

Л.Б. ЖОРНЯК, О.І. АФАНАСЬЄВ, В.О. ПОЛЯКОВ, Ж.О. КУЛІК, Р.В. КОТ, І.О. КРАВЕЦЬ

ОСОБЛИВОСТІ ОБРАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ПРИ ОЦІНЦІ НАДІЙНОСТІ ЗОВНІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ГАЗОНАПОВНЕНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

В статті авторами запропонований метод оцінки параметрів теоретичних розподілів для розрахунку показників експлуатаційної надійності твердої ізолюючої структури високовольтних апаратів, що являє собою підтримуючу ізолюючу кришку для вимірювальних високовольтних трансформаторів, заповнених газом в якості ізолюючої рідини. Ця методика дозволяє оцінити параметри нового закону розподілу, який обирається за умови, що він не суперечить існуючим законом розподілу з його відомими параметрами. Розроблена методика дозволяє отримати значення показників експлуатаційної надійності високовольтного обладнання шляхом визначення параметрів теоретичних розподілів, якщо розробник має дані експериментальних досліджень або статистичну інформацію в результаті моніторингу роботи ізоляційних конструкцій з урахуванням реальних умов експлуатації саме таких високовольтних пристроїв. Це дає можливість врахувати вплив зовнішніх факторів і експлуатаційних характеристик, властивих вимірювальним трансформаторам, як струму, так і напруги. У запропонованій методиці як приклад розглядається опорний ізоляційний кожух, що знаходиться під час експлуатації в найбільш несприятливих умовах, таких як зовнішнє забруднення, зволоження, перенапруження та ін. Теоретичні висновки підтверджуються результатами розрахунків на прикладі конструкції трансформатора струму серії ТОГ-362. Більш точне визначення ефективності запропонованої методики прогнозування параметрів теоретичних законів розподілу можна досягти проведенням додаткової серії розрахунків та експериментальних випробувань конкретних ізоляційних конструкцій. Таким чином, був зроблений висновок про можливість використання отриманих результатів для оцінки показників експлуатаційної надійності як газонаповнених вимірювальних трансформаторів, так і аналогічного високовольтного обладнання.

Ключові слова: теоретичний закон розподілу, математичне очікування, дисперсія, густина розподілу, напрацювання до відмови, ізоляційна покривка, газонаповнений трансформатор струму, напруга перекриття, коефіцієнт варіації.

Л.Б. ЖОРНЯК, А.І. АФАНАСЬЄВ, В.А. ПОЛЯКОВ, Ж.О. КУЛІК, Р.В. КОТ, І.А. КРАВЕЦЬ

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ВНЕШНЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В статье авторами предложен метод оценки параметров теоретических распределений для расчёта показателей эксплуатационной надёжности твёрдой изолирующей структуры высоковольтных аппаратов, что представляет собой поддерживающую изолирующую крышку измерительных высоковольтных трансформаторов, заполненных газом в качестве изолирующей жидкости. Эта методика позволяет оценить параметры нового закона распределения, который избирается при условии, что он не противоречит существующему закону распределения с его известными параметрами. Разработанная методика позволяет получить значения показателей эксплуатационной надёжности высоковольтного оборудования путём определения параметров теоретических распределений, если разработчик данные экспериментальных исследований или статистическую информацию в результате мониторинга работы изоляционных конструкций с учётом реальных условий эксплуатации именно таких высоковольтных устройств. Это даёт возможность учесть влияние внешних факторов и эксплуатационных характеристик, присущих измерительным трансформаторам, как тока, так и напряжения. В предлагаемой методике качестве примера рассматривается опорный изоляционный кожух, находящийся при эксплуатации в наиболее неблагоприятных условиях, таких как внешнее загрязнение, увлажнение, перенапряжение и др. Теоретические выводы подтверждаются результатами расчётов на примере конструкции трансформатора тока серии ТОГ-362. Более точное определение эффективности предложенной методики прогнозирования параметров теоретических законов распределения можно достичь путём проведения дополнительной серии расчётов и экспериментальных испытаний конкретных изоляционных конструкций. Таким образом, был сделан вывод о возможности использования полученных результатов для оценки показателей эксплуатационной надёжности как газонаполненных измерительных трансформаторов, так и аналогичного высоковольтного оборудования.

