

## Об оценке параметров частичных разрядов

КИНШТ Н.В., ПЕТРУНЬКО Н.Н.

*Рассматриваются методологические аспекты исследования частичных разрядов (ЧР) в высоковольтном оборудовании и проблема связи кажущегося заряда с истинным. Отправной точкой явилась статья [1]. Аналитически оценено значение максимального заряда воздушного пузырька в масле, иницированное внешним электрическим полем. Показано, что оценки кажущегося заряда существенно отличаются от теоретически возможного истинного заряда. Проанализированы эквивалентные схемы калибровки и измерения кажущихся зарядов. Показано, что связь между кажущимся и истинным зарядами не более чем эвристическая. Сделано заключение о том, что с научной точки зрения модель ЧР на основе понятия «кажущегося заряда» себя исчерпала.*

**Ключевые слова:** частичные разряды, кажущийся заряд, истинный заряд, эквивалентная схема, оценка

Техническое состояние элементов силового высоковольтного трансформаторного электрооборудования в наибольшей степени определяется состоянием его изоляции, связанным с наличием, интенсивностью и распределением частичных электрических разрядов (ЧР), возникающих как при нормальной работе, так и при деградации изоляции и других конструктивных элементов. Одним из главных нормативных параметров считается «кажущийся заряд», это понятие и способы его измерения зафиксированы национальными и международными стандартами [2]. Несмотря на то, что исследования ЧР ведутся более 80 лет, с развитием методов и приборов контроля и мониторинга в последнее время наблюдается повышенный интерес к этой проблеме, поскольку ЧР являются первичным электрофизическим процессом, определяющим техническое состояние изоляции. В этой связи прокомментируем некоторые моменты публикаций по этому вопросу [1, 3, 4], используя также цитированные там результаты зарубежных исследований.

В [1] ставилась задача установления связи кажущегося и истинного зарядов ЧР; численно исследовалась задача о ЧР в пузырьке (газовом), находящемся в диэлектрике (масле) под воздействием электрического поля на центральной силовой линии между двух плоских круглых электродов. При расстоянии между электродами 10 мм варьировались радиус электродов (в пределах 10÷50 мм) и радиус пузырька (1–4 мм в одной серии расчетов и 0,1÷0,8 мм – в другой). При численном моделировании электрического поля учитывался краевой эффект конденсатора (пары электродов) на расстоянии до 1 м.

В работе имеются моменты, вызывающие сомнения по поводу ряда некоторых численных результатов расчета, по крайней мере, определенной

части табл. 1. Так, при монотонном изменении размера пузырька 1, 2, 3, 4 мм расчетная емкость системы  $\Delta C$  и расчетный заряд  $Q$  изменяются не монотонно, что, по крайней мере, странно. Проведем обсуждение методологических аспектов исследования ЧР и проблемы связи кажущегося заряда с истинным.

**Об искажении электрического поля сферическим диэлектрическим включением.** Для дальнейшего анализа представляется полезным использовать известные аналитические соотношения. Предположим, что при отсутствии пузырька электрическое поле в некоторой (предположительной) окрестности его месторасположения можно считать однородным, и при возникновении сферического включения это поле деформируется. Обратимся к [5]. Напряженность электрического поля вне сферы:

$$\left. \begin{aligned} E_R &= E_0 \left( 1 + 2 \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_e}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_e} \frac{a^3}{R^3} \right) \cos \theta; \\ E_\theta &= -E_0 \left( 1 - \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_e}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_e} \frac{a^3}{R^3} \right) \sin \theta \end{aligned} \right\}, \quad R \geq a, \quad (1)$$

а внутри сферы поле однородное:

$$E_i = E_z = E_0 \frac{3\varepsilon_e}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_e}, \quad R \leq a \quad (2)$$

и нормальная (радиальная) составляющая электрической напряженности на внутренней поверхности сферы имеет вид

$$E_{Ri} = E_z \cos \theta = E_0 \frac{3\varepsilon_e}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_e} \cos \theta.$$

Здесь  $R, \theta$  – сферические координаты;  $a$  – радиус пузырька;  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_e$  – диэлектрические проницаемости пузырька и внешней среды соответственно (в данном случае газового пузырька в трансформаторном масле можно считать  $\varepsilon_i = \varepsilon_0, \varepsilon_e = 2,2\varepsilon_0$  [6]).

