

Statistical Analysis of Partial Discharge Characteristics in Transformer Oil at the “Point-Plane” Electrode at Alternating Voltage

Korobeynikov S.M., Bychkov A.L., Chimitova E.V., Demin V.A.

Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. In this paper, we consider the problems related to measuring and analyzing the characteristics of partial discharges which are the main instrument for oil-filled high-voltage electrical equipment diagnosing. The experiments on recording of partial discharges in transformer oil have been carried out in the “point-plane” electrode system at alternating current. The instantaneous voltage and the apparent charge have been measured depending on the root-mean-square voltage and the phase angle of partial discharges. This paper aims at carrying out a statistical analysis of the obtained experimental results, in particular, the construction of a parametric probabilistic model of the dependence of the partial discharge inception voltage distribution on the value of the root-mean-square voltage. It differs from usual discharges which occur in liquid dielectric materials in case of sharp inhomogeneous electrode system. It has been suggested that discharges of a different type are the discharges in gas bubbles that occur when partial discharges in a liquid emerge. This assumption is confirmed by the fact that the number of such discharges increases with increasing the root-mean-square voltage value. It is the main novelty of this paper. This corresponds to the nature of the occurrence of such discharges. After rejecting the observations corresponding to discharges in gas bubbles, a parametric probabilistic model has been constructed. The model obtained makes it possible to determine the probability of partial discharge occurrence in a liquid at a given value of the instantaneous voltage depending on the root-mean-square voltage.

Keywords: partial discharge, transformer oil, bubble, energy, phase, apparent charge, cavity, statistical analysis, probability, distribution function.

Analiza statistică a caracteristicilor de descărcare parțială la vârful electrodului la tensiune alternativă în uleiul de transformator

Korobeynikov S.M., Bychkov A.L., Chimitova E.V., Demin V.A.

Universitatea Tehnică de Stat din Novosibirsk
Novosibirsk, Federația Rusă

Rezumat. Descărcările parțiale (DP) sunt principalele instrumente de diagnosticare a echipamentelor electrice de înaltă tensiune umplute cu ulei. Scopul acestei lucrări este prelucrarea statistică a rezultatelor experimentelor efectuate pe înregistrarea descărcărilor parțiale în ulei de transformator într-un câmp electric puternic și neomogen. În rezultatul analizei statistice se demonstrează, că la valori ridicate ale tensiunii efective apar descărcări parțiale care diferă de la descărcările în dielectrici lichizi (mediu puternic neomogen). S-a sugerat ipoteza, că un alt tip de descărcări depistate sunt descărcări în bule de gaz care apar în timpul descărcărilor parțiale în lichid. Această ipoteză este confirmată de faptul, că intensitatea acestui tip de descărcări crește cu ridicarea nivelului tensiunii efective, ceea ce corespunde naturii apariției acestui tip de descărcări. După excluderea observațiilor considerate ca procese de descărcare în bule de gaz s-a construit modelul parametric probabilistic corespunzător, care permite determinarea probabilității de apariție a descărcărilor parțiale într-un lichid cu o valoare de tensiune instantanee predeterminată, în funcție de tensiunea reală.

Cuvinte cheie: descărcare parțială, ulei de transformator, bule, energie, faza, sarcină aparentă, cavitate, analiza statistică, probabilitatea, funcția de distribuție.

Статистический анализ характеристик частичных разрядов в трансформаторном масле у острейного электрода на переменном напряжении

Коробейников С.М., Бычков А.Л., Чимитова Е.В., Демин В.А.

ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация. Частичные разряды (ЧР) являются основным инструментом диагностики маслонеполненного высоковольтного электрооборудования. Целью данной работы является статистическая обработка результатов проведенных экспериментов по регистрации частичных разрядов в трансформаторном масле в резко неоднородном поле. В результате проведенного статистического анализа показано, что при больших значениях действующего напряжения возникают частичные разряды, отличные от разрядов в жидких диэлектриках (резко неоднородной среде). Было сделано предположение, что разряды другого типа являются разрядами в пузырьках газа, которые возникают при частичных

разрядах в жидкости. Данное предположение подтверждается тем, что количество таких зарядов растёт с увеличением действующего напряжения, что соответствует природе возникновения разрядов такого типа. После исключения наблюдений, соответствующих разрядам в пузырьках газа, построена параметрическая вероятностная модель, позволяющая определять вероятность возникновения частичных разрядов в жидкости с заданным значением мгновенного напряжения, в зависимости от действующего напряжения.

