

Л.Б. ЖОРНЯК, О.І. АФАНАСЬЄВ, В.І. ЩУСЬ, Ю.В. АЗОРСЬКА, О.В. КОЛЯДА, Д.О. ГРІНІВЕЦЬКИЙ

ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ВЗДОВЖ ЗОВНІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ГАЗОНАПОВНЕНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

Головним елементом зовнішньої ізоляції газонаповнених вимірювальних трансформаторів є опорна ізоляційна покривка, в середині якої розміщуються елементи активної частини апарату. У газонаповнених трансформаторах напруги під потенціалом землі знаходиться сталевий бак, в середині якого розміщується активна частина трансформатора, яка занурена в середовище електричного тиску. Роль електрода з високим потенціалом грає сталевий фланець з системою екранування, на якому закріплено виводи високої напруги, який приєднується до виводів первинної обмотки також у сталевому баку. Таке конструктивне рішення веде до викривлення картини розподілу електричного навантаження вздовж ізоляційної покривки в порівнянні з масляними трансформаторами напруги. В даній роботі пропонується методика оцінки розподілу напруженості поля уздовж опорної ізоляційної покривки газонаповнених трансформаторів напруги. Ця методика дозволяє оцінити ефективність примусового розподілу напруженості за допомогою конденсаторних обкладок шляхом змінення їх конструктивних параметрів. У запропонованій методиці ізоляційна покривка розглядається як головний регулюючий елемент, для якого в схемі заміщення обрані еквівалентні ємності окремих частин покривки з урахуванням ємності циліндричного конденсатора та ємності до центральної труби виводів. Таким чином, зроблено висновок щодо можливості покращення розподілу напруги та зменшення неоднорідності електричного поля шляхом регулювання структури конденсатора. Для більш точного визначення розподілу напруженості поля необхідно враховувати його викривлення у нижній частині покривки з урахуванням специфіки конструкції трансформатора напруги, а для точного визначення впливу вищезазначених методів регулювання на розподіл напруги можна досягти проведенням додаткової серії розрахунків та експериментальних випробувань.

Ключові слова: трансформатори напруги, розподіл напруженості поля, ізоляційна покривка, схема заміщення, часткова та еквівалентна ємності, конденсаторні обкладки, циліндричний конденсатор.

Л.Б. ЖОРНЯК, А.И. АФАНАСЬЕВ, В.Н. ЩУСЬ, Ю.В. АЗОРСКАЯ, А.В. КОЛЯДА, Д. А. ГРИНІВЕЦЬКИЙ

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВДОЛЬ ВНЕШНЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Главным элементом внешней изоляции газонаполненных измерительных трансформаторов является опорная изоляционная покрывка, внутри которой размещаются элементы активной части аппарата. В газонаполненных трансформаторах напряжения под потенциалом земли находится стальной бак, внутри которого размещается активная часть трансформатора, которая погружена в среду электрического давления. Роль электрода с высоким потенциалом играет стальной фланец с системой экранирования, на котором закреплена вывод высокого напряжения, который присоединяется к выводам первичной обмотки также в стальном баке. Такое конструктивное решение ведет к искажению картины распределения электрической нагрузки вдоль изоляционной покрывки по сравнению с масляными трансформаторами напряжения. В данной работе предлагается методика оценки распределения напряженности поля вдоль опорной изоляционной покрывки газонаполненных трансформаторов напряжения. Эта методика позволяет оценить эффективность принудительного распределения напряженности с помощью конденсаторных обкладок путем изменения их конструктивных параметров. В предлагаемой методике изоляционная покрывка рассматривается как главный регулирующий элемент, для которого в схемы замещения выбраны эквивалентные емкости отдельных части покрывки с учетом емкости цилиндрического конденсатора и емкости к центральной трубе выводов. Таким образом, сделан вывод о возможности улучшения распределения напряжения и уменьшения неоднородности электрического поля путем регулирования структуры конденсатора. Для более точного определения распределения напряженности поля необходимо учитывать его искривление в нижней части покрывки с учетом специфики конструкции трансформатора напряжения, а для точного определения воздействия вышеупомянутых методов регулирования на распределение напряжения можно достичь проведением дополнительной серии расчетов и экспериментальных испытаний.