Обратим внимание на то, что искажение внешнего однородного поля определяется дополнительными членами в скобках выражения (1), т.е.

$$\Delta = \frac{|\varepsilon_i - \varepsilon_e| a^3}{|\varepsilon_i + 2\varepsilon_e| R^3} = \frac{1,2 a^3}{5,4 R^3} = 0,22(2) \frac{a^3}{R^3}.$$

Таким образом, уже при  $R = 2,815a$  радиальная составляющая напряженности искажается по отношению к внешнему однородному полю менее чем на 2%, а тангенциальная — менее чем на 1%. Иначе говоря, на расстояниях от поверхности пузырька более его диаметра  $d = 2a$  (т.е.  $R > 3a$ ) искажения электрического поля практически уже не наблюдаются.

Итак, если пузырек располагается примерно в области однородного поля ( $E_0 = \text{const}$ , размером примерно несколько его диаметров), нам совершенно нет необходимости смотреть на дальнюю зону поля.

Возвратившись к результатам моделирования электрического поля [2], отметим, что при увеличении диаметра пластин плоского конденсатора в диапазоне от 20 до 50 мм заметного изменения электрофизических процессов в пузырьке, по крайней мере при диаметре пузырька до 1–2 мм, ожидать не приходится; здесь лишь увеличивается емкость электродов конденсатора. Также не представляет интереса перемещение пузырька в пространстве внутри области  $E_0 = \text{const}$ .

**О заряде сферического диэлектрического включения.** Для оценки заряда, который может участвовать в единичном акте ЧР, обратимся к рис. 1.

Плотность заряда, индуцированного на внутренней поверхности раздела, определяется нормальной составляющей вектора электрической индукции:

$$\sigma_i = D_{ni}|_{R=a} = \varepsilon_i E_{Ri} = \varepsilon_0 E_i \cos \theta. \quad (3)$$

Примем в качестве элемента поверхности  $ds$  элементарный шаровой пояс радиусом  $r = a \sin \theta$  (длиной  $2\pi r$  и шириной  $ad\theta$ ):

$$ds = 2\pi a^2 \sin \theta d\theta.$$

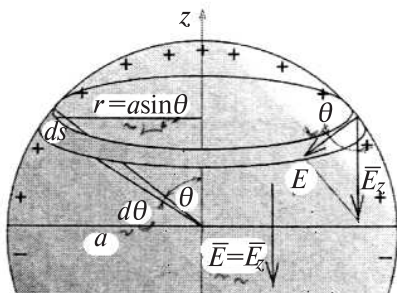


Рис. 1. К расчету заряда, индуцированного однородным полем внутри сферического диэлектрического включения

Накопленный на внутренней сферической поверхности заряд имеет поверхностную плотность (3), так что элементарный заряд имеет вид

$$dQ = \sigma ds = \varepsilon_i E_i 2\pi a^2 \sin \theta \cos \theta d\theta,$$

и, проинтегрировав, получим индуцированный заряд верхней полусферы, который может участвовать в акте единичного ЧР:

$$Q = \varepsilon_i E_i 2\pi a^2 \int_0^{\pi/2} \sin \theta \cos \theta d\theta = \frac{\pi}{4} \varepsilon_i E_i d^2 \int_0^{\pi/2} \sin 2\theta d\theta = \frac{\pi}{4} \varepsilon_i E_i d^2. \quad (4)$$

Так, для примера, взяв воздушный пузырек диаметром  $d = 2a = 1$  мм при пробивной напряженности  $E_{пр} = 3$  МВ/м [6], получаем оценку накопленного истинного заряда:

$$E_{пр} = 3 \cdot 10^6 \text{ В/м}; \quad \varepsilon_i = \varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$$

$$Q|_{d=1} = \frac{\pi}{4} 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot (10^{-3})^2 = 20,88 \text{ пКл.}$$

В результате получаем полезную в нашем контексте константу — оценку для истинного заряда пузырька диаметром 1 мм. Специально отметим, что это максимальный заряд, так как для оценки использовалась пробивная напряженность электрического поля. Обратим также внимание на то, что заряд газового пузырька пропорционален квадрату его диаметра и не зависит от диэлектрической проницаемости окружающего диэлектрика.

