

DOI 10.5862/JEST.231.9

УДК 621.317.75

А.М. Гатауллин

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6/10 КВ

A.M. Gataullin

THE NON-DESTRUCTIVE DIAGNOSTIC METHOD OF PORCELAIN INSULATORS ON THE OVERHEAD POWER LINES 6/10 KV

Приведены результаты исследований состояния гирлянд фарфоровых изоляторов по характеристикам частичных разрядов. Разработана методика выявления гирлянд, содержащих дефектный изолятор, без отключения приложенного напряжения. Разработан новый метод оценки состояния фарфоровых изоляторов воздушных линий электропередачи напряжением 6/10 кВ и их гирлянд, основанный на анализе характеристик частичных разрядов.

МЕТОД ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ; ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ; НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ; ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯТОРОВ; ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ.

A new method diagnostic of porcelain insulators of overhead lines with voltage is equal 6/10 kV based on the analysis of the partial discharges characteristics was developed. The value of the breakdown voltage obtained by the partial discharges method with 5% accuracy is in good correlation with the results obtained by traditional methods such as direct resistance measurement and others. Breakdown voltage were calculated for garlands without switching off the applied voltage. Developed technique can be useful from a practical point of view to identify insulators, containing the so-called "zero" insulators, the resistance of which is dozen times less than the resistance of defect-free insulators.

METHOD OF PARTIAL DISCHARGES; DIAGNOSTICS OF INSULATION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT; THE NON-DESTRUCTIVE DIAGNOSTIC METHOD OF PORCELAIN INSULATORS; DIAGNOSTIC OF THE INSULATORS; PARTIAL DISCHARGES.

Введение

Активно развиваемая диагностика изоляторов высоковольтного электрооборудования методом частичных разрядов (ЧР) предполагает оценку величины и распределения по фазе действующего напряжения так называемого кажущегося заряда, обусловленного распределением зарядовой плотности в разрядном промежутке [1, 2]. В фарфоровой и полимерной изоляции

различают внутренние ЧР, возникающие в кавернах, поверхностные ЧР (ПЧР) и коронные разряды. Известно, что ЧР, возникающие в кавернах, разрушают полимерные и фарфоровые изоляторы изнутри. Можно утверждать, что в большинстве случаев основная причина разрушения фарфоровых и полимерных изоляторов — внутренние дефекты, обусловленные кавернами, которые образуются на этапе их изготовле-

ния; их развитие в процессе эксплуатации приводит к постепенному уменьшению омического сопротивления и сопровождается увеличением числа и интенсивности ЧР. Для разделения различных типов ЧР и идентификации дефекта строят статистические распределения ЧР [3], однако четкие критерии распознавания дефектных изоляторов и их гирлянд до сих пор не разработаны. Старение изоляции высоковольтного электрооборудования может сопровождаться развитием электрических триингов (дендриты) [4]. Прорастание электрических триингов сопровождается уменьшением омического сопротивления изоляторов [5]. В предпробойной ситуации полимерной изоляции в основном наблюдаются ЧР величиной от 50 до 150 пКл [6]. Разработана модель старения изоляции, в которой рост дендритов сопровождается увеличением геометрических размеров каверн [7]. На практике точное определение величины заряда, обусловленного ЧР, обычно не представляется возможным, причем в одних случаях будет наблюдаться переходная характеристика [8], в других случаях — импульсная характеристика [9], обусловленная параметрами измерительной цепи [10], что влияет на величину определяемого кажущегося заряда (то есть заряда, приводящего к таким же изменениям в окружающей среде, что и реальный заряд, внесенный в разрядный промежуток). С практической точки зрения важно с наименьшими затратами оперативно определять гирлянду с дефектным изолятором, находящуюся под воздействием приложенного переменного напряжения 50 Гц. В настоящее время гирлянды воздушных линий электропередачи в условиях эксплуатации в основном диагностируют дистанционно в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра [11]. Недостаток этого метода — невысокая чувствительность к внутренним ЧР [12]. Предлагаемая статья посвящена разработке методики выявления дефектного изолятора в гирлянде по характеристикам ЧР без отключения приложенного напряжения частотой 50 Гц.