Ключевые слова: трансформаторы напряжения, распределение напряженности поля, изоляционная покрывка, схема замещения, частичная и эквивалентная емкости, конденсаторные обкладки, цилиндрический конденсатор.

L.B. ZHORNIAK, A.I. AFANASIEV, V.M. SCHUS, U.V. AZORSKAYA, O.V. KOLIADA, D. O. HRYNIVETSKIY

FEATURES OF REGULATION OF ELECTRIC FIELD ALONG EXTERNAL ISOLATION OF HIGH-VOLTAGE GAS-INSULATED VOLTAGE TRANSFORMERS

The main element of the external insulation of gas-filled measuring transformers is a support insulation cover, in the middle of which are placed the elements of the active part of the apparatus. In gas-filled voltage transformers below the ground potential is a steel tank, in the middle of which is placed the active part of the transformer, which is immersed in the environment of excess pressure gas. The role of the high-potential electrode is played by a steel flange with a shielding system, which secures the high voltage terminals, which are connected to the primary winding terminals also in the steel tank. Such a design solution leads to a distortion of the pattern of distribution of electrical load along the insulation in comparison with oil transformers of voltage. This paper proposes a technique for estimating the distribution of field strength along the support insulation cover of gas-filled voltage transformers. This technique allows us to evaluate the efficiency of the forced stress distribution by means of capacitor covers by changing their design parameters. In the proposed method, the insulation tire is considered as the main control element for which equivalent capacities of individual parts of the tire are selected in the replacement schemes, taking into account the capacity of the cylindrical capacitor and the capacity to the central pipe of the terminals. Thus, it is concluded that it is possible to improve the voltage distribution and reduce the heterogeneity of the electric field by adjusting the structure of the capacitor. To more accurately determine the distribution of field strength, it is necessary to take into account its curvature at the bottom of the tire, taking into account the specifics of the design of the voltage transformer, and to accurately determine the influence of the above methods of regulation on the voltage distribution can be achieved by conducting an additional series of calculations and experimental tests.

Key words: voltage transformer, field intensity distribution, external isolator, semiconductor covering, screen, capacitor.

Вступ. Конструктивні особливості апаратів надвисокої напруги є такими, що утворюють різко неоднорідне електричне поле. В цих умовах має місце нерівномірний розподіл електричного навантаження на ізоляційну конструкцію, яка є одним з головних елементів структури апарату, від якої залежать як геометричні розміри, так і експлуатаційна надійність всієї конструкції [1, 2]. Головним елементом зовнішньої ізоляції газонаповнених вимірювальних трансформаторів є опорна ізоляційна покривка, в середині якої розміщуються елементи активної частини апарату. Наприклад, у трансформаторах напруги – це заземлені виводи вторинних обмоток, у трансформаторах струму – це струмопровідні частини з високим потенціалом. Такі особливості конструкції утворюють додаткові умови для подальшого підсилення викривлення електричного поля, що є наслідком зростання нерівномірності розподілу напруги і напруженості поля вздовж ізоляційної покривки від електрода з високим потенціалом до землі [1, 4]. У газонаповнених трансформаторах напруги під потенціалом землі знаходиться сталевий бак, в середині якого розміщується активна частина трансформатора, яка занурена в середовище елегазу з надлишковим тиском. Роль електрода з високим потенціалом грає сталевий фланець з системою екранування, на якому закріплено вивід високої напруги. Він приєднується до виводів первинної обмотки, яка теж розміщена у сталевому баку. Таке конструктивне рішення веде до викривлення картини розподілу електричного навантаження вздовж ізоляційної покривки в порівнянні з масляними трансформаторами напруги [1, 4]. Це призводить до необхідності проведення додаткових досліджень з метою внесення коректив у методику оцінки розподілу напруги та напруженості поля вздовж опорної ізоляційної конструкції трансформаторів напруги.