Ключевые слова: теоретический закон распределения, математическое ожидание, дисперсия, плотность распределения, наработка до отказа, изоляционная покрывка, газонаполненный трансформатор тока, напряжение перекрытия, коэффициент вариации.

L.B. ZHORNIAK, A.I. AFANASIEV, V. POLIAKOV, Z.O. KULIK, R.V. KOT, I.O. KRAVETS

PECULIARITY OF THEORETICAL DISTRIBUTION LAW SELECTION BY GAS-INSULATED TRANSFORMERS EXTERNAL ISOLATION CALCULATION

In the article, the authors propose a method for estimating the parameters of theoretical distributions for calculating the indicators of operational reliability. In the article, the authors propose a method for estimating the parameters of theoretical distributions for calculating the indicators of the operational reliability of a solid insulating structure of high-voltage devices. Which is a supporting insulating cover for high voltage instrument transformers filled with gas as an insulating liquid. This technique makes it possible to estimate the parameters of a new distribution law, which is chosen on the condition that it does not contradict the existing distribution law with its known parameters. The developed technique makes it possible to obtain the values of the indicators of the operational reliability of high-voltage equipment by determining the parameters of theoretical distributions, if the developer is the data of experimental studies or statistical information as a result of monitoring the operation of insulating structures, taking into account the actual operating conditions of such high-voltage devices. This makes it possible to take into account the influence of external factors and performance characteristics inherent in instrument transformers, both current and voltage. In the proposed methodology, as an example, a supporting insulating casing is considered, which is during operation in the most unfavorable conditions, such as external pollution, humidification, overvoltage, etc. The theoretical conclusions are confirmed by the results of calculations using the example of the design of a current transformer of the TOG-362 series. A more accurate determination of the effectiveness of the proposed method for predicting the parameters of theoretical distribution laws can be achieved by performing an additional series of calculations and experimental tests of specific insulating structures. Thus, it was concluded that it is possible to use the results obtained to assess the operational reliability of both gas-filled instrument transformers and similar high-voltage equipment.

Keywords: intensity distribution, external isolator, semiconductor covering, screen, capacity.

Вступ. Відомо, що надійність ізоляційної конструкції (ІК) апаратів високої напруги, зазвичай розглядається як властивість виробу виконувати певні завдані функції. При цьому пристрій має зберігати власні експлуатаційні показники та параметри у встановлених межах впродовж завданого проміжку часу. Особливим параметром таких пристроїв також є надійність ІК, що характеризується такими показниками, як, наприклад, пробивна або розрядна напруга, робоча напруженість поля та інші. Для окремої ІК, наприклад, прохідного або опорного ізолятора, або опорної ізоляційної покришки газонаповненого вимірювального трансформатора та інших, надійність характеризується такими показниками, як напрацювання до відмови, термін служби, які, насамперед, залежать від якості матеріалу, товщі ізоляції, електричного, теплового, механічного навантаження тощо [1, 2].

Як саме перераховані чинники впливають на термін служби ізоляційної конструкції визначити майже неможливо через технічні та технологічні особливості кожного високовольтного пристрою. Але ж можна зробити приблизне оцінювання, що, в свою чергу, має тій або інший рівень ймовірності. За таких умов критерієм оцінювання надійності можуть бути такі характеристики, як ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов та густина ймовірності відмов. Всі зазначені вище характеристики надійності між собою пов'язані простими математичними співвідношеннями, які визначені для обраного теоретичного закону розподілу випадкової величини, наприклад напрацювання до відмови або напруги перекриття.