Теоретический анализ

Фарфоровые изоляторы в гирляндах воздушных линий электропередачи напряжением 6/10 кВ обычно применяются попарно. Наиболее распространены изоляторы тарельчатого типа

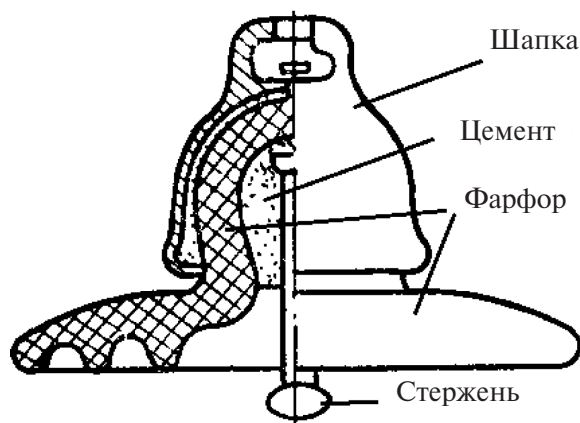


Рис. 1. Типичный фарфоровый изолятор тарельчатого типа

(рис. 1). Небольшие поверхностные сколы фарфора обычно не приводят к существенному уменьшению омического сопротивления изоляторов, величина которого является основной при оценке их состояния. Обычно фарфоровые изоляторы разрушаются изнутри за счет ЧР, образующихся в кавернах. На практике важно оперативно определять фарфоровые изоляторы с наименьшим омическим сопротивлением, чтобы затем их заменять на стеклянные изоляторы.

Рассмотрим суть метода испытания фарфоровых изоляторов и их гирлянд повышенным напряжением. Если изолятор исправен, его омическое сопротивление относительно велико, и по мере увеличения приложенного напряжения может произойти пробой. При этом измеряют ток утечки через контур заземления и по соотношению приложенного напряжения к току утечки определяют (согласно закону Ома) омическое сопротивление. Причем прикладывают как переменное, так и постоянное пробивное испытательное напряжение. Этот метод имеет существенное ограничение, так как в нем не учитывается наличие коронных разрядов, которые существенно влияют на результаты измерений. Другой тип испытания состояния изоляторов и их гирлянд — измерение омического сопротивления с помощью мегаомметра. При использовании этого метода не образуются коронные разряды, поэтому он наиболее достоверный, но этот метод требует отключения приложенного напряжения. Рассмотрим ЧР, возникающие под воздействием приложенного переменного напряжения величиной 50 Гц. При относительно

небольших величинах приложенного напряжения будут наблюдаться ЧР небольшой величины — так называемые начальные ЧР; затем интенсивность и частота ЧР будет расти и произойдет пробой. Действующие нормативные документы предполагают измерения характеристик наиболее интенсивных ЧР максимальной частоты следования, которые возникают на последней предпробойной стадии развития дефектов изолятора. По мнению автора, нерационально диагностировать изолятор на последней стадии его разрушения. Предлагается состояние изоляторов и их гирлянд диагностировать по характеристикам начальных ЧР. При этом важно отделять ЧР от короны (известно, что внутренние ЧР возникают на фоне ПЧР и короны). Корона, как правило, возникает на пиках действующего напряжения, а ЧР — когда приложенное напряжение находится в интервале:

$$U_3 \leq U \leq U_r, \quad [1]$$

где U_3 — напряжение зажигания; U_r — напряжения гашения ЧР; U — действующее напряжение.

Известно также, что корона отличается от ЧР полярностью. В зависимости от количества ЧР с определенной полярностью обычно регистрируют ЧР или положительной или отрицательной полярности. Для фарфоровых изоляторов и их гирлянд, которые диагностировались в данной работе, в основном наблюдались ЧР положительной полярности. Поэтому предлагаемая методика анализа изоляторов и их гирлянд базируется на анализе характеристик ЧР положительной полярности. Начальные ЧР появляются в кавернах вблизи нулевых значений приложенного напряжения. В схеме замещения изолятора каверны часто эквивалентируются в виде электрической емкости, которая под воздействием приложенного напряжения постоянно перезаряжается. Чем больше приложенное напряжение и меньше электрическая емкость дефекта, тем с большей частотой перезаряжается электрическая емкость дефекта и тем больше частота следования начальных ЧР. Это соответствует так называемой модели многослойной изоляции. Рассмотрим гирлянды из двух изоляторов, характерных для воздушных линий электропередачи 6/10 кВ, один из которых — дефектный. Согласно закону Ома распределение напряжения между изоляторами без учета влияния короны в такой гирлянде будет определяться соотношением их

сопротивлений. В соответствии с моделью многослойной изоляции можно предположить, что при увеличении приложенного напряжения число начальных ЧР будет расти и постепенно приближаться к числу ЧР для одиночного дефектного изолятора в предпробойной ситуации. На этом предположении основан предложенный метод диагностики фарфоровых изоляторов и их гирлянд.

Методика эксперимента

Измерения проводились при атмосферном давлении 760 мм. рт. ст., температуре окружающего воздуха 23 °С, относительной влажности воздуха 65 % в лабораторных условиях (рис. 2).