Мета роботи. При виготовленні сучасних газонаповнених вимірювальних трансформаторів з метою зниження енергоспоживання замість фарфорової використовують покривку у вигляді комбінованого ізолятора, який складається з ізоляційного циліндра, армованого склопластиком з наплавленими на його зовнішню поверхню силіконовими ребрами. Головним недоліком такої конструкції є знижена в зрівнянні з фарфором робоча напруженість поля, яка у процесі експлуатації не повинна перевищувати (6...7) кВ/см [1, 3]. Крім того, в умовах дії комутаційних та атмосферних перенапруг напруженість поля може тимчасово суттєво перевищувати припустиме значення з виникаючими з цього негативними наслідками [7, 8].

В цих умовах виникає необхідність удосконалення методики оцінки примусового вирівнювання розподілу напруги та напруженості поля з урахуванням особливостей конструкції високовольтного вводу трансформатора напруги. Уточнена оцінка розподілу електричного навантаження дозволяє отримати початкові дані для оцінки та подальшого підвищення експлуатаційної надійності як самої ізоляційної конструкції, так і трансформатора в цілому.

У роботах [4, 5] розглянуто особливості примусового вирівнювання розподілу напруги та напруженості електричного поля по висоті опорної ізоляційної покривки газонаповненого трансформатора струму

серії ТОГ. В цьому випадку головним засобом регулювання використовується система конденсаторних обкладок, які конструктивно утворюють так званий конденсатор. Намотування конденсаторних обкладок здійснюється на склопластиковий циліндр, розміри якого визначаються типом трансформатора. Конденсатор розміщується всередині покривки в середовищі елегазу. Структура конденсатора показана на рис. 1.

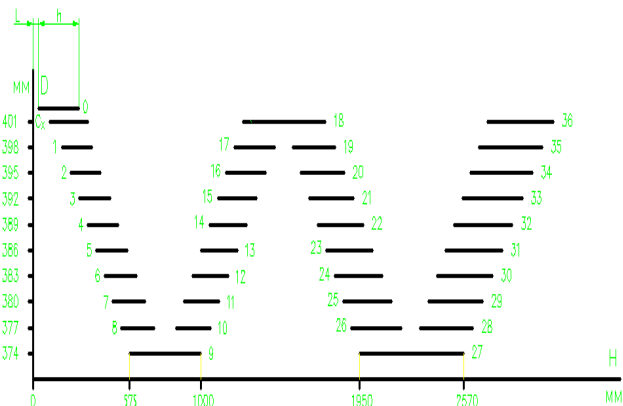
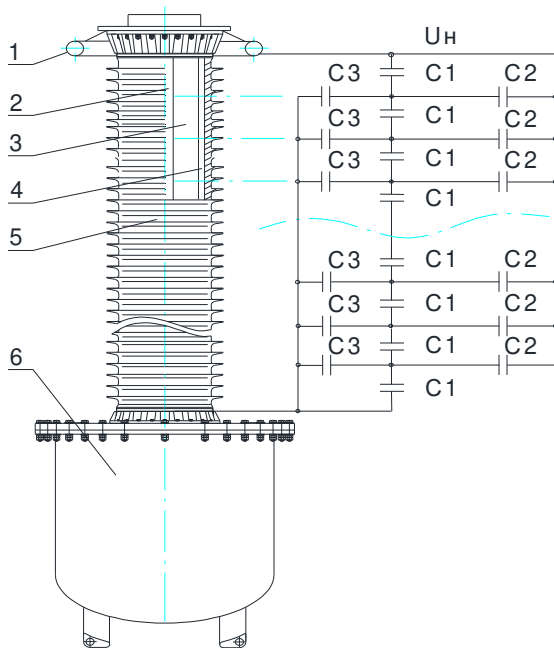


Рис. 1 – Структура накладення конденсаторних обкладок на ізоляційний циліндр за схемою зигзаг

Особливостями конструкції трансформатора напруги є те, що високий потенціал присутній не тільки на верхньому електроді, але і прикладений до виводів високої напруги первинної обмотки. Ці виводи розміщені у ізоляційній трубі і підведені до первинної обмотки, що розміщується у сталевому баку в середовищі елегазу у нижній частині конструкції, як показано на рис. 2. Крім того, для примусового вирівнювання напруженості у конструкції трансформатора напруги використовується тороїдальний екран, що розміщено біля верхнього електрода. Таким чином виникає необхідність дослідження комплексного впливу позначених вище особливостей на ефективність розподілу напруги та напруженості поля уздовж ізоляційної покривки трансформатора напруги.