Автори робіт [1, 2], навели результати досліджень, які проводились для обладнання розподільних пристроїв високої напруги, зокрема вимірювання розрядних напруг ізоляторів, що були забруднені у природних умовах. Ці результати довели, що розкид цих напруг можна описати нормальним або усіченим нормальним законом розподілу. Але при оцінюванні кількості перекриттів лінійної ізоляції в нормальному експлуатаційному режимі авторам доводилось оперувати дуже малими ймовірностями перекриття, для яких твердження про нормальний закон розподілу розрядних напруг експериментально підтвердити дуже важко. Можливість усічення зліва графіка функції густини розподілу для теоретичних законів розподілу ймовірностей перекриття у нормальному експлуатаційному режимі дозволила використовувати як усічений нормальний, так і логарифмічно-нормальний закони розподілу для теоретичної оцінки показників надійності високовольтного обладнання [2, 3].

Мета роботи. Розробка методики прогнозування параметрів теоретичних законів розподілу задля визначення показників експлуатаційної надійності високовольтного обладнання на підставі даних експериментальних досліджень або статистичної інформації, що отримані на основі моніторингу роботи ізоляційних конструкцій в реальних умовах експлуатації, є метою цієї роботи.

Розглянемо ізоляційні конструкції газонаповнених вимірювальних трансформаторів серій ТОГ та НОГ в якості високовольтного обладнання. Автори робіт [1, 3, 13, 14] стверджують, що навіть за нормальних робочих умов ізоляційні конструкції перебувають в умовах різко неоднорідних електричних полів. Тож, опорно-ізоляційні покришки цих газонаповнених трансформаторів відчувають вплив саме цього режиму роботи. Загальний вид ізоляційної покришки трансформатора струму серії ТОГ показано на рис. 1 [11]. Для визначення його показників надійності роботи спочатку застосуємо нормальний закон розподілу, для чого необхідно мати значення таких параметрів: середньо-квадратичного відхилення σ_n та математичного очікування m_{U_n} .

У цьому випадку значення середньо-квадратичного відхилення σ_n розподілу напруг перекриття за умови застосування нормального закону розподілу можливо визначити таким чином [3]:

$$\frac{\sigma_n}{U_{\text{пер}}} = K_B = (0,03 \dots 0,06), \quad U_{\text{пер}} = E_{\text{ср.д}} \cdot l_{\text{вит}}, \quad (1)$$

де $U_{\text{пер}}$ – напруга перекриття покришки за умови максимального зволоження (знаходження під дощем);

K_B – коефіцієнт варіації, найбільші значення якого відповідають ізоляції з підвищеним забрудненням зовнішній поверхні;

$E_{\text{ср.д}}$ – середня напруженість поля уздовж шляху витoku при перекритті ізолятора під дощем (в залежності від типу забруднення та категорії розміщення обладнання має значення в межах від $25 \frac{\text{kB}}{\text{м}}$ до $60 \frac{\text{kB}}{\text{м}}$ [3, 13, 14];

$l_{\text{вит}}$ – довжина шляху витoku по зовнішній поверхні ізоляційної покришки.

В якості критичного значення напруги перекриття можливо використовувати напругу виникнення поверхневих часткових розрядів U_n у вигляді появи ковзкого розряду. Її значення визначається за умовою [4, 5]

$$U_n = \frac{7,8}{C_n^{0,44}},$$

де C_n – питома поверхнева ємність $\frac{\Phi}{\text{м}^2}$, значення якої для циліндричної ізоляційної конструкції покришки (див. рис.1, б) може бути визначена формулою:

$$C_n = \frac{\epsilon_d \cdot \epsilon_0}{r_2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}},$$

де ϵ_d – відносна діелектрична проникність покришки;

ϵ_0 – постійне значення, що дорівнює $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$;

r_1, r_2 – відповідно внутрішній та зовнішній радіуси циліндричного твердого діелектрика покришки.

