая схема сети	Графическое изображение схемы электрической сети.
2. Паспортные данные на кабельную линию	Данные о выборе марки, сечения и напряжения кабеля, выборе трассы и способа прокладки. Элементы строительных и монтажных конструкций, расчет электрической и строительной части
3. Эскиз трассы прокладки кабельной линии на местности	Эскиз выполняется для общей ориентировки на местности с нанесением улиц, проездов
4. Геодезический план трассы кабельной линии	Контуры зданий, линии тротуаров, деревьев, подземные коммуникаций (газопроводы, водопроводы, канализацию, бензопроводы, газопроводы, телефонные линии, дренажи и т.п.). Приводится рельеф местности и продольный профиль проекта трассы кабельной линии
6. Данные о грунтово-климатических параметрах	Температура, влажность, количество выпавших осадков, скорость ветра в рассматриваемом регионе, тип и состав грунта, температуру и влажность на уровне прокладки кабеля
7. Данные с регистраторов о режимных параметрах линии	Токи нагрузки, уровни напряжения, величины токов короткого замыкания, количество перенесённых кабелями коротких замыканий, количество однофазных замыканий в сети, количество коммутации в электрически связанной сети и количество грозовых перенапряжений, зафиксированных на питающей подстанции. Для расчёта удельного количества коротких замыканий вводится градация, кабели отходящие от подстанций, где установлены терминалы релейной защиты, считаются головными, следующие – 1-е удаление, за ними – 2-е удаление и т. д [4]
8. Данные о пробоях изоляции кабеля	Дата, время, место, причина пробоя изоляции, расчёт показателей надёжности элементов кабельной сети, коэффициентов корреляции с воздействующими на изоляцию режимными и эксплуатационными факторами. Определение степени влияния человеческого фактора

бельной сети в условиях более полной статистической информации.

По результатам статистического анализа была разработана и апробирована методика составления прогноза повреждаемости изоляции силовых КЛ городских электрических сетей напряжением 6(10) кВ, алгоритм которой представлен на рисунке.

Из базы данных по кабельным сетям составляется выборка, включающая в себя данные по срокам службы кабеля в зависимости от глубины прокладки КЛ ($\mu_{h \leq 0,7}$, $\mu_{h \geq 0,7}$), траектории прокладки кабеля (μ_{np} , $\mu_{нов}$), пересечения с объектами городских коммуникаций (μ_o , $\mu_{дор}$, $\mu_{ком}$).

1. С помощью дисперсионного анализа определяется значимость выделенных факторов.

2. Производится территориальное деление сетей на основании выявленного постоянства воздействующих на изоляцию факторов. Далее все расчёты для каждой территории проводятся отдельно.