**Сравнение полученных результатов с опубликованными.** В [1] сказано: «...нетрудно определить, что нормируемым значениям кажущегося заряда в 300 пКл соответствует ЧР в пузырьках с радиусом 1 мм (диаметром 2 мм)». По формуле (4) истинному заряду в 300 пКл соответствует пузырек диаметром 3,9 мм. Пересчитаем эту величину на диаметр 1 мм:

$$q_{Obc}|_{d=1} = 75 \text{ пКл.} \quad (5)$$

Обратимся к другим источникам, к которым отсылает нас [3]. По экспериментальным данным (исследование V. Swinka, F.R. Robert), пузырек диаметром 1 мм имеет кажущийся заряд

$$q_{Sw}|_{d=1} = 130 \text{ пКл.} \quad (6)$$

Специально отмечается, что «...При изменении диаметра (пузырька) в 3 раза, кажущийся заряд возрос в 13 раз!...», и в [3] делается попытка эмпирического обоснования такого роста на основе некоторых физических соображений. Повторим приведенный в [3] график рис. 2.

Однако из нашей теории следует, что истинный заряд должен измениться в 9 раз; попробуем добавить расчетную квадратичную параболу, базирующуюся

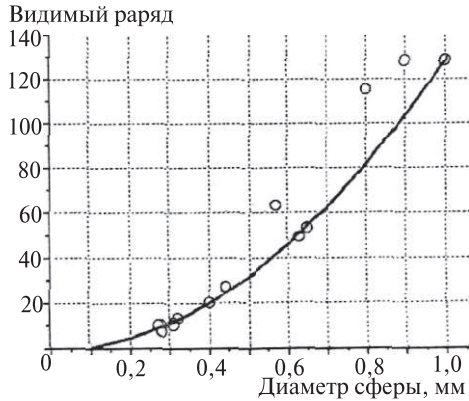


Рис. 2. Данные исследования V. Swinka, F.R. Robert (о о о) и квадратичная аппроксимация  $q = 130d^2$

щуюся на последней экспериментальной точке ( $d=1$  мм). Квадратичная функция  $q=130d^2$  практически точно проходит по 10 из 13 экспериментальных точек. Создается впечатление, что и эти экспериментальные данные согласовываются с квадратичным ростом заряда в функции диаметра.

Далее, там же [1, 3]: по данным исследования G. Niasar, H. Edin, X. Wang and R. Clemence, при  $d \approx 2,1$  мм значение кажущегося заряда  $q \approx 200 \div 2000$  пКл, т.е. если отнести данные к  $d \approx 1$  мм, получим:

$$q_{Nia}|_{d=1} = (200 \div 2000) / 2,1^2 \approx 45,3 \div 453 \text{ пКл.} \quad (7)$$

Отметим, что во всех приведенных в таблицах [1] данных получено отношение  $q/Q < 1$ , иными словами, в [1] утверждается, что истинный заряд должен быть еще больше кажущегося. С другой стороны, наоборот, все приведенные нормативные или экспериментальные данные по кажущимся зарядам,  $q_{Ovc}$ ,  $q_{Sw}$ ,  $q_{Nia}$ , отнесенные к  $d=1$  мм, превышают значение  $Q|_{d=1}$ . Короче говоря, все упомянутые данные радикально отличны от простого теоретического результата (4). Добавим, что в соответствии с [7] неопределенности в оценке кажущегося заряда вообще могут достигать нескольких порядков.

**Калибровка и измерения кажущихся зарядов. Эквивалентные схемы и параметры.** Проанализируем реальную ситуацию, когда в трансформаторе реально существует несколько ( $n$ ) потенциальных источников ЧР и имеется принципиальная возможность регистрировать их сигналы с помощью нескольких ( $m$ ) регистраторов  $P_1, \dots, P_m$  (рис. 3), и, по возможности, ее формализуем, применив стандартные методы теории электрических цепей [6].