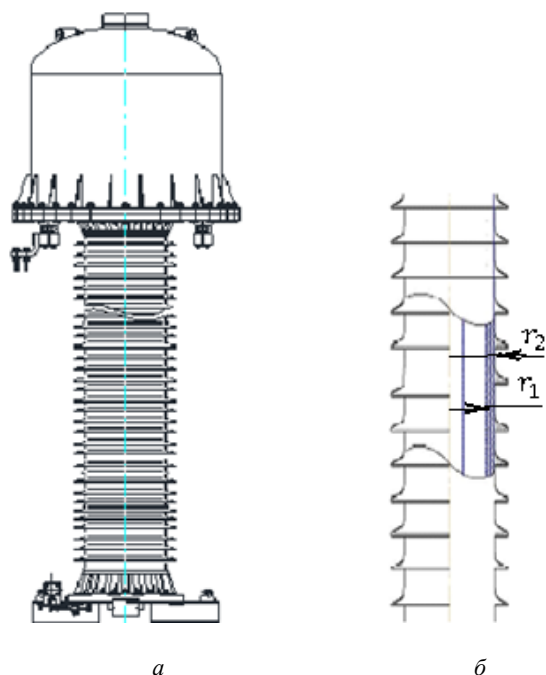


Рис.1. Загальний вид трансформатора (а) та опорно-ізоляційної покриття (б) вимірального трансформатора струму серії ТОГ-362

Для перевірки можливості застосування логарифмічно-нормального закону розподілу виникає необхідність проведення додаткових досліджень щодо визначення його параметрів задля з'ясування відповідності його нормальному розподілу з означеними вище параметрами. Аналіз теоретичних законів розподілу, що досліджуються, зручно проводити на основі порівняння основних характеристик надійності [6-8], а саме такими, як густина розподілу відмов (напруг перекриття) $f(U)$ та ймовірність безвідмовної роботи $P(U)$, значення яких для логарифмічно-нормального закону розподілу можливо оцінити за такими умовами [7, 8]:

$$f_l(U) = \frac{1}{S \cdot U \sqrt{2\pi}} \exp \left[-0,5 \left(\frac{\ln U - m_l}{S} \right)^2 \right], \quad (2)$$

$$P_l(U) = 0,5 - \Phi \left(\frac{\ln U - m_l}{S} \right), \quad (3)$$

де m_l, S – параметри логарифмічно-нормального закону розподілу.

Для нормального закону розподілу головні характеристики надійності визначаються за умовами:

$$f_n(U) = \frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}} \exp \left[-0,5 \left(\frac{U - m_U}{\sigma_U} \right)^2 \right], \quad (4)$$

$$P_n(U) = 0,5 - \Phi \left(\frac{U - m_U}{\sigma_U} \right), \quad (5)$$

де m_U, σ_U – параметри нормального закону розподілу; Φ – нормована функція Лапласа.

Оцінку параметрів законів розподілу, що розглядаються, можливо здійснити за умовою рівнозначності двох перших моментів розподілів, тобто математичного очікування та дисперсії [9]. Параметри логарифмічно-нормального закону розподілу, який в подальшому буде відповідати нормальному розподілу з параметром σ_{U_n} , значення якого можливо оцінити за умовою (1) внаслідок

рівнозначності їх математичних очікувань та дисперсії, визначаються наступним чином. Для логарифмічно-нормального закону розподілу математичне очікування m_{U_n} та дисперсія σ_{U_n} визначаються за умови [9]:

$$\sigma_{U_n}^2 = \exp(2m + S^2) [\exp(S^2) - 1],$$

$$m_{U_n} = \exp \left(m + \frac{S^2}{2} \right). \quad (6)$$

Для нормального закону розподілу з урахуванням (1) можна записати:

$$\sigma_{U_n} = K_B \cdot U_{\text{пер}}; \quad m_{U_n} = 1,1 U_{\text{пер,д}}, \quad (7)$$

де $U_{\text{пер,д}}$ – напруга перекриття ізоляційної покриття під дощем, кВ [10].

Якщо поділити дисперсію на математичне очікування та провести необхідні перетворення, то для обох законів розподілу можливо отримати:

$$\frac{\sigma_{U_n}^2}{m_{U_n}} = \exp(S^2) - 1 = 3 \cdot 10^{-3}. \quad (8)$$

Рівняння (8) можна вирахувати побудовою графіку (рис. 2), тобто, обираючи різні значення параметру розподілу S . Таким чином розраховується та будується графік функції виду:

$$Y_1 = \exp(S^2) - 1. \quad (9)$$

Точка збігання функції Y_1 та незмінного значення $Y_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ надає можливість отримати значення параметру S логарифмічно-нормального закону розподілу, яке відповідає нормальному закону з визначеними вище параметрами. Результати цих викладень показано на рис. 2.