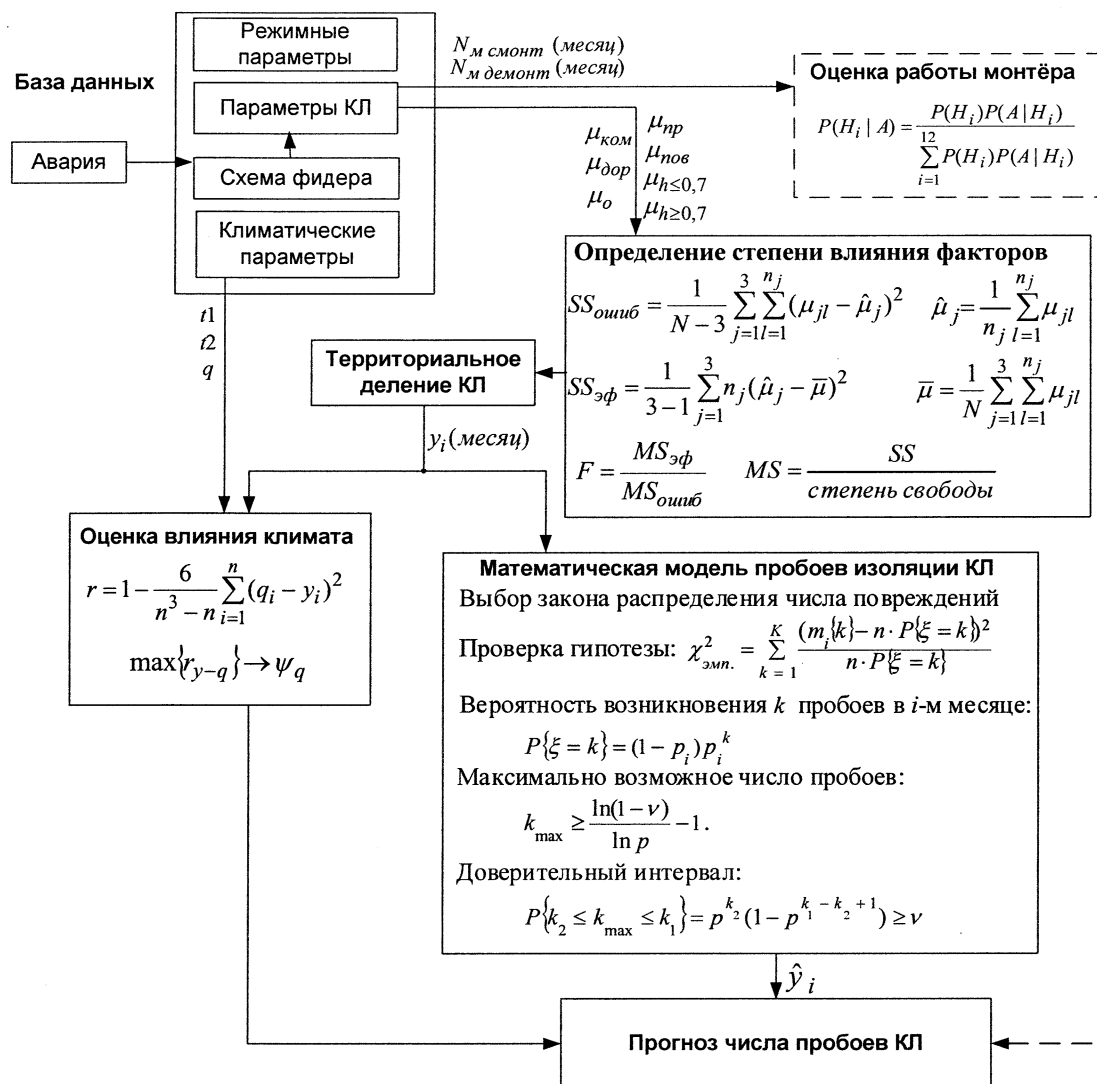
3. Из выборки данных по количеству выпавших осадков (q) и числу пробоев (v) с помощью корреляционного анализа, определяется интервал времени ψ_q , через который для рассматриваемой территории проявляется влияние увлажнения грунта на состояние изоляции.

4. Составляется выборка из числа пробоев изоляции кабелей (y_i) в зависимости от месяца, проводится выбор закона распределения повреждаемости изоляции. Для городских кабельных сетей г. Челябинска – это геометрическое распределение.

5. Согласно предлагаемому распределению вычисляются вероятности возникновения k пробоев в i -м месяце, которые справедливы при составлении прогноза на один год по данным предыдущих лет. Вычисляется максимально возможное число пробоев $k_{\max i}$ для каждого месяца с принятой надёжностью v и доверительный интервал для найденного $k_{\max i}$.

6. Модель на основе геометрического распределения предполагает установившийся процесс повреждаемости изоляции. После того, как становится известно фактическое число пробоев в i -м месяце в рассматриваемом году, его необходимо занести в модель, чтобы рассчитать вероятность возникновения пробоя для данного месяца в следующем году.

На основе предложенной методики составляется прогноз числа пробоев изоляции для отдельных участков КЛ. Рекомендуется наносить на карту кабельной сети наиболее опасные территории



Методика составления прогноза повреждаемости изоляции КЛ

альные участки с максимальной повреждаемостью КЛ и выявлять причину высокой аварийности. Тем самым составляется вероятностно-территориальная карта кабельных сетей. В дальнейшем влияние данных факторов необходимо устранять, используя технические решения.

В качестве примера апробации математической модели приведены результаты расчёта по одному из РЭС г. Челябинска в целом и с учётом территориального деления: для территории с асфальтированной дорогой, для территории дворов многоквартирных домов и учреждений. Теоретические вероятности появления k пробоев для i -го месяца и число отказов $m_i\{k\}$, попавших в i -й месяц, сведены в табл. 2.

Проверка гипотезы при уровне значимости $\xi = 0,05$ показывает, что $\chi^2_{эм.} \leq \chi^2_{табл.}$, где $\chi^2_{табл.} = 42,56$ при числе степеней свободы 29. Поэтому полагаем, что статистические данные хорошо согласуются с проверяемой гипотезой.

При составлении прогноза на 2007 год с надёжностью $V = 0,95$ получено, что в целом по РЭС фактическое количество пробоев в июле выходит за доверительный интервал прогнозируемого числа пробоев. Для отдельных же территорий – фактическое число пробоев входит в доверительный интервал. Разделение кабельных сетей на территории по сочетанию факторов позволяет повысить точность прогноза. Из аналогичного расчёта по данным других РЭС г. Челябинска получено, что минимальная точность прогноза составляет 83,3 % в случае выхода в двух месяцах фактического числа пробоев за доверительный интервал.