Ключевые слова: частичный разряд, трансформаторное масло, пузырек, энергия, фаза, кажущийся заряд, полость, статистический анализ, вероятность, функция распределения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, одной из наиболее важных проблем современной энергетики является повышение аварийности силового маслонаполненного электрооборудования энергетических объектов. Такую тенденцию можно связать как с увеличением срока службы электрооборудования [1], так и с недостаточным количеством данных при диагностировании. Замена устаревших единиц оборудования на многочисленных сетевых объектах РФ выглядит не только сложно реализуемой задачей с экономической точки зрения, но и бессмысленной с технической стороны. Диагностика оборудования и выявление дефектов на ранних стадиях развития, является важной и актуальной задачей. При этом на первый план выходят такие методы, которые обеспечивают контроль текущего состояния оборудования на месте его установки, под рабочим напряжением и, желательно, в процессе нормальной эксплуатации. Наиболее важным вопросом, на который должна ответить диагностическая система, является возможность или невозможность дальнейшей безопасной эксплуатации оборудования.

Наиболее информативными и часто применяемыми методами диагностики развивающихся повреждений в настоящее время являются: регистрация частичных разрядов (ЧР) в бумажно-масляной изоляции, физико-химический анализ изоляционных жидкостей и газов. При помощи этих методов можно не только оценить степень развития тех или иных дефектов, но, а также определить в лабораторных условиях ряд важных параметров электроизоляционных жидкостей, одним из которых является коэффициент газообразования. Однако, в ряде случаев значения коэффициентов газообразования, приведенных в различных источниках, значительно отличаются [2].

Такие различия (в некоторых случаях на порядок) являются следствием возникновения разных типов ЧР в исследуемой изоляционной жидкости в зависимости от применяемых методик измерения ЧР. В работе [3] ЧР в резконеоднородном поле возникал у острейшего катода в жидкости и приводил к образованию микропузырька. ЧР при использовании электродной системы «острие-плоскость» изучался во многих работах ранее [4, 5] и в настоящее время [6, 7].

В работе [8] показано, что в резконеоднородном поле при отрицательной полярности острия электрода были действительно зарегистрированы два типа ЧР и один тип ЧР при положительной полярности острия. Данные результаты могут быть отправным пунктом для разработки методики выявления различных типов ЧР путем математической обработки полученного массива данных измерений [8].

Целью данной работы является выявление статистических закономерностей при обработке результатов эксперимента и построение вероятностной модели зависимости распределения мгновенного значения напряжения в момент возникновения частичного разряда от значения действующего напряжения.

1. ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОДОВ «ОСТРИЕ-ПЛОСКОСТЬ»

Существует несколько видов частичных разрядов [1]. Наиболее известным и широко обсуждаемым является разряд в газовой полости, либо в общем виде, в части промежутка с малой электрической прочностью. Второй тип ЧР, представляющий интерес - это разряд в резко неоднородном поле, когда ЧР занимает малую область в той части изоляции, где существует резко неоднородное сильное электрическое поле.

Массив данных по характеристикам ЧР, которые будут обрабатываться ниже, был получен в условиях лабораторных экспериментов [8]. Для проведения экспериментов и регистрации данных в [8] была выбрана экспериментальная ячейка с системой электродов «острие-плоскость», радиус скругления острейного электрода составлял $3 \text{ }\mu\text{m}$ (это примерно соответствовало радиусу скругления электрода в [3]). В таком случае ЧР возникает на острие, в этом случае «кажущийся заряд» ЧР равен истинному заряду [9].

Экспериментальная установка представляет собой металлическую заземлённую камеру: в левой стенке, которой вмонтирован высоковольтный маслонаполненный ввод, напряжение с которого через фильтрующую RC цепочку подводится на высоковольтный электрод экспериментальной ячейки. Над ячейкой располагаются ёмкость связи с измерительной схемой, экранированной медным корпусом. Для регистрации ЧР применялся цифровой осциллограф.

Для экспериментального определения коэффициента газообразования была проведена следующая подготовка: дегазация трансформаторного масла, подготовка экспериментальной установки и заполнение ячейки дегазированным трансформаторным маслом, определение оптимальной величины действующего значения напряжения (подбирается из максимально возможной скорости записи импульсов), определение концентрации газообразных продуктов в трансформаторном масле.