Розподіл вищезазначених чинників електричного навантаження вздовж ізоляційної покривки визначається співвідношенням ємностей окремих елементів конструкції трансформатора напруги [1, 5]. Такими складовими є особиста ємність ізоляційної покривки – Сп.1, сумарна ємність на елементи конструкції, що знаходяться під напругою – Сн.2, сумарна ємність на елементи конструкції, що знаходяться під потенціалом землі – Сз.3. Для зручності аналізу розподілу електричного навантаження уздовж ізоляційної покривки її зручно уявити у вигляді системи, яка складається з окремих елементів, що розміщені послідовно по висоті ізоляційної покривки. Якщо позначити С1 – власна ємність елемента покривки; С2 – ємність елемента відносно частин (фланець, гнучкі шини), що знаходяться під напругою; С3 – ємність елемента відносно заземлених частин, тоді еквівалентна схема заміщення трансформатора напруги буде мати вигляд, що показано на рис. 2 [1, 5, 6].



1 – тороїдальний екран; 2 – центральна труба з виводами первинної обмотки; 3 – елегаз; 4 – конденсатор; 5 – ізоляційна покришка; 6 – сталевий бак з активною частиною трансформатора напруги.
 Рис. 2 – Конструкція та еквівалентна ємнісна схема заміщення ізоляційної покришки трансформатора напруги

У цьому випадку кожний умовний елемент покришки буде мати часткові ємності, які рівномірно розподілені по висоті

$$C_1 = \frac{C_{п.1}}{H}, C_2 = \frac{C_{н.2}}{H}, C_3 = \frac{C_{з.3}}{H},$$

де H – висота розміщення елемента над землею.

Аналіз структури ізоляційної конструкції трансформатора показує, що власна ємність елемента, в свою чергу, має дві складові

$$C_1 = C_{1.в} + C_{1.д},$$

де $C_{1.в}$ – власна ємність елемента; для циліндричного ізолятора визначається за умовою [5, 9]

$$C_{1.в} = \frac{2\pi\epsilon \cdot l_i}{\ln \frac{R_з}{R_в}}, \quad (1)$$

де ϵ – відносна діелектрична проникність матеріалу діелектрика;

l_i – висота елемента ізоляційної покришки;

$R_з, R_в$ – відповідно зовнішній та внутрішній радіуси циліндричної покришки;

$C_{1.д}$ – додаткова ємність, яка забезпечується використанням системи конденсаторних обкладок (конденсатор, див. рис.1), що розміщується всередині покришки. Методика розрахунку головних параметрів конденсатора приведено у [5].

Як було зазначено раніше, особливістю конструкції трансформатора напруги є те, що елементи з високою напругою розміщуються не тільки у верхній частині ізоляційної покришки, але проходять в її середині у вигляді ввідів до обмотки високої напруги. З урахуванням цього часткова ємність C_2 визначиться з умови

$$C_2 = C_{2.е} + C_{2.т},$$

де $C_{2.е}$ – часткова ємність на фланець та гнучкі шини високовольтного вводу;

$$C_{2.е} = (0,10 \dots 0,12)C_{2.т.},$$

де $C_{2.т}$ – часткова ємність на внутрішню трубу з виводами обмотки високої напруги трансформатора. Її величина визначається як еквівалентна ємність з урахуванням ємності циліндричного конденсатора на основі умови (1).

$$C_{2.т} = \frac{2\pi\epsilon \cdot l_i}{\ln \frac{r}{r_T}},$$

де l_i – висота елемента ізоляційної покришки;

ϵ – відносна діелектрична проникність ізоляційного матеріалу;

r, r_T – відповідно радіуси покришки та центральної труби.