В качестве естественной электрической схемы замещения используем модель многополюсника,

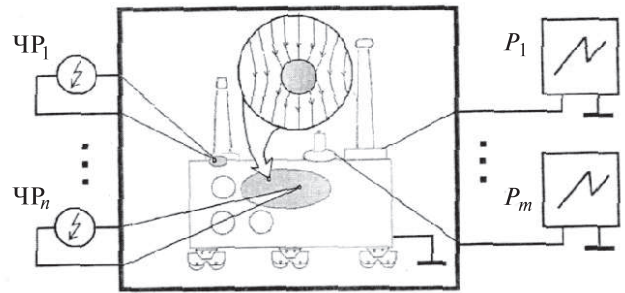


Рис. 3. Схематическое представление процесса диагностики ЧР в трансформаторе

которую, например, можно описать в следующем виде:

$$U^P = Z_{nm} J^{CP}, \quad Z_{nm} = [z_{ik}], \quad i=1, \dots, n; \quad k=1, \dots, m, \quad (8)$$

где  $U^P = \text{col}[U_1^P, \dots, U_m^P]$  – матрица-столбец напряжений (или их приращений), ассоциированных с ЧР, которые возникают в точках их регистрации;  $J^{CP} = \text{col}[I_1^{CP}, \dots, I_n^{CP}]$  – матрица-столбец токов ЧР (для простоты считаем, что токи ЧР замыкаются на землю);  $Z_{nm}$  –  $n \times m$  прямоугольная матрица передаточных (взаимных) сопротивлений между потенциальными дефектами – местами возникновения ЧР и точками регистрации (значения элементов этой матрицы не известны, они зависят от формы электрического поля и взаимного геометрического расположения мест возникновения ЧР и точек регистрации).

**Замечание 1.** Для компактности записи применены операторные обозначения, которые изображают и токи, и напряжения, в реальности являющиеся произвольными функциями времени.

**Замечание 2.** Переход от токов как функций времени к зарядам элементарен, и специально на этом не останавливаемся.

Процесс калибровки описывается матричным уравнением:

$$U^K = Z^K J^K, \quad Z^K = [z_{kj}], \quad k=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n. \quad (9)$$

Здесь  $J^K$  – матрица-столбец токов калибровки;  $U^K$  – матрица-столбец напряжений, возникающих в процессе калибровки и регистрируемых в тех же точках, что и  $U^P$ ;  $Z^K$  – квадратная калибровочная матрица.

Следует констатировать, что матрицы  $Z^{CP}$  и  $Z^K$  не только в принципе могут иметь различные размеры, но и в общем случае ни один из членов матрицы  $Z^{CP}$  не имеет эквивалента среди членов матрицы  $Z^K$ . Иначе говоря, оценка кажущегося заряда (основанного на элементах калибровочной матри-



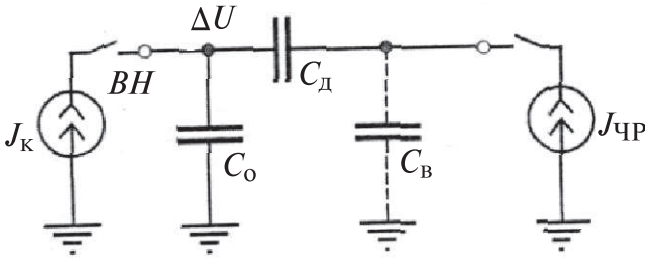


Рис. 4. Простейшая эквивалентная схема ЧР и калибровки

цы  $Z^K$ ) формально не имеет ничего общего с оценкой истинного заряда (который можно было бы получить, зная значения матрицы  $Z^{ЧР}$ ). С этой точки зрения, не формулируя каких-либо достаточно сильных априорных ограничений, ставить вопрос о соотношении кажущегося и истинного зарядов вообще некорректно.

Возникает вопрос: почему же термин «кажущийся» заряд и методики, на нем основанные, получили такое широкое (всемирное!) распространение. Получим краткие пояснения с помощью простейшей эквивалентной схемы рис. 4.

Как только начинается ЧР, разряд заряженного пузырька можно моделировать источником тока  $J_{ЧР}$ , и в операторной форме записи имеем выражение для  $\Delta U$ :

$$\Delta U_{ЧР} = \frac{1}{pC_0} J_{ЧР}.$$

Точно так же при разомкнутом ключе ЧР, подавая на схему калибровочный ток  $J_K$  и учитывая, что значение емкости  $C_0$  существенно больше емкости цепочки ( $C_d, C_B$ ), получим напряжение калибровки:

$$\Delta U_K = \frac{1}{pC_0} J_K.$$

Таким образом, в простейшем случае при изменении в рабочем режиме скачка напряжения  $\Delta U$ , если  $\Delta U_K = \Delta U_{ЧР}$ , считают, что измерен кажущийся заряд  $q$ , численно равный истинному заряду  $Q$ :

$$\Delta U_K = \Delta U_{ЧР}, \text{ т.е. } J_K = J_{ЧР} \text{ или } q_{\text{каж}} = Q. \quad (10)$$

Отметим, что оценку истинного заряда можно было бы уточнить, зная параметры  $C_B$  и  $C_d$ . К сожалению, такие объективные данные обычно отсутствуют.