После дегазации трансформаторного масла, ячейка заполнялась маслом, и отбирались первые исходные пробы для контроля изменения газосодержания в масле в процессе ЧР. При помощи широкополосного многоканального осциллографа проводилась регистрация следующих параметров ЧР: амплитуда ЧР, действующее значение напряжения между электродами, мгновенное значение напряжения в момент возникновения ЧР, фазовый угол напряжения в момент возникновения ЧР, длительность и форма импульсов.

Из этих параметров, в дальнейшем, определялись: фазовое распределение импульсов ЧР, энергия единичного ЧР и суммарная энергия в ЧР, полученные за один

цикл измерений. Эксперименты проводились сериями в зависимости от действующего значения напряжения. Каждая серия эксперимента длилась 4-6 часов. В этих условиях ЧР происходил при отрицательном напряжении на острие. Сравнительно редкие ЧР при положительном напряжении исключались из рассмотрения.

II. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В результате проведённого эксперимента получена выборка частичных разрядов объёмом $n = 626$. Наибольший интерес вызывает зависимость мгновенного напряжения возникновения ЧР U от действующего напряжения U^W . В данном случае значение мгновенного напряжения можно считать случайной величиной, распределение которой зависит от действующего напряжения. Тогда полученную выборку наблюдений можно записать следующим образом:

$$X_n = (U_1, U_1^W), (U_2, U_2^W), \dots, (U_n, U_n^W). \quad (1)$$

Кроме того, в качестве случайной величины можно рассмотреть фазовое распределение импульса ЧР φ , которое вычисляется как:

$$\varphi_i = \arcsin\left(\frac{U_i}{\sqrt{2} \cdot U_i^W}\right), \quad i = \overline{1, n}.$$

Из формулы видно, что фазовое распределение импульса ЧР сочетает в себе как мгновенное значение напряжения в момент ЧР, так и действующее напряжение. Обозначим полученную выборку следующим образом:

$$Y_n = (\varphi_1, U_1^W), (\varphi_2, U_2^W), \dots, (\varphi_n, U_n^W). \quad (2)$$

Таким образом, можно построить параметрическую вероятностную модель для описания условной функции распределения мгновенного напряжения при возникновении ЧР в зависимости от величины действующего напряжения U^W . В приложениях статистического анализа данных наиболее широко применяются модели пропорциональных интенсивностей Кокса и

ускоренных испытаний [10-13], которые позволяют описать зависимость функции распределения от некоторого фактора.

На рис. 1 и 2 представлены графики эмпирических функций распределения наблюдаемого напряжения и фазового

распределения импульса ЧР при различных значениях действующего напряжения, полученные по выборкам X_n и Y_n , соответственно.

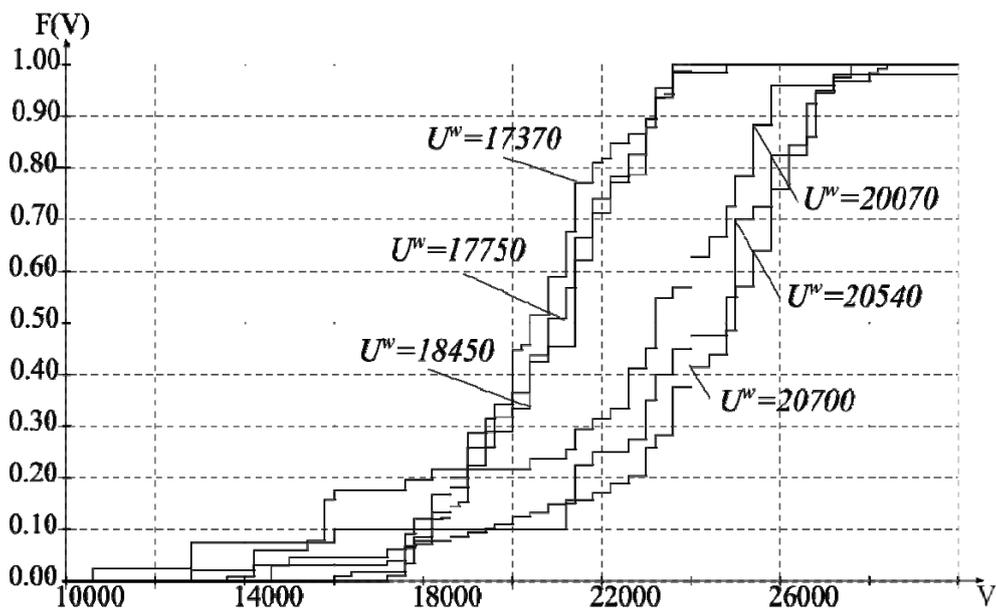


Рис. 1. Эмпирические функции распределения мгновенного напряжения U .