Величина ємності C_3 визначається з умови

$$C_3 = 1,11 \cdot r_e \left(1 + \frac{r_e}{2h_e} + \frac{r_e^2}{4h_e^2} \right) 10^{-12},$$

де r – радіус ізоляційної частини покришки, см;

l – висота ізоляційної частини покришки, см;

r_e – радіус еквівалентної кулі, яка апроксимує елемент ізоляційної покришки, см

$$r_e = 0,2235(b + d),$$

де b, d – відповідно висота та діаметр елемента покришки, см.

h_e – середня висота від центру еквівалентної кулі, якою апроксимується верхній електрод до землі, см.

Середня висота від центру еквівалентної кулі визначається з умови

$$h_e = 0,5l + 250.$$

Аналіз ємнісної схеми заміщення показує, що більшість її складових ємностей достатньо стабільні та залежать, в основному від конструктивних параметрів трансформатора. Суттєвого впливу на примусове регулювання розподілу напруги та напруженості поля можливо досягнути за рахунок впливу на такі складові, як $C_{1.д}$ та параметри системи екранування.

Для спрощення подальшого аналізу впливу цих чинників в якості першого наближення приймаються такі припущення: в умовах сухої та чистої зовнішньої поверхні ізоляційної покришки активна провідність, у зрівнянні з ємкісною, безмежно мала та її можливо не враховувати; у кожному зі зрізів покришки по висоті, точки, що рівновіддалені від вертикальної вісі трансформатора напруги будуть мати однакові потенціали; за допомогою зовнішнього тороїдального екрану змінюються співвідношення часткових ємностей окремих елементів лише у верхній частині опорної ізоляційної покришки, що знаходиться у зоні впливу екрану.

Регулювання ємності $C_{1.д}$ можливо досягнути шляхом змінення конструктивних параметрів та структури циліндричного конденсатора. У загальному вигляді розрахунок регулювання поля за допомогою конденсаторних обкладок здійснюється на основі методики [5, 9]. Необхідна ємність конденсатора $C_{1.д}$ може бути визначена за умовою

$$C_{1.д0} = \frac{i_c}{2\pi f U_{роз}}, \quad (2)$$

$$U_{роз} = U_p K_з K_н,$$

де $K_з$ – коефіцієнт запасу, що дорівнює 1,1 [4];

$K_н$ – коефіцієнт, що враховує перенапруги, дорівнює 1,1;

i_c – ємнісний струм у конденсаторі, величина якого обирається 0,01 А [5];

Уроз – частина напруги, що діє на умовний елемент покришки. Її величина визначається параметрами тороїдального екрану, що використовується у конструкції трансформатора.

Величина ємності між обкладками конденсатора

$$C_x^{x-1} = \frac{2\pi \epsilon l_{x,x-1}}{\ln \frac{R_x}{R_{x+1}}}, \quad (3)$$

де R_{x+1}, R_x – відповідно радіуси поперед неї та подальшої конденсаторних обкладок;

$l_{x,x-1}$ – ширина перекриття рядом розташованих обкладок.

Падіння напруги між обкладками визначається

$$\Delta U_{x,x-1} = \frac{U_{\text{мроз}} C_{\Sigma}}{C_x^{x-1}} \quad (4)$$

Величина C_{Σ} обирається за умовою

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \sum_{0,1}^{n-1,n} \frac{1}{C_x^{x-1}}.$$

Напруженість поля між обкладками

$$E_x^{x-1} = \frac{\Delta U_{x,x-1}}{R_{x-1} \ln \frac{R_x}{R_{x-1}}} \quad (5)$$

На основі вище приведеної методики розроблено програмне забезпечення СОНД.2, яке дозволяє оцінити напруженість поля в окремих точках по висоті циліндричного конденсатора з урахуванням впливу геометричних розмірів окремих елементів його структури. Результати попередньої оцінки розподілу напруженості поля згідно (3)...(5) з урахуванням схеми заміщення (див. рис.2) та впливу конденсатора, який встановлюється в конструкції трансформатора напруги серії НОГ-362 виробництва КО Запорізький завод високовольтної апаратури [11], показані на рис.3. Початкові умови для розрахунку конденсатора: зовнішній діаметр $D_{\text{зц}}$ складає 75 мм, конструкційна довжина $l_{\text{ц}}$ складає 3000 мм, кількість конденсаторних обкладок 36, максимальна допустима напруженість поля між обкладками 1,2 кВ/мм.