Омическое сопротивление изоляторов и их гирлянд определялось с помощью мегаомметра и сопоставлялось с результатами, полученными методом повышенного пробивного напряжения. Для регистрации и анализа ЧР использовался стандартный прибор R-400, включенный в Госреестр средств измерений [13]. Трансформатор опорного напряжения, входящий в состав R-400, применялся для построения распределения сигналов ЧР в зависимости от фазы действующего напряжения частотой 50 Гц — так называемых амплитудно-фазовых диаграмм (АФД) со стандартным интервалом по фазовому углу 15 градусов, предусмотренным конструкцией прибора. Программное обеспечение прибора позволяет также строить статистические распределения ЧР, АФД и передавать их в Microsoft Excel для дополнительной обработки. Аппарат испытания диэлектриков АИД-70 позволяет определить

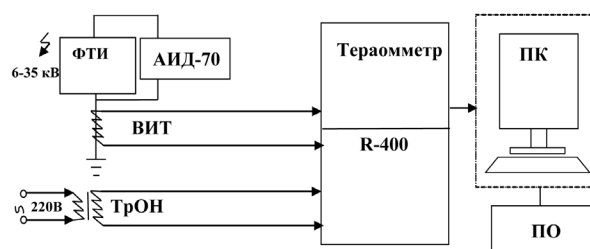


Рис. 2. Блок-схема лабораторной установки: ФТИ — фарфоровый тарельчатый изолятор ПФ6-В; ВИТ — высокочастотный измерительный импульсный трансформатор; ТрОН — трансформатор опорного напряжения; мегаомметр М 4100/4; АИД-70 — аппарат испытания диэлектриков; ПК — персональный компьютер; ПО — программное обеспечение прибора R-400

пробивное напряжение в диапазоне до 70 кВ; ток при пробивном напряжении равен 10 мА. По значению тока и напряжения может быть определено омическое сопротивление диэлектрика как переменному (частотой 50 Гц), так и постоянному току.

Результаты и их обсуждение

Путем комбинирования методов измерения ЧР и повышенного приложенного переменного напряжения частотой 50 Гц определено пробивное напряжение дефектного изолятора (15 кВ). При этом удалось исключить влияние короны. Корона, в свою очередь, контролировалась прибором R-400. Мегаомметром определено соотношение сопротивлений дефектного и бездефектного изолятора — 1:50; далее с учетом этого соотношения и величины пробивного напряжения дефектного изолятора 15 кВ оценено пробивное напряжение бездефектного изолятора — 725 кВ. Заметим, что прямое измерение про-

бивного напряжения дает существенно меньшие результаты из-за влияния короны, так как корона уменьшает сопротивление разрядного промежутка и, в свою очередь, может быть связана с характеристиками окружающего изолятор воздуха (влажность, загрязнения), а также с загрязнениями и влагой на поверхности изолятора.

Далее были исследованы характеристики ЧР одиночного дефектного и бездефектного изоляторов при величине приложенного напряжения 12,5 кВ (так называемое предпробойное напряжение). При этом дефектный изолятор внешних повреждений не имел. С помощью программы обработки данных прибора R-400 построены статистические распределения для дефектного (рис. 3) и бездефектного (рис. 4) изоляторов. Выяснилось, что характер статистического распределения ЧР положительной и отрицательной полярности для дефектного и бездефектного изоляторов качественно различен в области начальных ЧР величиной 35 и 45 пКл.