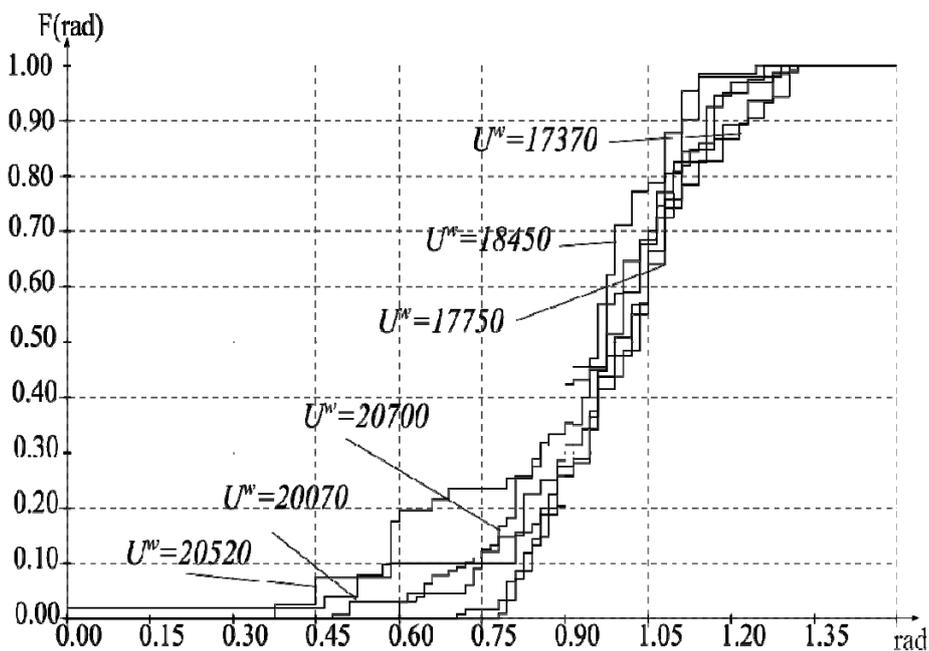


Рис. 2. Эмпирические функции распределения фазового распределения импульса ЧР.

Из рис. 1 видно, что с увеличением действующего напряжения значения U стремятся в область больших значений, однако при рассмотрении фазового распределения импульса ЧР (рис. 2) такого не

происходит и все функции распределения близки. Это связано с тем, что фазовое распределение импульсов ЧР, фактически, является способом нормировки, в которой элиминируется влияние U^w .

Из рис. 1 и 2 видно, что при большем значении действующего напряжения U^W форма распределений U и φ начинает меняться. Поскольку гипотеза об однородности распределений фазового распределения импульса ЧР при малых (менее 17550В) и больших (более 18450В) значениях действующего напряжения отвергается по критерию Лемана-Розенблатта [14, 15] при $\alpha = 0.05$, то можно утверждать, что для $U^W = 18450$ В и выше распределение φ меняется: вместо одного распределения появляется смесь распределений. При этом доля наблюдений, имеющих распределение, отличное от распределения мгновенного напряжения ЧР в жидком диэлектрике, увеличивается с ростом действующего напряжения. Так, при $U^W = 18450$ В на левом хвосте эмпирического распределения наблюдается 9% ЧР другой природы, при $U^W = 20070$ В таких ЧР 22%. Основное предположение заключается в том, что при больших значениях U^W начинают возникать два вида ЧР: не только в жидкости, но и в пузырьках газа.

Из рис. 2 видно, что при $U^W < 18450$ В ЧР со значением фазового распределения импульса менее 0.75 рад не возникают. Исходя из этого, можно сделать вывод, что

ЧР, возникающие при значениях $\varphi < 0.75$, можно отнести к ЧР в пузырьках газа, появление которых описано в [3], а ЧР, возникающие при значениях $\varphi \geq 0.75$ – к ЧР в жидкости. Считается, что ЧР в порах твердой изоляции возникает при меньшем напряжении вследствие наличия оставшегося заряда от предыдущего ЧР [16]. На наш взгляд, в случае пробоя в пузырьке газа подобная ситуация вполне вероятна, т.к. заряд не успевает рассосаться после предыдущего ЧР и пробой в пузырьке произойдет при меньшем значении мгновенного напряжения. Процент таких разрядов растёт с увеличением действующего напряжения – в проведенном эксперименте он меняется от 9% до 24%.