Другий параметр логарифмічно-нормального закону m визначається за умови рівнозначності математичних очікувань законів розподілу, що розглядаються, згідно з (6) та (7):

$$\exp \left(m + \frac{S^2}{2} \right) = U_{\text{пер}},$$

$$m = \ln U_{\text{пер}} - \frac{S^2}{2}.$$

Задля підтвердження вище наведених доводів про відповідність теоретичних законів розподілу, які розглядаються, завдяки розробленій методикі, в роботі наводяться розрахунки параметрів розподілу для опорно-ізоляційній покриття газонаповненого трансформатора струму серії ТОГ-362 (див. рис.1). Початкові дані та поточні розрахунки, які отримані за вище зазначеною методикою, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри нормального та логарифмічно-нормального законів розподілів

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$U_{\text{пер}}, \text{кВ}$	K_B	σ_{U_n}	S	m
330	398	0,06	24	$3 \cdot 10^{-3}$	5,985

Обираючи різні значення параметру S логарифмічно-нормального закону розподілу розраховується функція Y_1 згідно з (9) та будуються графіки функцій Y_1 та Y_2 , які наведені на рис. 2. Точка перетину отриманих графічних залежностей дає значення параметру S логарифмічно-нормального закону розподілу, численне значення якого приведено у табл. 1.

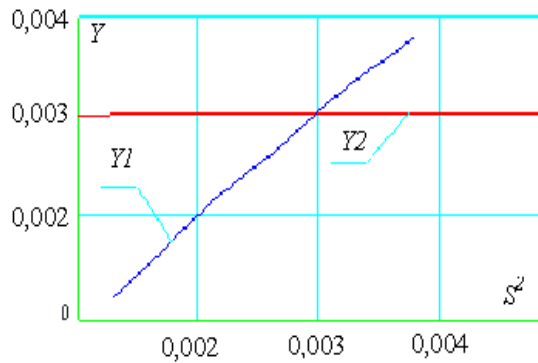


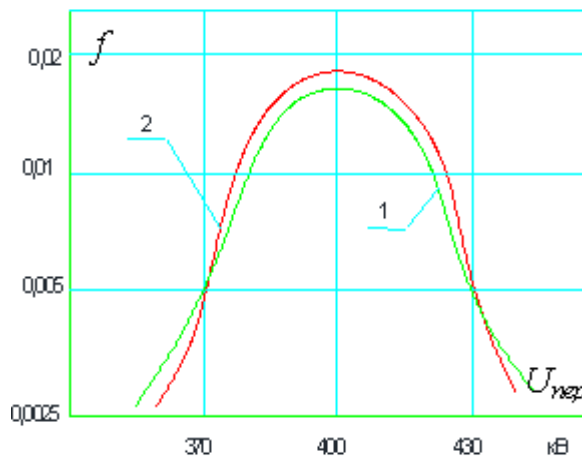
Рис. 2. Графічне визначення параметру S логарифмічно-нормального закону розподілу

Значення другого параметру m логарифмічно-нормального розподілу можливо визначити на основі умови (2) наступним чином:

$$m = \ln m_U - \frac{s^2}{2} = \ln 398 - \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2} = 5,985$$

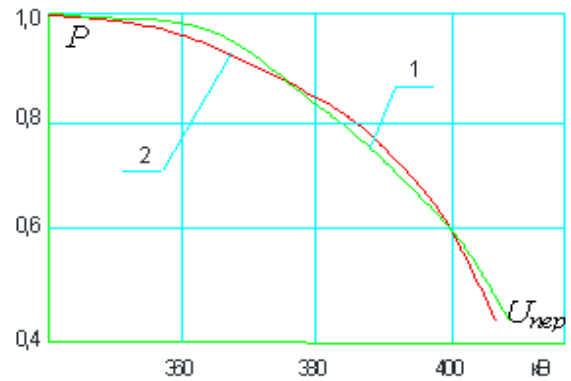
На основі отриманих значень параметрів, а також виходячи з умови адекватності законів розподілу, що розглядаються на основі формул (2)-(5) визначаються їх функції густини розподілу $f(U_{\text{пер}})$ та ймовірності безвідмовної роботи $P(U_{\text{пер}})$, які приведені на рис.3 та рис. 4.