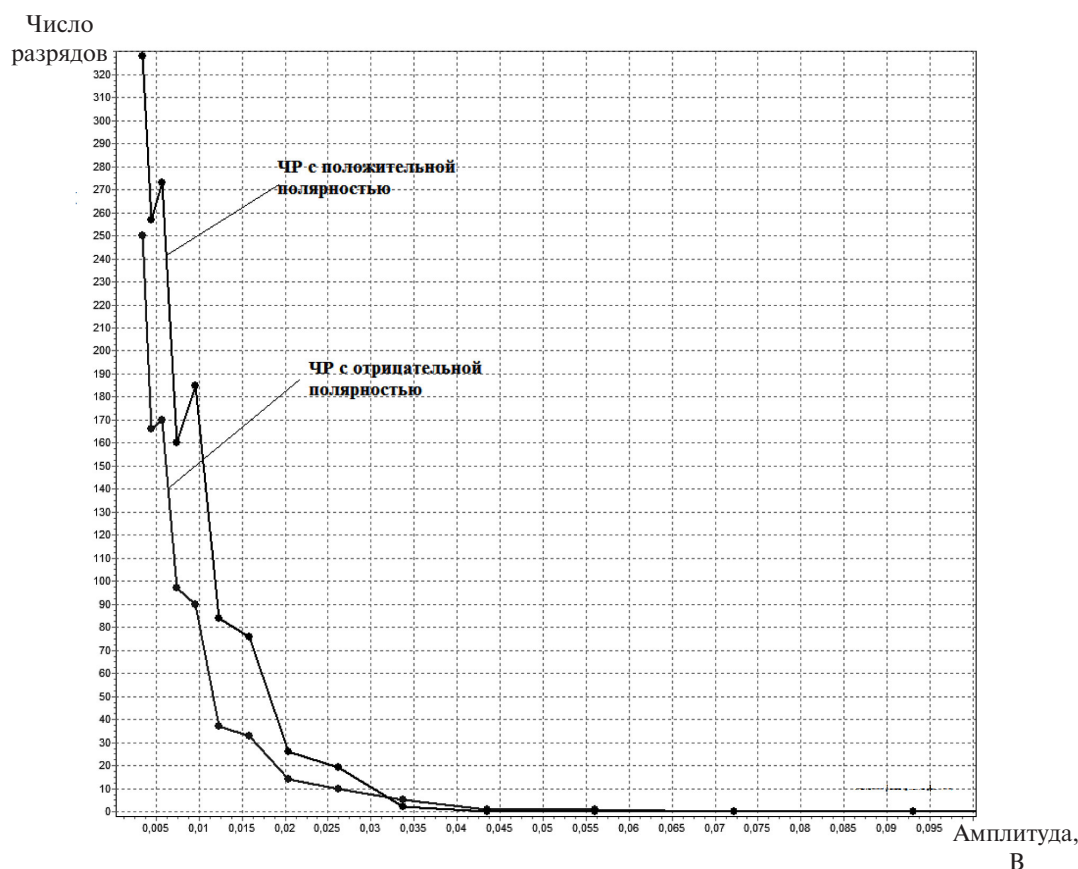


Рис. 3. Дефектный изолятор (12,5 кВ), [1 В] = [10000 пКл]

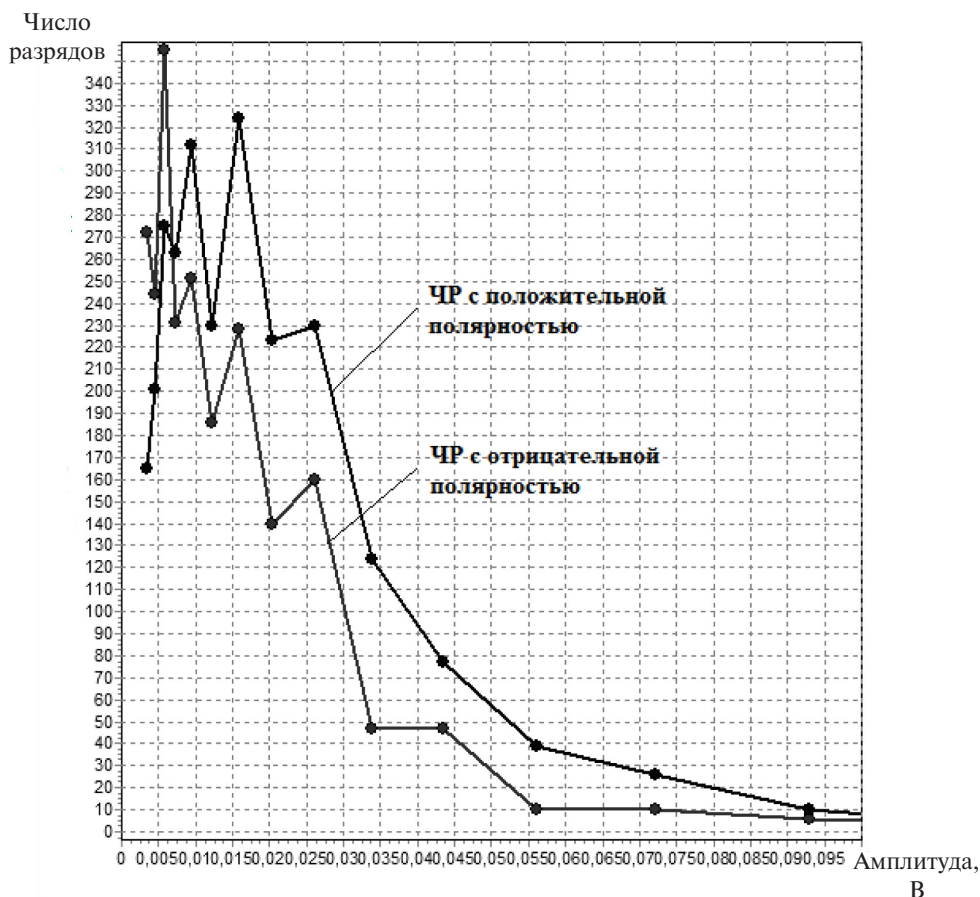


Рис. 4. Бездефектный изолятор (12,5 кВ). Импульсы на положительной и на отрицательной полуwave приложенного напряжения. [1 В] = [10000 пКл]