Для построения вероятностной модели зависимости функции распределения мгновенного напряжения ЧР в жидкости от значения действующего напряжения исключим из рассмотрения наблюдения, соответствующие ЧР в пузырьках газа. На рис. 3 и 4 представлены графики эмпирических функций распределения мгновенных напряжений и фазового распределения импульса ЧР, соответственно, полученные после исключения таких наблюдений.

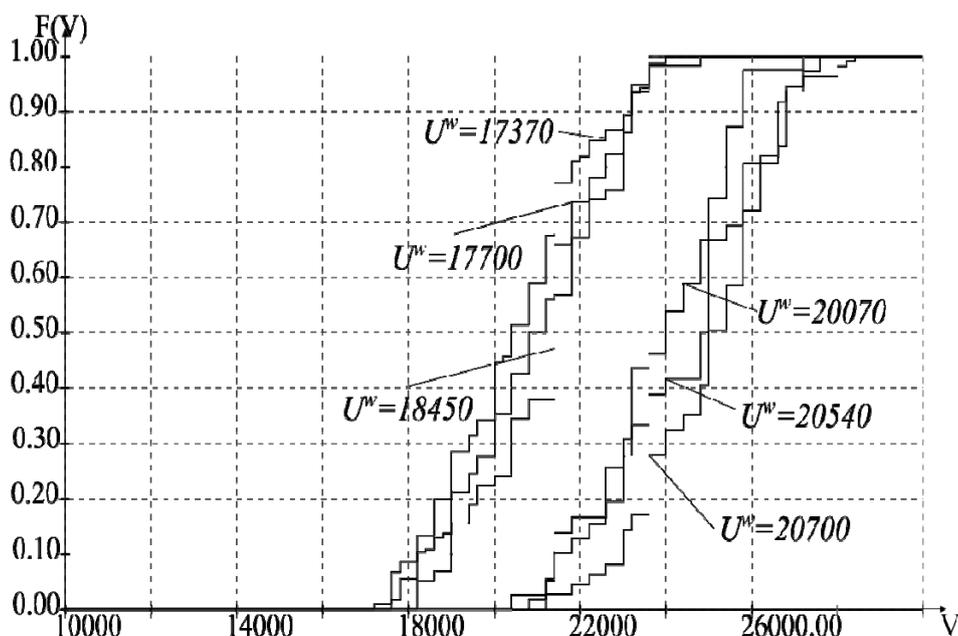


Рис. 3. Эмпирические функции усеченного распределения мгновенного напряжения U .

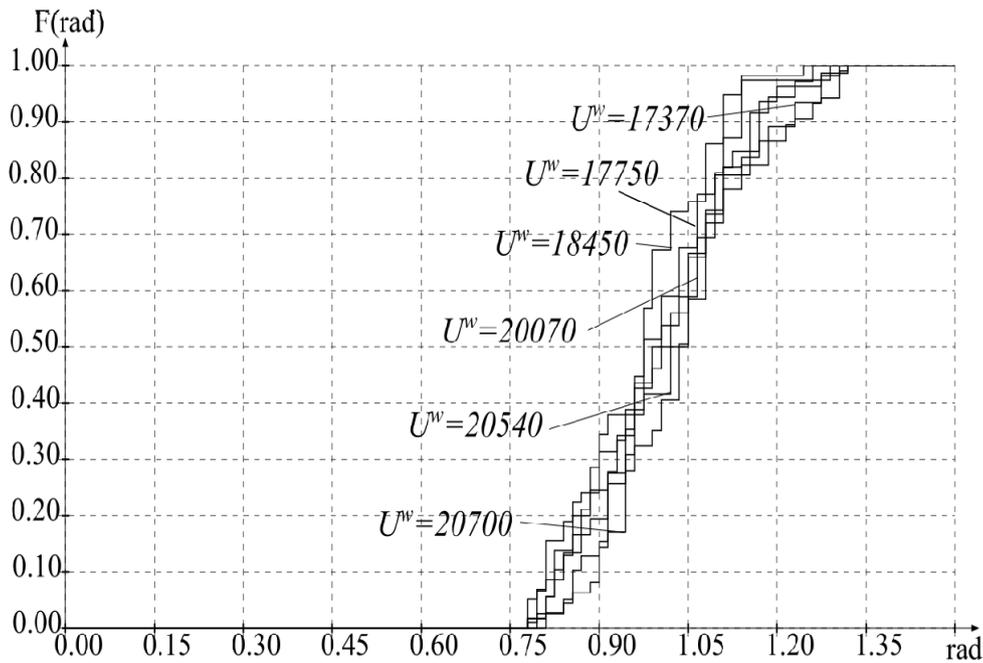


Рис. 4. Эмпирические функции усеченного распределения фазового распределения импульса ЧР φ .