Висновки. Аналіз отриманих графічних залежностей (див. рис. 3 та рис. 4) дозволяє зробити наступні висновки. Функції густини нормального закону розподілу та логарифмічно-нормального закону, що йому відповідає, мають близькі значення. Причому, найбільше співпадіння отриманих даних має місце на робочому відрізку, тобто в зоні номінальної напруги, що підтверджує обґрунтовану вище відповідність теоретичних законів розподілу, що розглядаються.



1 – нормальний; 2 – логарифмічно-нормальний.

Рис.3 Функції густини розподілу для теоретичних законів розподілу, що розглядаються



1 – нормальний; 2 – логарифмічно-нормальний.

Рис. 4. Функції розподілу ймовірності безвідмовної праці для теоретичних законів розподілу, що досліджуються

Функції ймовірності безвідмовної роботи, що отримані розрахунком з використанням нормального та логарифмічно-нормального законів розподілу в умовах рівнозначності їх дисперсій та математичних очікувань мають достатньо близькі значення. Знакозмінну похибку можливо пояснити як наслідок похибок при проведенні аналітичних розрахунків та припущень, що приймаються при обранні початкових даних та врахування реальних умов експлуатації ізоляційної конструкції трансформатора струму.

Розроблена методика дозволяє здійснити визначення показників експлуатаційної надійності високовольтного обладнання шляхом визначення параметрів теоретичних розподілів, як що є дані експериментальних досліджень або статистична інформація на основі моніторингу роботи ізоляційних конструкцій в реальних умовах експлуатації.

Більш точного визначення ефективності вищезазначеної методики прогнозування параметрів теоретичних законів розподілу можна досягти проведенням додаткової серії розрахунків та експериментальних випробувань конкретних ізоляційних конструкцій.

Список літератури

- 1 Мархелев С.Д. Выбор и эксплуатация изоляции в районах с загрязненной атмосферой. С.Д. Мархелев, Е.А. Соломоник. - Энергоатомиздат, 1983. – 120с.
- 2 Мархелев С.Д. Изоляция линий и подстанций в районах с загрязненной атмосферой. С.Д. Мархелев, Е.А. Соломоник. - Л.: Энергия, 1873. – 248с.
- 3 Александров, Г. Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения: учеб. / Г. Н. Александров, В. Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
- 4 Дмитревский В. С. Расчет и конструирование электрической изоляции: учеб. / В. С. Дмитревский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.
- 5 Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения/ Под ред.В.В.Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
- 6 Барлоу Р. Математическая теория надежности. Пер. с англ. Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Советское радио, 1969.
- 7 Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. /Под ред. Г.В.Дружинина. – М.:Энергия, 1976. – 448 с.
- 8 Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. Ю.Б. Гук. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
- 9 Афанасьев А.И. К вопросу выбора закона распределения отказов при расчете надежности тиристорных устройств РПН.