Для более детального количественного анализа полученные данные статистического распределения ЧР положительной полярности (которых оказалось больше, чем ЧР с отрицательной полярности) с помощью встроенных средств программной оболочки прибора R-400 передавались в Excel. Далее для дефектного и бездефектного изоляторов средствами Excel определялся удельный вес начальных ЧР величиной 35, 45, 57, 262, 330 и 430 пКл положительной полярности в общем числе ЧР положительной полярности при величине приложенного напряжения 12,5 кВ. Также был определен удельный вес начальных ЧР величиной 35, 45, 57, 262, 330 и 430 пКл положительной полярности по отношению к общему числу ЧР положительной полярности для гирлянд из двух изоляторов, в том числе содержащих дефектный изолятор, при значении приложенного напряжения 25 кВ (см. таблицу).

Из таблицы видно, что в случае гирлянды из двух изоляторов, один из которых дефектный, удельный вес всех рассмотренных величин начальных ЧР положительной полярности в общем числе ЧР положительной полярности больше по сравнению с аналогичной величиной для гирлянды из двух таких же бездефектных изоляторов в $k = 0,351767906/0,301980198 \approx 1,16$ раз.

Далее, согласно модели многослойной изоляции было сделано предположение, что удельный вес начальных ЧР величиной 35, 45, 57, 262, 330, 430 пКл положительной полярности в общем числе ЧР положительной полярности для гирлянд из двух изоляторов, один из которых дефектный, увеличивается в k раз при удвоении величины приложенного напряжения. На основе измеренных статистических характеристик ЧР, полученных при относительно низком напряжении были вычислены величины k при высоких значениях приложенного напряжения:

Сравнительные статистические характеристики ЧР

Объект испытания/ приложенное напряжение	Величина начальных ЧР, пКл	Число начальных ЧР	Число начальных ЧР с положительной полярностью	Всего ЧР с положительной полярностью	Удельный вес начальных ЧР в общем числе ЧР с положительной полярностью
Один дефектный изолятор 12,5кВ	35	375	1160	1645	0,705167173
	45	325			
	57	460			
	262	200			
	330	135			
	430	150			
Два бездефектных изолятора 25кВ	35	90	305	1010	0,301980198
	45	85			
	57	130			
	262	240			
	330	230			
	430	235			
Два изолятора в гирлянде, один из которых – дефектный 25кВ	35	115	388	1103	0,351767906
	45	118			
	57	155			
	262	235			
	330	215			
	430	265			

Приложенное напряжение, кВ

25

50

100

200

400

800

Удельный вес начальных ЧР

0,3518

0,4098

0,4773

0,556

0,6477

0,7545

430 пКл (так называемые начальные ЧР) положительной полярности в общем числе ЧР положительной.

Из (2) выразим приложенное напряжение U :

$$U = 0,252 \left(\frac{1}{0,1542} \lg \frac{k}{0,3} - 1 \right). \quad (3)$$

С помощью полученной зависимости (см. рис. 6) и по данным из таблицы, при значении $k = 0,705$ определено предпробойное напряжение гирлянды изоляторов, содержащей дефектный изолятор: оно равно 660 кВ. Выяснено, что линия тренда зависимости $k(U)$ практически является прямой (рис. 7). Поэтому с учетом поправки на пробивное напряжение дефектного изолятора (15 кВ вместо 12,5 кВ) согласно рис. 7 легко получить значение пробивного напряжения гирлянды из двух изоляторов, один из которых – дефектный. Оно равно 800 кВ, что хорошо согласуется с предыдущей экспериментальной оценкой – 740 кВ (сумма пробивных на-

Эти же значения средствами Excel представлены в виде графика (рис. 6) с построением экспоненциальной линии тренда зависимости $k(U)$ (пунктирная линия).