Из рис. 3 следует, что с увеличением действующего напряжения распределения U стремятся в область больших значений, т.е. мгновенное напряжение пропорционально увеличивается с ростом действующего напряжения.

Из рис. 4 следует, что все функции распределения сгруппированы в одной области, что вполне логично и объяснимо, учитывая, что на графики фазового распределения импульса ЧР не должно проявляться влияние действующего напряжения. Это указывает на то, что выбросы (наблюдения, соответствующие ЧР в пузырьках газа) из выборки удалены и теперь можно построить статистическую модель зависимости функции распределения мгновенного напряжения от значения действующего напряжения.

Поскольку распределение мгновенного напряжения, как правило, хорошо описывается распределением Вейбулла [17], при этом с изменением действующего напряжения меняется масштаб распределения, и не меняется его форма (см. рис. 3), то логично попробовать описать такую зависимость с помощью модели ускоренных испытаний вида [18, 19]

$$F_x(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{r(x; \beta)}\right)^\theta\right),$$

где $\theta > 0$ – параметр формы распределения Вейбулла, β – вектор регрессионных параметров модели. В качестве функции $r(x; \beta)$ рассмотрим функцию вида

$$r(x; \beta) = e^{\beta_0 + \beta_1 x},$$

где x – значение действующего напряжения U^w .

Неизвестные параметры модели можно оценить с помощью метода максимального правдоподобия. Таким образом, вероятность появления ЧР с заданным интервалом значений мгновенного напряжения, в зависимости от величины действующего напряжения можно вычислить на основе полученной модели:

$$\begin{aligned} F_x(t) &= P\{U < t \mid x = U^w\} = \\ &= 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\exp(9.02 + 5.47 \cdot 10^{-5} x)}\right)^{14.38}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

Статистическая гипотеза о виде модели (3) проверялась с использованием критерия согласия, предложенного в [20], в результате показано, что нет оснований для отвержения гипотезы, т.к. достигнутый уровень значимости $p\text{-value} = 0.87 > \alpha$, что наглядно проиллюстрировано на рис. 5, где представлены графики эмпирических функций распределения и соответствующих

распределений (3) при различных значениях действующего напряжения.

Из рис. 5 видно, что построенная модель достаточно точно описывает распределение мгновенного напряжения в зависимости от действующего напряжения. В таблице 1 представлены полученные на основе построенной модели вероятности возникновения ЧР со значением мгновенного напряжения больше заданного для некоторых значений действующего напряжения.