- //Надежность и контроль качества, 1980, №7. – с.18-22.
- 10 Ушаков, В. Я. Изоляция установок высокого напряжения / В. Я. Ушаков. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 с.
 - 11 КО «Запорожский завод высоковольтной аппаратуры» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.zva.zp.ua>.
 - 12 Жорняк, Л.Б. К вопросу об улучшении качества внутренней изоляции высоковольтных измерительных трансформаторов [Текст] / Л.Б.Жорняк, О.Г.Волкова, М.А.Макогон // Вісник Національного технічного університету ХПИ, 2017 - №34(1256) – с.19-25.
 - 13 Возможности компенсации напряженности электрического поля внешней изоляции высоковольтных газонаполненных трансформаторов тока [Текст] / Л.Б. Жорняк, А.И. Афанасьев, Р.С. Леонов, А.В. Карпук // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ «ХПИ», 2017. – №34 (1256). – С. 14–18. Библиогр.: 25 назв. – ISSN 2079-3944.
 - 14 Особливості регулювання напруженості електричного поля уздовж зовнішньої ізоляції газонаповнених трансформаторів напруги [Текст] / Л.Б. Жорняк, О.І. Афанасьєв, Щусь В.М. і др. // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х. : НТУ «ХПИ», 2019. – №2'2019 – С. 13–17. Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-3944.
 - 5 Spravochnik po elektricheskim apparatam vysokogo napryazheniya. Pod red. V.V. Afanas'yeva. – L.: Energoatomizdat, 1987. – 544 p.
 - 6 Barlou R. Matematicheskaya teoriya nadezhnosti. Per. s angl. R. Barlou, F. Proshan. – Moscow: Sovetskoye radio, 1969.
 - 7 Teoriya nadezhnosti radioelektronnykh sistem v primerakh i zadachakh. Pod red. G.V. Druzhinina. – Moscow: Energiya, 1976. – 448 p.
 - 8 Guk YU.B. Teoriya nadezhnosti v elektroenergetike. YU.B. Guk. – L.: Energoatomizdat, 1990. – 208 p.
 - 9 Afanas'yev A.I. K voprosu vybora zakona raspredeleniya otkazov pri raschete nadezhnosti tiristornykh ustroystv RPN. *Nadezhnost' i kontrol' kachestva*, 1980, no 7. pp. 18-22.
 - 10 Ushakov, V. YA. Izolyatsiya ustanovok vysokogo napryazheniya. V. YA. Ushakov. – Moscow: Energoatomizdat, 1994. – 496 p.
 - 11 КО «Запорожский завод высоковольтной аппаратуры» [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.zva.zp.ua>.
 - 12 Zhornyak L.B. K voprosu ob uluchshenii kachestva vnutrenney izolyatsii vysokovol'tnykh izmeritel'nykh transformatorov [Tekst] L.B.Zhornyak, O.G.Volkova, M.A.Makogon. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu KHPi*, 2017 – no 34 (1256) – pp.19-25.
 - 13 Vozmozhnosti kompensatsii napryazhennosti elektricheskogo polya vneshney izolyatsii vysokovol'tnykh gazonapovnenykh transformatorov toka [Tekst] L.B. Zhornyak, A.I. Afanas'yev, R.S. Leonov, A.V. Karpuk. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu "KHPi". Seriya: Problemi udoskonallyeniya yelektrichnikh mashin i aparativ.* – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. – no 34 (1256). – pp. 14–18. Библиогр.: 25 назв. – ISSN 2079-3944.
 - 14 Osoblivosti reguluyvaniya napruzhenosti yelektrichnogo polya uzdozh zovnishn'oi izolyatsii gazonapovnenikh transformatoriv naprugi [Tekst]. L.B. Zhornyak, O.I. Afanas'yev, V.M. Shchus' V.M. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu "KHPi". Seriya: Problemi udoskonallyeniya yelektrichnikh mashin i aparativ. Teoriya i praktika.* – Kharkiv : NTU «KhPI», 2019. – no 2'2019 – pp. 13–17. Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-3944.

References (transliterated)

Надійшла (received) 09.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the authors

Жорняк Людмила Борисівна (Жорняк Людмила Борисовна, Zhorniak Liudmyla Borisivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», доцент кафедри електричних та електронних апаратів; м. Запоріжжя, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1417-4859>; e-mail: zproton@zntu.edu.ua

Афанасьєв Олексій Іванович (Афанасьєв Алексей Иванович, Afanasiev Alexej Ivanovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», доцент кафедри електричних та електронних апаратів; м. Запоріжжя, Україна; e-mail: lxafanasyev@gmail.com

Поляков Валерій Олександрович (Поляков Валерий Александрович, Poliakov Valerii) – студент кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: polyacoff1997@mail.ru

Кулік Жанна Олексівна (Кулик Жанна Олександрівна, Kulyk Zhanna) – студентка кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: zhanna.kulik1992@gmail.com

Кот Роман Віталійович (Кот Роман Витальевич, Kot Roman) – студент кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна; romankot206@gmail.com

Кравець Ігор Олександрович (Кравець Игорь Александрович, Kravets Igor) – студент кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: igorcravets@gmail.com