Линия тренда зависимости $k(U)$, представленная на рис. 6, определяется формулой

$$k = 0,3 \exp \left(0,1542 \left(1 + \log_2 \frac{U}{25} \right) \right), \quad (2)$$

где U – приложенное напряжение, кВ; k – удельный вес ЧР величиной 35, 45, 57, 262, 330,

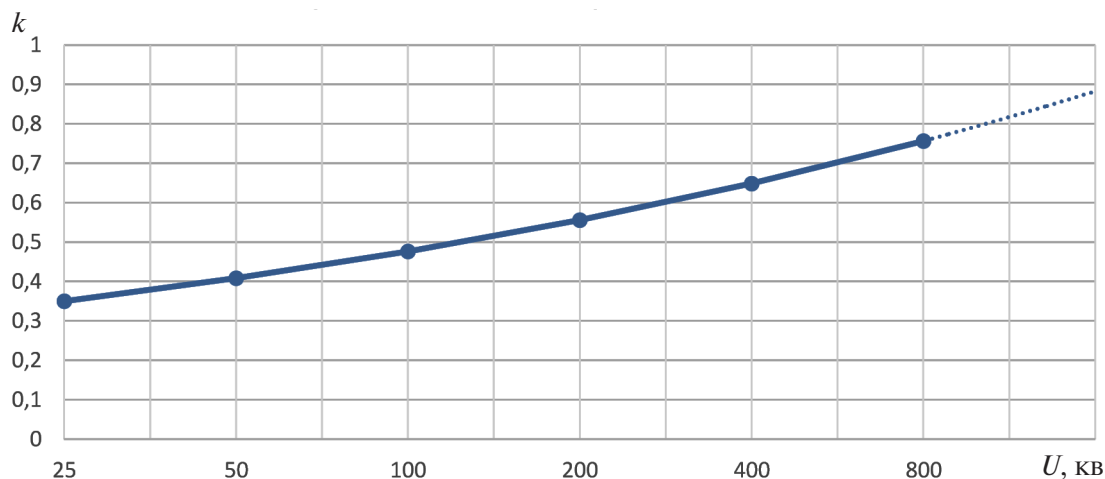


Рис. 6. Зависимость $k(U)$ удельного веса начальных ЧР от приложенного напряжения для гирлянды из двух изоляторов, один из которых дефектный, с экспоненциальной линией тренда

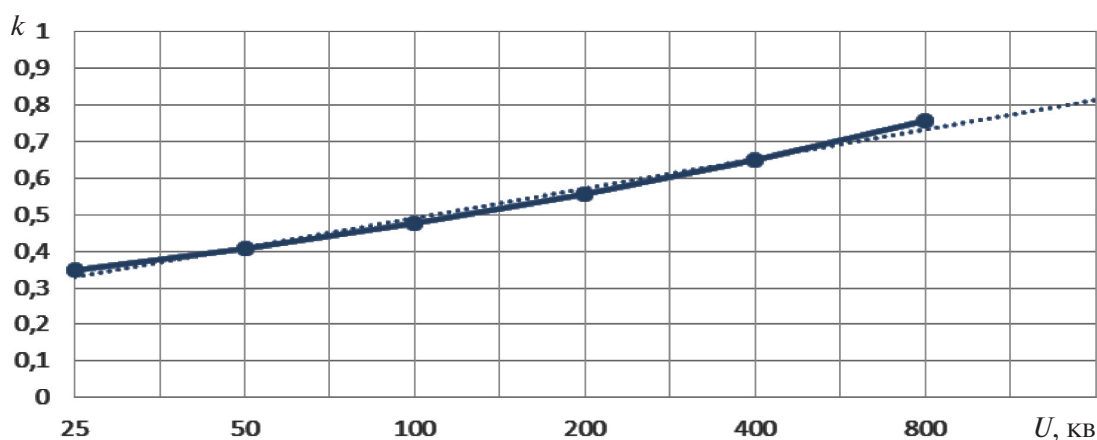


Рис. 7. Зависимость удельного веса начальных ЧР от приложенного напряжения для гирлянды из двух изоляторов, один из которых дефектный, с линией тренда в форме прямой

пряжений для одиночного дефектного изолятора: 725 кВ и одиночного бездефектного изолятора (15 кВ).

После этого по методике [14] были исследованы характеристики ЧР описанных выше увлажненных изоляторов и их гирлянд. Оказалось, что предложенный в статье способ диагностики дефектных изоляторов применим и для диагностики состояния увлажненных и загрязненных гирлянд, но в данной статье обсуждаются результаты исследования только для сухих чистых изоляторов. С практической точки зрения важно выделять гирлянды с так называемыми «нулевыми» изоляторами, сопротивление которых в десятки раз меньше по сравнению с сопротивлением нормальных изоляторов. По-

этому проведены исследования с гирляндами изоляторов, содержащими дефектный изолятор, у которого величина омического сопротивления в 50 раз меньше сопротивления парного бездефектного изолятора. Для различных пар изоляторов и их гирлянд число k отличается, но методика оценки пробивного напряжения остается такой же. С точки зрения практического применения предложенного метода для выявления гирлянд, содержащих «нулевые» изоляторы, можно рекомендовать определять k как отношение удельного веса начальных ЧР величиной 35, 45, 57, 262, 330, 430 пКл для различных гирлянд с построением в автоматическом режиме зависимостей $k(U)$ и дальнейшей оценкой пробивного напряжения. При этом важно провести

большое число измерений и составить на их основе справочные данные. Это будет сделано на последующих этапах исследования. Измерения ЧР должны проводиться при одних и тех же погодных условиях стандартным анализатором ЧР любого типа, включенным в Госреестр средств измерения. Имеются приборы, позволяющие регистрировать ЧР дистанционно, избирательно для каждой гирлянды и удовлетворяющие необходимым требованиям чувствительности.