Сделаем шаг к усложнению задачи. Представим себе возможность существования хотя бы двух независимых ЧР (что с методической точки зрения эквивалентно возможности существования единственного ЧР в одной из двух различных точек активного пространства). Для повышения информативности процесса диагностики допустим регист-

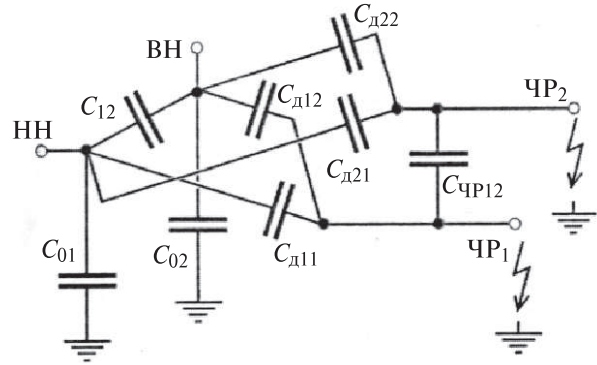


Рис. 5. Эквивалентная схема для двух независимых ЧР и двух точек регистрации

рацию ЧР в двух точках (НН и ВН), как показано на рис. 5.

В этом случае уже для формализации процессов ЧР и калибровки пришлось бы использовать соотношения (8) и (9). Обе матрицы параметров  $Z$  и  $Z^K$  имеют размер  $2 \times 2$ , однако они отражают различные реальности: матрица  $Z^K$  — это матрица входных и передаточных сопротивлений пары зажимов НН и ВН, а матрица  $Z$  — это матрица передаточных сопротивлений между парами зажимов (НН, ВН) и (ЧР1, ЧР2) соответственно.

Уместно вспомнить, что исследователи вводят в обращение ряд схем замещения различной сложности (например, от перечисленных в [3] до использования трехмерной  $RC$ -сетки для формализации процесса частичного разряда в [4, 7, 8]). Все эти схемы замещения появляются в связи с невозможностью корректно применять простейшую схему рис. 4, т.е. соответственно с расплывчатостью понятия «кажущегося» заряда, и служат единственной цели — моделировать сложность реального электрического поля с целью перейти от параметров электрического поля к параметрам некоторой электрической цепи. Ясно, что эквивалентная схема на рис. 5 уже для двух ЧР и двух точек регистрации достаточно громоздка, вместе с тем она абсолютно корректна, традиционно отражая множество частичных емкостей системы заряженных тел [5].

Следует отметить, что эффективного инструмента в виде достоверных и простых эквивалентных схем либо неких интегральных параметров для диагностики истинных зарядов ЧР в распоряжении исследователей не имеется.

**Заключение.** 1. Модель кажущегося заряда, сформулированная более 80 лет назад, создает иллюзию технической простоты и корректности, неявным образом опирается на предположение об однородности электрического поля; в эту модель в принципе заложен целый ряд факторов неопределенности, обесценивающих ее и достигающих нескольких порядков [7]. Материалы, представлен-

ные в [1, 3] на примере «единичного» пузырька, хорошо иллюстрируют и разброс, и заведомое превышение экспериментальных и нормативных данных кажущегося заряда по сравнению с теоретически возможными. По-видимому, с научной точки зрения модель ЧР на основе понятия «кажущегося заряда» себя исчерпала.