Як показують дані рис.3, при відсутності засобів регулювання має місце неприпустимо велике значення напруженості у верхній частині покришки (крива 1). Використання конденсаторних обкладок для примусового вирівнювання розподілу напруженості поля дозволяє отримати суттєвий ефект по зниженню напруженості і електричного навантаження на покришку в зоні електрода з високим потенціалом (крива 2). Подальшого вирівнювання напруженості можливо досягнути за рахунок використання системи екранування верхнього електрода, в зоні якого має місце максимальне значення напруженості поля (крива 3). Крім того, використання екрану дозволяє знизити долю напруги та відповідно напруженості поля, що приходить на одиничний елемент покришки згідно з (2). Відповідно до [4] найбільш ефективною системою екранування трансформаторів класу напруги, що досліджується, є одиночний тороїдальний екран, який встановлюється в зоні електрода з високою напругою. Крім того, встановлено, що найбільший ефект можна отримати при збільшенні діаметра екрану.

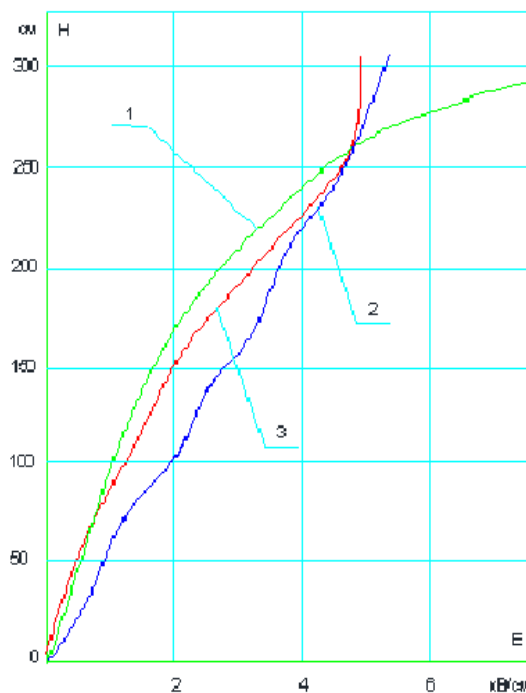


Рис. 3 – Розподіл напруги та напруженості поля з використанням конденсатора зі стандартними параметрами

Для більш точного визначення розподілу напруженості поля необхідно враховувати викривлення поля у нижній частині покришки з урахуванням вищезазначеної специфіки конструкції трансформатора напруги.

