

*О.В. Кулаков, к.т.н., доцент,  
заступник начальника кафедри ПТБОТ НУЦЗУ*

## **ОСОБЛИВОСТІ КАТЕГОРУВАННЯ ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ КОМПЛЕКТНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗОВНІШНЬОЇ УСТАНОВКИ**

(представлено )

Показано особливості категорювання за вибухопожежною та пожежною небезпекою комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) зовнішньої установки за наявності оливнонаповненого електротехнічного обладнання. Залежно від кількості оливи в одиничному обладнанні КТП може буде віднесено або до пожежонебезпечної категорії В<sub>3</sub> або невибухонепожежонебезпечної категорії Г<sub>3</sub>. Такий висновок свідчить про різні вимоги щодо обладнання КТП зовнішньої установки автоматичними системами протипожежного захисту

**Ключові слова:** пожежа, категорія, комплектна трансформаторна підстанція

**Постановка проблеми.** Невід’ємною складовою енергосистеми країни є трансформаторні підстанції (ТП). Безперебійна їх робота необхідна для надійного забезпечення електропостачання. Пожежі на ТП призводять не тільки до матеріальних збитків внаслідок пошкодження електротехнічного обладнання, а й до масових простоїв споживачів електричної енергії, навіть паніки серед населення.

Серед найбільш резонансних пожеж ТП є пожежа на ТП «Чагино» (м. Москва, Російська Федерація) [1]. 24 травня 2005 року загорілася ТП «Чагино», через яку забезпечується електричною енергією Московський нафтопереробний завод у Капотні. Вогонь відносно швидко локалізували, однак частина устаткування була ушкоджена, і на трансформатори, що залишилися справними, навантаження збільшилося. Зранку 25 травня споживання енергії почало зростати, й вже не витримали всі трансформатори. Але, це не привело б до масштабної кризи, якби не аварія на сусідній ТП «Очаково». Там відбулося замикання на декількох лініях. З цього моменту – з 11 ранку 25 травня 2005 року – почалося масштабне каскадне відключення ТП. В результаті на декілька годин була відключена подача електроенергії в декількох районах Москви, Підмосков’я, а також Тульській, Калужській і Рязанській областях. Декілька десятків тисяч чоловік були заблоковані в потягах московського метро і ліфтах, було порушено залізничне повідомлення і паралізована робота багатьох організацій; постраждали близько 2 млн. чоловік.

Можна зробити висновок, що системи протипожежного захисту свої функції не завжди виконують належним чином. Тому удосконалення існуючих методів протипожежного захисту споруд є необхідним.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Серед великої кількості ТП найбільш часто використовуються комплектні трансформаторні підстанції (КТП). Згідно [2] (п. 4.2.5.3) КТП – електрична підстанція, складена із трансформаторів (вмонтованих у шафи/установлених просто неба), блоків електричних розподільних установок та інших елементів, які постачають у складеному або повністю підготовленому до складання вигляді.

За визначеннями [2] КТП слід віднести до зовнішньої установки (зовнішня установка – установка, розміщена поза приміщеннями (ззовні будинків), просто неба, або під дахом чи за сітчастими захисними конструкціями).

Нормативним документом [3] в Україні введено категорювання зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Визначені категорії слід використовувати для встановлення нормативних вимог щодо забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки зовнішніх установок стосовно планування і забудови, конструктивних рішень, інженерного обладнання, систем протипожежного захисту.

КТП комплектуються трансформаторами різних видів, але найбільш часто застосовними є трансформатори з оливним охолодженням (сухі або елегазові трансформатори дорожче оливних у 2-2,5 рази) [4]. Крім того, КТП може мати інше оливонаповнене електротехнічне обладнання (наприклад, вимикачі).

Трансформаторна олива з точки зору пожежної небезпеки є горючою рідиною з температурою спалаху 135-140 °С [5]. За нормальних режимів роботи трансформатору трансформаторна олива знаходиться у нагрітому стані (наприклад, у трансформаторі і системою охолодження типу М (природна циркуляція повітря та оливи) температура верхнього шару оливи може сягати 95 °С [6]).