2. Кажущийся заряд считается одним из главных нормативных параметров, он зафиксирован национальными и международными стандартами, с ним связывают другие величины, определяющие качество изоляции с точки зрения явления частичных разрядов. В [2] имеется серьезная терминологическая ловушка. Из примечания к понятию «Кажущийся заряд» («Кажущийся заряд не равен количественно значению заряда, локализованного в цепи разряда, значение которого невозможно измерить непосредственно») можно на интуитивном уровне догадаться, что «Истинный заряд» — это «...значение заряда, локализованного в цепи разряда». Понятие «Истинный заряд» ГОСТ не регламентирует и не использует. Этот ГОСТ, несмотря на свое наименование «...Измерения частичных разрядов», фактически посвящен измерению кажущихся зарядов и их функций. По-видимому, назрела необходимость внести в ГОСТ, по крайней мере, методические изменения.

3. При исследовании ЧР активно используются модели, констатирующие факт наличия (единственного) ЧР для локализации места пробоя и организации ремонта, а значение ЧР лишь участвует в констатации самого факта пробоя. Такие модели можно назвать одномерными, в качестве координаты фигурирует расстояние по предполагаемому пути прохождения сигнала от ЧР (простейший пример одномерной модели — кабельная линия). В трансформаторном оборудовании может подразумеваться (или быть организовано) несколько путей прохождения сигнала ЧР. Само численное значение кажущегося заряда в одномерной модели оказывается менее существенным, чем сам факт его наличия.

4. Связь между кажущимся и истинным зарядами реально существует, но она не более чем эвристическая как связь между различными параметрами, имеющими одну и ту же физическую размерность, являющимися элементами некоторой общей матрицы, но стоящими на разных местах этой матрицы и отражающих различные реальности.

5. Явление ЧР в целом является многопараметрическим, существенно зависит от таких параметров, как картина электрического поля в активной зоне трансформатора, месторасположение дефекта, электрофизические свойства дефекта, и свойств самой изоляции [9]. В настоящее время ощущается

острая необходимость в интенсификации как теоретических, так и прикладных исследований в области ЧР для создания современной теории и реализации эффективных методик диагностики ЧР. Безусловно присоединяемся к тезису А.Г. Овсянникова «...Надо использовать большее число характеристик, чтобы наработать достоверные образы ЧР».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овсянников А.Г., Коробейников С.М., Вагин Д.В. Связь кажущегося и истинного зарядов частичных разрядов. — Электричество, 2014, № 8, с. 37 — 43.
2. ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000) Национальный стандарт РФ. Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. — М.: Росстандарт, 2012. Дата введения 2014-01-01.
3. Овсянников А.Г. Недомолвки в теории и недостатки в практике регистрации частичных разрядов. Доклад на 12-й ежегодной конференции «Методы и средства контроля изоляции высоковольтного оборудования». 26–27 февраля 2015 г., Пермь: <http://dimrus.ru/conf2015.html>
4. Овсянников А.Г., Коробейников С.М., Вагин Д.В. Полевая модель частичных разрядов. — Семинар Сибири и Урала, 15–16 апреля, Новосибирск: [www.sibdiag.ru/2015/presentation/2.8.pdf](http://www.sibdiag.ru/2015/presentation/2.8.pdf)
5. Электротехнический справочник. Т.1 Общие вопросы. Электротехнические материалы/Под общ. ред. В.Г. Герасимова. 8-е изд. — М.: Изд. МЭИ, 1995, 440 с.
6. Нетушил А.В., Поливанов К.М. Основы электротехники. Ч.3. — М.;-Л.: Госэнергоиздат, 1956, 192 с.
7. Кац М.А., Киншт Н.В. Факторы неопределенности при анализе частичных разрядов в высоковольтном оборудовании. — Сб. докл. VI Международного симпозиума «Электротехника 2010». Моск. обл., 22–25 окт. 2001, с. 216–218.
8. Кац М.А., Киншт Н.В. К анализу переходного процесса в несовершенном диэлектрике с нелинейной неоднородностью. — Электричество, 2006, № 11, с. 65–68.
9. Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. Закономерности формирования интегральной картины частичных разрядов как множества квазидетерминированных процессов. — Электро, 2015, № 4, с. 14–20.