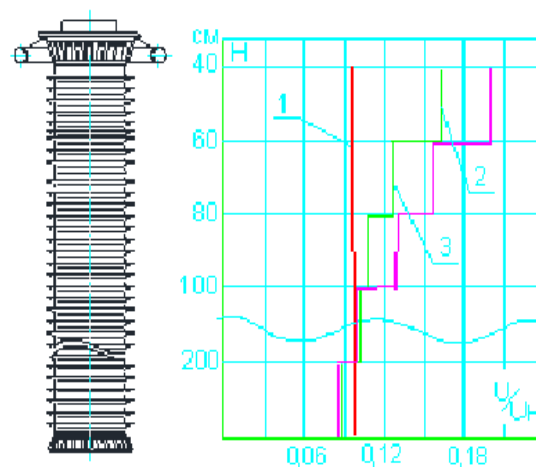


Рис. 4 – Ефективність використання тороїдального екрану з різними діаметрами

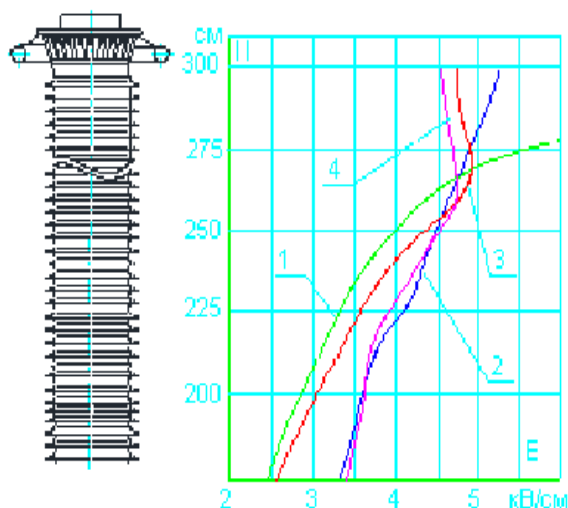
Для проведення досліджень ефективності впливу системи екранування на розподіл напруги вздовж покришки газонаповненого трансформатора напруги згідно з методикою [1, 6] розроблено програмне забезпечення Red.Volt.2. Його використання дозволяє за результатами розрахунку обрати оптимальне співвідношення параметрів системи екранування. Результати досліджень впливу діаметра екрану показані на рис 4, де пряма 1 характеризує теоретичний розподіл напруги уздовж ізоляційної покришки; крива 2 – з екраном діаметром 40 см, а 3 – з екраном діаметром 60 см. Подальшого зменшення напруги та напруженості поля мож-

ливо досягнути шляхом підвищення діаметра труби екрана та підвищення глибини встановлення екрана.

Висновки. За результатами досліджень встановлені головні конструкційні елементи трансформатора напруги, які дозволяють найбільш ефективно здійснювати примусове регулювання розподілу напруги та напруженості уздовж опорної ізоляційної покривки. Встановлено, що максимального ефекту що до зменшення нерівномірності розподілу напруги можливо досягнути змінюючи величину часткової ємності С1.д, яку формує циліндричний конденсатор.

Попередній аналіз та результати проведених розрахунків дають можливість стверджувати, що для конкретної конструкції газонаповненого трансформатора напруги додаткового ефекту в зоні максимального значення напруженості поля можливо досягнути шляхом застосування тороїдального екрана. Розроблена методика та підготовлено програмне забезпечення, що дає можливість підібрати оптимальні розміри та параметри системи екранування, а також отримати початкові дані для уточненого розрахунку конструкції конденсатора. Актуальність отриманих результатів зростає особливо в умовах проектування трансформаторів напруги на більш високі класи напруг.

Ефективність впливу вищезазначених чинників на розподіл напруженості поля уздовж верхньої частини покривки, де має місце найбільш неоднорідний розподіл напруги, показано на рис. 5. Результати розрахунків показують, що найбільший ефект можливо отримати при оптимальній структурі як конденсатора, так і системи екранування верхнього електрода, як показує крива 4. Це дозволяє знизити напруженість поля в зоні максимального навантаження до 20%.



1 – без використання конденсатора; 2 – зі стандартним конденсатором; 3 – з тороїдальним екраном; 4 – з урахуванням комплексного впливу конденсатора та тороїдального екрана.

Рис. 5 – Ефективність сумісного впливу конденсатора та тороїдального екрана на розподіл напруженості уздовж ізоляційної покривки трансформатора напруги

Більш точного визначення впливу вищезазначених методів регулювання на розподіл напруги можна досягти проведенням додаткової серії розрахунків та експериментальних випробувань.

Список літератури

1. Адоньев, Н.М. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения [Текст]: / Н.М. Адоньев, Афанасьев В.В., Бортник И.М. – Л.: Энергоатомиздат. – 1987. – 544с.
2. Александров, Г. Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения: учеб. [Текст] / Г. Н. Александров, В. Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат.– 1984. – 208 с.
3. Базуткин, В. В. Техника высоких напряжений [Текст]: / В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь. – М.: Энергоиздат. – 1986. – 446 с.
4. Дмитриевский, В. С. Расчет и конструирование электрической изоляции: учеб. [Текст]: / В. С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 392 с.
5. Жорняк, Л.Б. Возможности компенсации напряженности электричного поля внешней изоляции высоковольтных газонаполненных трансформаторов струму [Текст]: / Л.Б. Жорняк, О.И.Афанасьев, Р.С.Леонов, А.В.Карпук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. - №34(1256) – С. 14–18.
6. Жорняк, Л.Б. Эффективность засобів примусового вирівнювання напруженості електричного поля уздовж ізоляції газонаповнених трансформаторів струму [Текст]: / Л.Б. Жорняк, О.І. Афанасьєв, Снігірьов В.М., С.В. Скорик, Д.В. Чорний, С.І. Беляєв // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2018. - № 32 (1308). - С. 22-26.
7. Колечицкий, Е. С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения [Текст]: / Е. С. Колечицкий. – М. Энергоиздат. – 1983. – 168 с.
8. Кучинский, Г. С. Изоляция установок высокого напряжения: учеб. [Текст]: / Г. С. Кучинский, В. Е. Кизеветтер, Ю. С. Пинталь. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 368 с.
9. Полтев, А. И. Конструкции и расчет элегазовых аппаратов высокого напряжения: учеб. [Текст]: / А. И. Полтев. – Л.: Энергия. – 1979. – 240 с.
10. Ушаков, В. Я. Изоляция установок высокого напряжения [Текст]: / В. Я. Ушаков. – М.: Энергоатомиздат. – 1994. – 496 с.
11. КО «Запорожский завод высоковольтной аппаратуры» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.zva.zp.ua>.