Тому КТП за вимогами [3] можуть бути віднесені або до пожежонебезпечної категорії В<sub>3</sub> (якщо інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 4 кВт·м<sup>-2</sup>) або до невибухонебезпечної категорії Г<sub>3</sub> (якщо, інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі на відстані 30 м від зовнішньої установки не перевищує 4 кВт·м<sup>-2</sup>; в установці знаходяться речовини в гарячому стані).

Інтенсивність теплового випромінювання при горінні рідких матеріалів обчислюється за формулою [3]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi, \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}, \quad (1)$$

де  $E_f$  – середньо поверхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я,  $\text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ ;  $F_q$  – кутовий коефіцієнт опромінення;  $\psi$  – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Кутовий коефіцієнт опромінення обчислюється за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_{\hat{a}}^2 + F_{\bar{a}}^2}, \quad (2)$$

де  $F_{\hat{a}}$ ,  $F_{\bar{a}}$  – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної площадок відповідно, які визначаються за допомогою формул:

$$F_{\hat{a}} = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right\} \right],$$

$$F_{\bar{a}} = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{B-1/S}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} - \frac{A-1/S}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right],$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d}, \quad S = \frac{2 \cdot r}{d}, \quad A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S}, \quad B = \frac{S^2 + 1}{2 \cdot S},$$

$r$  – відстань від геометричного центру пожежі до об'єкта, що опромінюється, м.

Ефективний діаметр пожежі розраховується за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \text{ м},$$

де  $F$  – площа пожежі,  $\text{м}^2$ .

Висота полум'я обчислюється за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{M_V}{\rho_i \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61},$$

де  $M_V$  – питома масова швидкість вигорання матеріалу,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ ;

$\rho_i = \frac{352}{t_i + 273}$  – густина навколишнього повітря при температурі  $t_{\text{п}}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;

$g = 9,81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  – прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу обчислюється за формулою:

$$\psi = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)]. \quad (3)$$

**Постановка задачі та її розв'язання.** Визначимо умови, за яких КТП, слід віднести до зовнішньої установки категорії В<sub>з</sub> за умов, що у КТП застосовується трансформатор з оливним охолодженням.

Аналіз формул (1)-(3) свідчить, що інтенсивність теплового випромінювання  $q$  при горінні горючої рідини буде визначатися середньо поверхневою густиною теплового потоку випромінювання полум'я  $E_f$ , питомою масовою швидкістю вигорання матеріалу  $M_v$ , площею пожежі  $F$  та температурою навколишнього середовища  $t_n$ .

Значення  $E_f$  та  $M_v$  для нафтопродуктів допускається приймати  $E_f = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  та  $M_v = 0,04 \text{ с}^{-1} \cdot \text{л}^{-1}$  [3]. Тому, за нормальних умов (при  $t_n = 20^\circ\text{C}$ ) величина  $q$  буде визначатися площею пожежі  $F$  трансформаторної оливи.

Таким чином, необхідно розв'язати задачу: при якій площі пожежі трансформаторної оливи інтенсивність теплового випромінювання  $q$  буде перебільшувати  $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  на відстані  $r = 30 \text{ м}$  від КТП. Проведений за формулами (1)-(3) розрахунок свідчить, що дана умова виконується при площі пожежі  $F > 199,6 \text{ м}^2 \approx 200 \text{ м}^2$ .

Якщо припустити, що 1 л трансформаторної оливи, нагрітої до робочої температури, розливається на площу  $1 \text{ м}^2$ , то КТП з кількістю оливи більше 200 л слід віднести до зовнішньої установки пожежонебезпечної категорії В<sub>з</sub>. При меншій кількості оливи КТП слід віднести до зовнішньої установки невибухонебезпечної категорії Г<sub>з</sub>.

У паспортах на трансформатори, як правило, указується не об'єм, а вага трансформаторної оливи.