[13.01.16]

*А в т о р ы : Киншт Николай Владимирович окончил Новосибирский электротехнический институт (НЭТИ) в 1960 г. В 1986 г. в МЭИ защитил докторскую диссертацию «Диагностика электрических цепей. Теория и методы». Главный научный сотрудник Института автоматики и процессов управления (ИАПУ) Дальневосточного отделения (ДВО) РАН, профессор Дальневосточного федерального университета.*

*Петрунько Наталья Николаевна окончила физический факультет Дальневосточного государственного университета в 1985 г. В 2002 г. в ИАПУ ДВО РАН защитила кандидатскую диссертацию «Анализ процессов образования и распространения электромагнитных излучений высоковольтного электроэнергетического оборудования». Старший научный сотрудник ИАПУ ДВО РАН.*

## Notes to the Estimation of the Parameters of Partial Discharges

**KINSHT Nikolai Vladimirovich** (*Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IACP, FEB RAS), Vladivostok, Russia*) – Chief scientific researcher, Dr.Sci. (Eng.)

**PETRUN'KO Natal'ya Nikolayevna** (*IACP, FEB RAS, Vladivostok, Russia*) – Senior scientific researcher, Cand. Sci. (Eng.)

*The subject of discussion is the methodological aspects of the study of partial discharge (PD) in the high-voltage equipment and the problem of relationships with the true apparent charge. The starting point of this investigation has been an article A.G. Ovsyannikova et al. (Electricity, 2014, №8). Analytically estimated value of the maximum charge of air bubbles in the oil, by an external electric field is given. It is shown that the estimates of apparent charge substantially different from the true theoretically possible charges. Equivalent circuit calibration and measurement of apparent charge are analyzed. It is shown that the relationship between the apparent and true charges no more than a heuristic. It was concluded that from a scientific point of view, the model of the PD on the basis of the concept of «apparent charge» has exhausted itself.*

Key words: *partial discharges, apparent charge, true charge, equivalent circuit, estimation*

### REFERENCES

1. Ovsyannikov A.G., Korobeynikov S.M., Vagin D.V. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2014, No. 8, pp. 37 – 43.
2. GOST R 55191-2012 (IEC 60270:2000). *Natsional'nyi standart RF. Metody ispytaniy vysokim napryazheniyem. Izmereniya chastichnykh razryadov*. State standard «Test methods using high voltage. Measurement of partial discharges» Moscow, Rosstandart, 2012. Data vvedeniya 2014-01-01.
3. Ovsyannikov A.G. Report on the 12th annual conf. «Methods and means of monitoring the insulation of high voltage equipment», Perm', 26–27 February 2015: <http://dimrus.ru/conf2015.html>
4. Ovsyannikov A.G., Korobeynikov S.M., Vagin D.V. Field model of PD. – Seminar Siberia and the Urals. April 15–16, Novosibirsk: [www.sibdiag.ru/2015/presentation/2.8.pdf](http://www.sibdiag.ru/2015/presentation/2.8.pdf)
5. *Electrical Engineering Handbook*, vol. 1. General issues. Electrotechnical materials/Edit. by V.G. Gerasimov. 8th ed. Moscow, Publ. House. MEI, 1995, 440 p.
6. Netushil A.V., Polivanov K.M. *Fundamentals of Electrical Engineering. Part 3*. Moscow, Publ. Gosenergoizdat, 1956, 192 p.
7. Katz M.A., Kinsht N.V. Uncertainties in the analysis of partial discharges in high-voltage equipment. – Coll. rep. VI International Symposium «Electronics 2010». Moscow region, 22–25 October, 2001, p. 216–218.
8. Katz M.A., Kinsht N.V. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2006, No. 11, pp. 65–68.
9. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. *ELEKTRO – in Russ. (ELECTRO)*, 2015, No. 4, pp. 14–20.

\* \* \*

### ЧИТАТЕЛЯМ, ПОДПИСЧИКАМ, РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

Полные тексты статей в формате .pdf размещены на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки (РУНЭБ): [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Для желающих представить в журнал статью сообщаем, что правила подготовки рукописей публикуются в №№ 6 и 12 каждого года и на сайте журнала.

Реклама в черно-белом изображении может быть размещена на страницах журнала и на его обложке, а также в виде вкладки.

Возможно размещение рекламы в цветном изображении.

Стоимость оплаты рекламных статей – по договоренности.

При повторении той же рекламы в следующем номере – скидка 10%. При публикации той же рекламы в третьем и последующих номерах – скидка 20%. Последний срок представления рекламного материала – за 1,5 месяца до выхода номера из печати (обычно номер выходит в середине каждого месяца).

Адрес для переписки: E-mail: [etr1880@mail.ru](mailto:etr1880@mail.ru)

тел./факс: (495)362-7485