References (transliterated)

1. Adoniev N.M., Afanasiev V.V., Bortnik I.M. Spravochnik po elektricheskim apparatam visokogo napriazhenija [Text]. – Leningrad: Energoatomizdat. – 1987. – 544 pp.
2. Aleksandrov G.N., Ivanov V. L. Izoliacija elektricheskih apparatov visokogo napriazhenija [Text]. – Leningrad: Energoatomizdat. – 1984. – 208 pp.
3. Bazutkin V.V., Larionov V.P., Pinal U.S. Tehnika visokih napriazhenij [Text]. – Moscow: Energoizdat. – 1986. – 446 pp.
4. Dmitrijevskij, V.S. Raschet i konstruirovanie elektricheskoj izoliacii: Ucheb. – Moscow: Energoizdat. – 1981. – 392 pp.
5. Zhorniak L.B., Afanasiev A.I., Leonov R.S., Karpuk A.V. The possibilities of compensating the electric field strength of external insulation of high-voltage gas-filled current transformers [Text]. Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI». – 2017. No 34 (1256). – P.14–18.
6. Zhorniak L.B., Afanasiev A.I., Snigirev V.M., Skoryk S.V., Chorny D.V., Bieljaiev S.I. Possibility of electric field compensation of external isolation of high-voltage gas-insulated current transformers [Text]. Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI». – 2018. No 32(1308). – P.22–26.
7. Kolechitsky E.S. Raschet elektricheskih poliej ustrojstv visokogo napriazhenija [Text]. – Moscow: Energoizdat. – 1983. – 168 p.
8. Kuchinsky G.S., Kizeveter V.E., Pinal Y. S. Insulation of high voltage installations: Proc. [Text]. Moscow: Energoatomizdat, 1987. – 368 p.
9. Poltev A.I. Designs and calculation of high-voltage SF6 apparatus: Proc. [Tekst]. – Leningrad: Energy. – 1979. – 240 p.
10. Ushakov V. Y. Insulation of high voltage installations [Tekst]. – Moscow: Energoatomizdat. – 1994. – 496 p.
11. КО "Zaporozhye plant of high-voltage equipment" [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.zva.zp.ua>.

Надійшла (received) 30.09.2019

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>; ✉mail: zporoton@zntu.edu.ua

Афанасьєв Олексій Іванович (Афанасьев Алексей Иванович, Afanasiev Alexej Ivanovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», доцент кафедри електричних та електронних апаратів; м. Запоріжжя, Україна

Щусь Віталій Миколайович (Щусь Виталий Николаевич, Schus Vitaliy Miolaievich) – головний конструктор ТОВ «ЕЛІЗ» Запорізький трансформаторний завод, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: cliz.zp.ua

Азорська Юліанна Володимирівна (Азорская Юлианна Владимировна, Azorskaya Uliana Volodymirivna) – студентка кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна

Коляда Олексій Володимирович (Коляда Алексей Владимирович, Koliada Oleksii Volodymirovich) – студент кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: kolyada96@ukr.net

Грiнiвeцький Дмитро Олександрович (Гринивецкий Дмитрий Александрович, Hrynivetskiy Dmytro Oleksandrovich) – студент кафедри електричних та електронних апаратів, м. Запоріжжя, Україна