Предложенная методика проверена и справедлива также при прогнозировании повреждаемости муфт, для этого по теореме гипотез определяются вероятности пробоя муфт в зависимости от месяца их монтажа для каждого кабельщика, монтировавшего муфты на рассматриваемой территории.

Таблица 2

Апробация математической модели пробоев изоляции КЛ

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Территория РЭС												
$\frac{1}{n} \sum x_i$	0,29	0,32	0,35	0,48	0,65	0,39	0,65	0,68	0,84	1,16	0,32	0,58
p_i	0,23	0,24	0,26	0,33	0,39	0,28	0,39	0,4	0,46	0,54	0,24	0,37
$P\{\xi=k\}$	$k=0$	0,78	0,76	0,74	0,67	0,61	0,72	0,61	0,60	0,54	0,46	0,63
	$k=1$	0,17	0,18	0,19	0,22	0,24	0,2	0,24	0,24	0,25	0,25	0,18
	$k=2$	0,04	0,04	0,05	0,07	0,09	0,06	0,09	0,1	0,11	0,13	0,04
	$k=3$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,07	0,01
	$k=4$	0	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0,02	0,02	0,04	0
	$k=5$	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0
	$k=6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0
$m\{k\}$	$k=0$	24	24	22	20	15	23	20	20	17	17	24
	$k=1$	5	5	7	8	13	6	5	6	8	5	6
	$k=2$	2	1	2	2	2	0	3	3	3	3	1
	$k=3$	0	1	0	1	1	2	3	0	1	2	1
	$k=4$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0
	$k=5$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	$k=6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
$\chi^2_{эмп}$	0,89	1,6	0,88	0,71	6,03	6,67	4,59	5,47	1,9	3,76	1,6	1,88
$k_{\max i}$	1,01	1,12	1,24	1,67	2,2	1,35	2,2	2,3	2,82	3,82	1,12	1,99
$k_2 \leq k \leq k_1$	[0;2]	[0;2]	[0;2]	[0;2]	[0;3]	[0;2]	[0;3]	[0;3]	[0;3]	[0;4]	[0;2]	[0;2]
$k_{\text{факт}}$	0	0	0	0	3	1	6	2	1	3	1	0
Территория с асфальтированным дорожным покрытием												
$k_{\max i}$	-0,1	0,38	0,07	0,23	1,01	0,65	0,38	0,23	0,89	1,01	0,4	0,65
$k_2 \leq k \leq k_1$	0	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;2]	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;2]	[0;1]	[0;1]
$k_{\text{факт}}$	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
Территория дворов многоквартирных домов и учреждений												
$k_{\max i}$	0,86	0,28	0,28	0,59	0,73	0,59	1,37	1,49	1,61	1,96	0,59	1,12
$k_2 \leq k \leq k_1$	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;1]	[0;2]	[0;2]	[0;2]	[0;2]	[0;1]	[0;2]
$k_{\text{факт}}$	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	0	1

Литература

1. Математическая модель повреждаемости изоляции силовых кабельных линий городских электрических сетей / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, Е.Ю. Юрченко, А.Б. Николаевский. – Электрические станции. – 2008. – № 8.

2. Юрченко Е.Ю. Оценка состояния изоляции городских кабельных линий напряжением 6–10 кВ с разработкой рекомендаций по улучшению условий электробезопасности: дис. ... канд. тех. наук / Е.Ю. Юрченко. – Челябинск, 2009. – 130 с.

3. Коржов, А.В. Методика сбора статисти-

ческой информации для составления модели повреждения изоляции силовых кабельных линий / А.В. Коржов, Е.Ю. Юрченко // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: Всероссийская научно-техническая конференция: сб. материалов. – Уфа: УНГТУ, 2007. – Т. 2. – С. 200–207.

4. Коржов, А.В. Выбор уставок релейной защиты и автоматики в кабельных сетях 6–10 кВ с учётом теплового режима в изоляции / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, О.В. Коржова // Промышленная энергетика. – 2009. – № 6.

Поступила в редакцию 01.10.2009 г.

Коржов Антон Вениаминович. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов – электромагнитные процессы в кабельных сетях, оценка остаточного ресурса изоляции силовых кабелей. Контактный телефон: 8-(351) 267-92-46.

Korzhov Anton Veniaminovich. Candidate of technical sciences, reader of the electrical engineering department of South Ural State University, Chelyabinsk. The field of scientific interests is electromagnetic processes in cable set, estimation of the remaining resource of insulation of power cables. Contact telephone: 8-(351) 267-92-46.