Таким образом, уже на данном этапе исследований по предложенной методике можно оценить состояние гирлянд изоляторов, исключив влияние короны, причем без отключения приложенного напряжения.

Заключение

Предложен метод оценки степени разрушения за счет каверн изоляторов и их гирлянд, основанный на сопоставлении традиционных методов и метода ЧР. Применяя стандартные приборы измерения характеристик ЧР и сопротивления изоляторов (мегаомметр), удалось исключить влияние короны, загрязнения поверхности изоляторов, а также влияние состояния окружающего воздуха. Исследования были проведены с различными парами изоляторов, в которых один был дефектный; они показали, что именно начальные ЧР, а не ЧР максимальной

амплитуды, определяют степень разрушения изоляторов за счет каверн. Разработанный метод по эффективности можно сопоставить с измерениями сопротивления гирлянд изоляторов мегаомметром, но он имеет явные преимущества ввиду возможности применения без отключения приложенного напряжения 50 Гц.

Разработанный метод оценки состояния гирлянд фарфоровых изоляторов воздушных линий электропередачи напряжением 6/10 кВ предполагает определение величины k (удельный вес начальных ЧР величиной 35, 45, 57, 262, 330, и 430 пКл положительной полярности) для бездефектных и дефектных изоляторов и их гирлянд и дальнейшую оценку пробивного напряжения гирлянды с дефектным изолятором. Величина пробивного напряжения, полученная по характеристикам ЧР, с точностью 8 % согласуется с результатами, полученными традиционными методами. Методика проста, поэтому полезна с практической точки зрения для сравнения различных гирлянд изоляторов между собой и выявления среди них гирлянд, содержащих так называемые «нулевые» изоляторы, омическое сопротивление которых в десятки раз меньше омического сопротивления бездефектных изоляторов. Методика применима для оценки степени разрушения, обусловленного кавернами, гирлянд фарфоровых и полимерных изоляторов всех типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МЭК 60270. Методы высоковольтных испытаний — измерение частичных разрядов. Международный стандарт. Пер. с англ. М.: 2000-12. 55 с.
2. ГОСТ 20074-83. Электрооборудование установок. Методы измерения частичных разрядов. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1983. 24 с.
3. Гатауллин А.М., Матухин В.Л., Наумов Б.А. Система мониторинга и диагностирования (СМИД) высоковольтного электрооборудования на основе анализа статистических параметров частичных разрядов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 7—8. С. 19—26.
4. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергия, 1979. 233 с.
5. Morshuis P. // Proc. of 9th Intern. Symposium on High Voltage Engineering. Graz (Austria). 1995. Vol. 5. P. 5644.1—5644.4.
6. Носков М.Д., Малиновский А.С., Закк М., Шваб А.И. Моделирование роста дендритов и частичных разрядов в эпоксидной смоле // Журнал технической физики. 2002. Т. 72. Вып. 2. С. 121—128.
7. Резинкина М.М. Влияние проводимости ветвей дендритов в полиэтиленовой изоляции на их рост при приложении высокого напряжения // Журнал технической физики. 2005. Т. 75. Вып. 6. С. 85—92.
8. Yicheng Wang. New method for measuring statistical distributions of partial discharge pulses // J. Res. Natl. Inst. Stand Technol. 1997. Vol. 102, №5. P. 569—576.
9. Гатауллин А.М. Регистрация и обработка сигналов частичных разрядов // Приборы и техника эксперимента. 2014. № 4. С. 55—60.
10. Гатауллин А.М., Крупнов Б.А., Матухин В.Л. Моделирование искажения формы линии сигналов частичных разрядов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. № 3—4. С. 74—82.
11. Арбузов Р.С. Электронно-оптический контроль опорно-стержневой и подвесной изоляции //

Электронприбор. Электронный журнал. 2012. Вып. 4. С. 3–9. [Электронный ресурс] URL: http://www.electronpribor.ru/files/publications/journal_230812-2.pdf (дата обращения 30.09.2015).

12. **Патент РФ № 2014135317.** Способ бесконтактной дистанционной диагностики состояния высоковольтных полимерных изоляторов / Гатауллин А.М. Решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2014135317/28(057306).