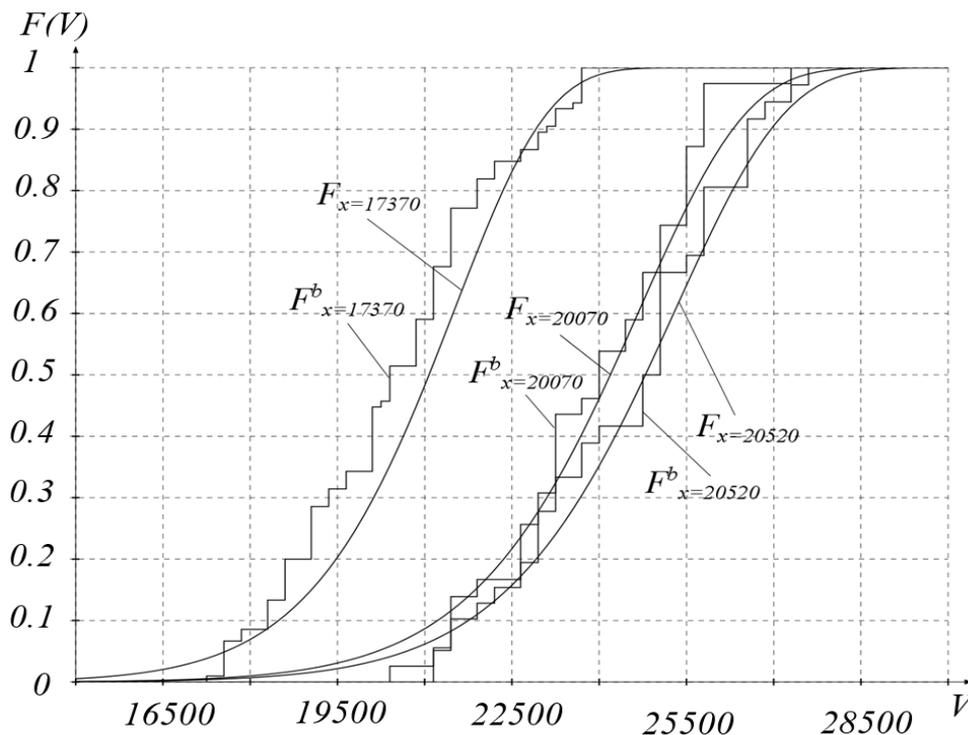


Рис. 5. Функции распределения и эмпирические функции распределения при различных действующих напряжениях.

Таблица 1
Вероятности возникновения ЧР с заданными значениями мгновенного и действующего напряжения

U	U^w		
	17370	20070	20520
>18000	0.921	0.991	0.994
>21000	0.468	0.920	0.938
>24000	0.006	0.539	0.648
>27000	0.001	0.035	0.094
>30000	0	0.001	0.001

Таким образом, на основе построенной модели (3) можно вычислить вероятность возникновения ЧР со значением мгновенного напряжения больше заданного в зависимости от величины действующего напряжения.

Имея математическую модель, способную описать распределения частичных разрядов в зависимости от действующего напряжения, можно моделировать процесс деградации изоляционных жидкостей, делать прогноз срока службы изоляционных жидкостей при различных напряжениях, даже для таких значений действующего напряжения, которые не наблюдались экспериментально. Обладая таким инструментом, можно сэкономить ресурсы для диагностики электрического оборудования.

Кроме того, отдельного исследования заслуживают ЧР в пузырьках газа, однако наблюдений для построения модели на данный момент недостаточно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного статистического анализа данных впервые показано, что при увеличении действующего напряжения в жидком диэлектрике начинают образовываться частичные разряды двух типов: разряды в жидкости и, предположительно, разряды в парогазовых пузырьках. При этом процент частичных разрядов в пузырьках газа увеличивается с ростом действующего напряжения. Это необходимо учитывать при расчёте количества выделившейся энергии, так как энерговыделительная способность таких ЧР отличается от энерговыделительной способности ЧР в жидкой среде.

Выявлено, что распределение мгновенных напряжений при возникновении ЧР принадлежит семейству распределений Вейбулла с параметром масштаба, зависящим от величины действующего напряжения. На основе построенной параметрической вероятностной модели, описывающей зависимость распределения мгновенных напряжений от действующего напряжения, вычислены вероятности возникновения ЧР для различных значений действующего напряжения.

Для того чтобы оценить распределение, которому подчиняются частичные разряды, соответствующие ЧР в пузырьках газа, необходимы экспериментальные данные по ЧР при больших значениях действующего напряжения. Кроме того, было бы полезным провести эксперимент для исследования зависимости количества ЧР от времени эксплуатации при различных действующих напряжениях. В этом случае было бы возможно построить статистическую модель надежности трансформаторов, использующих диэлектрические жидкости.

Авторский коллектив благодарит за финансовую поддержку работы за счет средств гранта РФФИ (грант № 16-19-10229). Отбор проб трансформаторного масла осуществлялся при помощи устройств разработанных при поддержке фонда содействия инновациям (программа УМНИК 15-4 Договор № 7498ГУ/2015).

Литература (References)

[1] Dar'yan L.A. *Nauchnye osnovy fiziko-himicheskoy diagnostiki vysokovol'nogo maslonapolnennogo ehlektrooborudovaniya s izolyaciej kondensatornogo tipa*. Diss. dokt. teh. Nauk [Scientific fundamentals of physical and

chemical diagnostics of high-voltage oil-filled electrical equipment with insulation of condenser type. Dr. eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2009. 437 p.