За даними [5] трансформаторна олива має щільність  $870 \text{ кг/м}^3$ . Тому 200 л трансформаторної оливи мають вагу  $m = V \cdot \rho = 0,870 \cdot 200 = 174 \text{ кг}$ .

Таким чином, КТП, яка укомплектована трансформатором (або іншим одиничним оливонаповненим електрообладнанням) з кількістю оливи більше 174 кг буде відноситися до зовнішньої установки пожежонебезпечної категорії В<sub>з</sub>. При меншій кількості оливи КТП слід віднести до зовнішньої установки невибухонебезпечної категорії Г<sub>з</sub>.

Наприклад, КТП серії КТПН [4] починаючи з марки КТПН 100/10(6)/0,4-У1 є зовнішньою установкою пожежонебезпечної

категорії В<sub>3</sub>. КТПН до марки КТПН 63/10(6)/0,4-У1 включно є зовнішньою установкою невибухонепожежонебезпечної категорії Г<sub>3</sub>.

**Висновок.** З введенням категорування зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою [3] для визначення категорії КТП зовнішньої установки з оливнонаповненим електротехнічним обладнанням необхідно розраховувати інтенсивність теплового випромінювання при її горінні. Категорія визначається кількістю трансформаторної оливи. Розрахунком визначено, що якщо кількість оливи у будь-якому елементі КТП перебільшує 174 кг, то КТП слід віднести до пожежонебезпечної категорії В<sub>3</sub> та повинні бути передбачені додаткові вимоги щодо забезпечення її пожежної безпеки (наприклад, улаштування систем автоматичного протипожежного захисту [7]). В іншому випадку КТП є зовнішньою установкою невибухо-непожежонебезпечної категорії Г<sub>3</sub>. На сьогодні цей висновок не відображений в діючих протипожежних нормах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Авария в энергосистеме в Москве (2005) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org>.
2. Правила улаштування електроустановок. – Харків: Індустрія, 2008. – 422 с. – (Серія «Довідник енергетика», кн. 6).
3. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://document.ua/normi-viznachennja-kategorii-primishen-budinkiv-ta-zovnishni-nor7322.html> – (Нормативний акт пожежної безпеки).
4. ЭМНА-электросервис. Трансформаторы [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.emna.ru/katalog>.
5. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / [составители А.Н. Баратов и др.]. – Москва: Химия, 1990 –.– (Справочное издание).  
Т. 2. – 1990. – 384 с.
6. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06>.
7. Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту: ДБН В.2.5-56:2010. – [Чинний з 01.10.2011 р.] – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 141 с. – (Державні будівельні норми України).

Кулаков О.В.

**Особенности категорирования по взрывопожарной и пожарной опасности комплектных трансформаторных подстанций наружной установки**

Показаны особенности категорирования по взрывопожарной и пожарной опасности комплектных трансформаторных подстанций внешней установки при наличии маслонаполненного электротехнического оборудования. В зависимости от количества масла в единичном оборудовании КТП может быть отнесена или к пожароопасной категории В<sub>3</sub> или невзрывопожароопасной категории Г<sub>3</sub>. Такой вывод свидетельствует о разных требованиях по оборудованию КТП наружной установки автоматическими системами противопожарной защиты

**Ключевые слова:** пожар, категория, комплектная трансформаторная подстанция

Kulakov O.V.

**Peculiarity of calculation category of explosive-fire and fire emergency of complete transformer substations of the external setting**

Peculiarity of calculation category of explosive-fire and fire emergency of complete transformer substations of the external setting in case presence of lubricant-fill electro-technical equipments. Depending on the quantity of lubricant in the single equipment complete transformer substation can will be taken or to the fire-emergency category B<sub>3</sub> or non-fire-emergency category Г<sub>3</sub>. This conclusion testifies to different requirements to the equipment of the complete transformer substations of the external setting by the automatic systems of fire-prevention defense

**Keywords:** fire, category, complete transformer substation