13. ООО «Димрус» [электронный ресурс], URL: <http://dimrus.ru/manuals/r400.pdf> (дата обращения 30.09.2015).

14. **Гатауллин А.М., Матухин в.Л., Низамов И.И.** Метод неразрушающего контроля полимерных композитных изоляторов напряжением 35 кВ // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического института. 2015. № 2 (219). С. 119–125.

REFERENCES

1. **МЭК 60270.** Metody vysokovoltnykh ispytaniy – izmereniye chastichnykh razryadov. Mezhdunarodnyy standart. [Methods of high-voltage tests - measurement of partial discharges. International Standard.] / per. s angl. М., 2000. 12. 55 s.

2. **GOST 20074-83.** Elektrooborudovaniye ustanovok. Metody izmereniya chastichnykh razryadov. [Electrical installations. Methods for measuring partial discharges.] М.: Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam, 1983. 24 s.

3. **Gataullin A.M., Matukhin V.L., Naumov B.A.** Sistema monitoringa i diagnostirovaniya (SMID) vysokovoltного elektrooborudovaniya na osnove analiza statisticheskikh parametrov chastichnykh razryadov. [The design of the system for the monitoring and diagnosis (smid) of high-voltage equipment]. *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki*. 2013. № 7–8. s. 19–26. (rus)

4. **Kuchinskiy G.S.** Chastichnyye razryady v vysokovoltnykh konstruksiyakh. [Discharges characteristics in high-voltage electrical installations.] Л.: Energiya, 1979. 233 S. (rus)

5. **Morshuis P.** //Proc.of 9th Intern. Symposium on High Voltage Engineering. Graz (Austria). 1995. Vol. 5. P. 5644.1–5644.4.

6. **Noskov M.D., Malinovskiy A.S., Zakk M., Shvab A.J.** Modelirovaniye rosta dendritov i chastichnykh razryadov v jepoksidnoy smole. [Simulation of dendrite growth and partial discharges in epoxy resin.]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 2002. T. 72. Vyp. 2. S. 121–128. (rus)

7. **Rezinkina M.M.** Vliyaniye provodimosti vetvev dendritov v polijetilenovoy izoljatsii na ih rost pri prilozhenii vysokogo napryazheniya. [Effect conduction branches of dendrites in polyethylene insulation on their growth by applying a high voltage.]. *ZhTF*. 2005. T. 75,

Vyp. 6. S. 85–92. (rus)

8. **Yicheng Wang.** New method for measuring statistical distributions of partial discharge pulses // J. Res. Natl. Inst. Stand Technol. 1997. Vol. 102. №5. P. 569–576.

9. **Gataullin A.M.** Registratsiya i obrabotka signalov chastichnykh razryadov. [Recording and processing of partial discharges signals.]. *Pribory i tekhnika eksperimenta*. 2014. № 4. S. 55–60. (rus)

10. **Gataullin A.M., Krupnov B.A., Matukhin V.L.** Modelirovaniye iskazheniya formy linii signalov chastichnykh razryadov. [The modeling of the partial discharges signals line form distortion]. *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki*. 2011. № 3–4. S. 74–82. (rus)

11. **Arbuzov R.S.** Elektronno-opticheskiy kontrol oporno-sterzhnevoy i podvesnoy izolyatsii [Optoelectronic control support-rod and suspended insulation]. // *Elektronpribor. Elektronnyy zhurnal*. 2012. Vyp. 4. http://www.electronpribor.ru/files/publications/journal_230812-2.pdf. (Accessed 30/09/2015). (rus)

12. **RF Patent № 2014135317.** A method of contactless remote diagnostics of high-voltage polymer insulators / Gataullin A.M. The decision to grant a patent for an invention under the application № 2014135317/28 (057306). (rus)

13. ООО «Dimrus», Available: <http://dimrus.ru/manuals/r400.pdf> (Accessed 30/09/2015). (rus)

14. **Gataullin A.M., Matukhin V.L., Nizamov I.I.** Metod nerazrushayushchego kontrolya polimernykh kompozitnykh izolyatorov napryazheniyem 35 kV [Nondestructive testing method of polymeric composite insulators voltage of 35 kV]. *St.Petersburg State Politechnical University Jornal. St.Petersburg: SPbGPU Publ*. 2015. № 2(219). S. 119–125. (rus)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

ГАТАУЛЛИН Айрат Мухамедович — кандидат технических наук доцент Казанского государственного энергетического университета

420066, Казань, ул. Красносельская, 51.

E-mail: gataullinam@mail.ru

ГАТАУЛЛИН Айрат М. — Kazan State Power Engineering University.

51, Krasnoselskaya St., Kazan, Russia, 420066.

E-mail: gataullinam@mail.ru