- [2] Dar'yan L. A., Arakelyan V. G. Stojkost' izolyacionnyh zhidkostej k gazoobrazovaniyu [Resistance of insulating liquids to gassing]. *Elektrotehnika – Electrical Engineering*, 1997, no. 2, pp. 45–49. (In Russian).
- [3] Kattan R., Denat A., Lesaint O. Generation, growth, and collapse of vapor bubbles in hydrocarbon liquids under a high divergent electric field. *Journal of Applied Physics*, 1989, vol. 66, pp. 4062 – 4066.
- [4] Denat A., Gosse J.P., Gosse B. Electrical Conduction of Purified Cyclohexane in a Divergent Electric Field. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 1988, vol. 23, no 4, pp. 545-554.
- [5] Pompili M., Mazzetti C., Bartnikas R. Phase Relationship of PD Pulses in Dielectric Liquids under AC Conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2000, vol. 7, no. 1, pp.113-117.
- [6] Pattanadech N., Muhr M. Comments on PDIV Testing Procedure According to IEC 61294. Proc. of 19th IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, United Kingdom, 25 – 29 June, 2017, 978-1-5090-4877-9/17/\$31.00 ©2017 IEEE.
- [7] Lesaint O., Costeanu L. Positive Streamer Inception in Cyclohexane: Evidence of Formative Time and Cavitation Process. Proc. of 19th IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, United Kingdom, 25 – 29 June, 2017 978-1-5090-4877-9/17/\$31.00 ©2017 IEEE.
- [8] Bychkov A. L., Korobeynikov S. M., Ovsyannikov A. G. Partial discharges registration in transformer oil at the 'point-plane' electrode system. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 698, pp. 615–620.
- [9] Ovsyannikov A.G., Korobeynikov S.M.. "Apparent" and True Charges of Partial Discharges. IEEE International Conference on Dielectrics (ICD), Montpellier, France, 3–7 July 2016. IEEE, 2016, vol. 2, pp. 485-489.
- [10] Cox D.R. Regression models and life tables (with Discussion). *Journal of the Royal Statistical Society. Ser. B.*, 1972, vol. 34, pp. 187-220.
- [11] Kalbeisch J.D., Prentice R.L. *The statistical analysis of failure time data*. – John Wiley and Sons, Inc., New York, 2002. 462 p.
- [12] Lawless J.F. *Statistical models and methods for lifetime data* – John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2002. 664 p.

- [13] Meeker W.Q., Escobar L.A. *Statistical methods for reliability data* – John Wiley and Sons, New York, 1998. 680 p.
- [14] Lehmann E. L. Consistency and unbiasedness of certain nonparametric tests. *Ann. Math. Statist.*, 1951, vol. 22, pp. 165–179.
- [15] Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B. Statistical distribution convergence and homogeneity test power for Smirnov and Lehmann–Rosenblatt tests. *Measurement Techniques*, 2005, vol. 48, pp. 1159–1166.
- [16] Bartnikas R., Novak J.P. On the spark to pseudoglow and glow transition mechanism and discharge detect ability. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 1992, vol. 27, no.1, pp. 3-14.
- [17] Hauschild W., Mosch W. *Statistical Techniques for High-Voltage Engineering*. IEE Power Engineering Series. English edition: Peter Peregrinus Ltd, London, 1992. 324 p.
- [18] Bagdonavicius V., Nikulin M. *Accelerated life models: modeling and statistical analysis*. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall / CRC, 2002. 334 p.
- [19] Nelson W. *Accelerated testing: Statistical models, test plans, and data analysis*. – New York: John Wiley and Sons, 2004. 601 p.
- [20] Pardo-Fernandez J.C., Van Keilegom I., Gonzalez-Manteiga W. Goodness-of-fit tests for parametric models in censored regression. *The Canadian Journal of Statistics*, 2007, vol. 35, no. 2, pp. 249-264.

Сведения об авторах.



Коробейников Сергей
Миронович д.ф.-м.н.,
профессор
Новосибирский
государственный
технический университет.
Область научных
интересов:
высоковольтная
электрофизика
E-mail:
korobeynikov@corp.nstu.ru



Чимитова Екатерина
Владимировна к.т.н.,
доцент,
Новосибирский
государственный
технический
университет. Область
научных интересов:
компьютерные
технологии анализа
данных и
исследования
статистических
закономерностей.
E-mail:
chimitova@corp.nstu.ru

Демин Виктор
Андреевич, аспирант,
Новосибирский
государственный
технический
университет. Область
научных интересов:
непараметрические
методы анализа
данных типа времени
жизни.
E-mail:
vicdemin@gmail.com



Бычков Александр
Леонидович к.т.н.
Новосибирский
государственный
технический университет.
Область научных
интересов: техника
высоких напряжений
E-mail:
al.bychkov54@gmail.com

