

О. О. Зобенко

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ У МІСЦЯХ КОМУТАЦІЇ ПІД ЧАС НАДМІРНОГО ЛОКАЛЬНОГО НАГРІВАННЯ

Досліджено поле формування математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж. Обрунтовані рішення задачі з визначення перехідних опорів під час короткого замикання та вирішено задачі розрахунку струмів короткого замикання із визначення температури й часу спрацювання плавкого запобіжника. Розроблено математичну модель протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного локального нагрівання.

Ключові слова: *математична модель, протипожежний захист, електричні мережі, надмірний нагрів у місцях комутації*

Постановка проблеми

Щороку в Україні виникає близько 80 тис. пожеж [1]. Понад 14% із них виникає в результаті порушень роботи електричних мереж. До основних порушень роботи електричних мереж належать коротке замикання, перевантаження та високі перехідні опори. Відповідно підвищити протипожежний захист об'єктів та мінімізувати кількість пожеж в Україні можна за рахунок розробки додаткових систем захисту електричних мереж.

Для захисту обладнання від коротких замикань та перевантажень електричні мережі обладнуються апаратами захисту: запобіжники, автоматичні вимикачі, теплові реле тощо. В той же час особливої уваги потребують місця комутації такі як електричні розетки, адже у їх конструкції налічується більше 6-ти з'єднань порушення яких впливає на підвищення величини перехідних опорів.

Частота (циклічність) використання розеток з кожним роком підвищується. Це пов'язано із наявністю різних побутових приладів та гаджетів (ноутбуків, мобільних телефонів, планшетів), які потребують щоденної підзарядки. Внаслідок інтенсифікації використання апаратів комутації зношуються контактні поверхні, що супроводжується підвищенням їх нагріву. Такий нагрів виявити зовнішнім оглядом дуже складно, його відмічають тоді, коли відбувається плавлення пластикових елементів місць комутації або ж їх самозаймання. Тому розробка математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного локального нагрівання має актуальне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробці моделей та методів захисту електричних мереж присвячені роботи багатьох вчених. Бурик М. П. та Коломійчук Д. С. розробили імітаційну модель однорідної симетричної ланцюгової схеми [2]. Курило І. А. дослідив електричні кола з розподіленими параметрами [3].

Наукові праці Маренича К. М. присвячені математичному моделюванню короткого замикання. В роботі [4] запропоновано використання методів математичного моделювання досліджений стан промислового електротехнічного комплексу в разі виникнення двофазного короткого замикання на виході тиристорного регулятора напруги. В роботі [5] розроблено математичну модель дільничного шахтного електротехнічного комплексу, що містить приєднання з короткозамкненим асинхронним двигуном та досліджені перехідні процеси в разі виникнення міжфазних (три- і двофазних) коротких замикань в кабелі живлення, обумовлені дією зворотної електро-рушійної сили (е.р.с.) обертання двигуна споживача.

Виходячи з огляду досліджень та публікацій можна зробити висновок, що питання розробки математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного локального нагрівання не знаходило відображення у наукових літературних джерелах.

Формулювання мети статті

Метою дослідження є розробка математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в

місцях комутації під час надмірного локального нагрівання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити поля формування математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж;
- визначити основні параметри перехідних процесів під час короткого замикання;
- розробити математичну модель протипожежного захисту електричних мереж у місцях комутації.

Виклад основного матеріалу

Основні параметри, які у повній мірі дозволяють визначити характеристики елементів системи захисту електричних мереж в місцях комутації можна розділити на змінні, до яких слід віднести силу струму (I) та значення перехідного опору (R) електричного з'єднання; та сталі, а саме температуру нагрівання місця комутації (T_k) та найменше стійкого, з огляду пожежної безпеки, матеріалу елемента системи протипожежного захисту (T_F) та доповнити останні показником часу спрацювання елемента протипожежного захисту (t_E).

Розглянемо формування системи рівнянь зв'язку $\{f_1 \dots f_n\}$, які поєднують змінні та сталі параметри. Тож маємо наступне відображення процесу забезпечення протипожежного захисту $\Psi_{ПЗ}$

$$\Psi_{ПЗ}(T_k, T_F, t_E) = f_n(I, R, t); \quad (1)$$

З метою визначення оптимальних характеристик елемента системи протипожежного захисту необхідно визначити допустимі температури для самого елемента та матеріалів з яких виготовлені його елементи корпусу та оздоблення.

У роботі [6] доведено, що обравши температуру спрацювання теплового запобіжника в межах між максимальною допустимою робочою температурою з'єднання штепсель – гніздовий контакт та температурою руйнування конструктивних елементів розетки, чи самозаймання матеріалів елементів розетки, чи самозаймання інших матеріалів, які контактують або знаходяться поруч з розеткою можна попередити виділення токсичних продуктів розкладу, виникнення загорань та пожеж.

Загальне рішення окремої задачі математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації надмірних споживчих потужностей з визначення температури та часу спрацювання плавкого запобіжника $Q_{ПЗ}(R, I, t)$ спирається на той факт, що методи розрахунку характеристик перехідного процесу при трифазному КЗ за правилом еквівалентності для струму прямої послідовності можуть бути застосовані для розрахунку перехідного процесу за будь-якого несиметричного КЗ. Періодичну

складову струму прямої послідовності несиметричного КЗ визначають так само, як і періодичну складову струму трифазного КЗ, але тільки у точці, віддаленій від дійсної точки КЗ на додатковий опір $Z_{\Delta}^{(n)}$. Під час розрахунку цього струму можна скористатися комплексною схемою заміщення. Струми зворотної та нульової послідовностей, а також напруги окремих послідовностей у точці КЗ визначаємо за струмом прямої послідовності. Ознайомимося з особливостями розрахунку параметрів режиму за несиметричного КЗ й наведемо відповідні алгоритми.

Розрахунок початкових значень періодичних складових параметрів режиму. Процедура з розрахунку початкових значень періодичних складових параметрів режиму має наступний вигляд $Q_3(U, t)$. Схеми заміщення загалом складають для всіх послідовностей: прямої, зворотної та нульової. Параметри схеми заміщення прямої послідовності визначають для моменту часу $t=0$, для чого всі генератори, компенсатори та навантаження еквівалентують їх надперехідними опорами та е.р.с. Напруга прямої послідовності у будь-якій точці системи електропостачання (СЕП) при несиметричному КЗ завжди нижча, аніж при трифазному КЗ у тій же точці, а тому підживлення від окремих двигунів за несиметричного КЗ виявляє себе слабше у порівнянні з трифазним КЗ. До приблизної оцінки ударного струму несиметричного КЗ часто не враховують вплив навантаження та окремих двигунів за винятком потужних, безпосередньо пов'язаних з точкою КЗ. У наближених розрахунках схему заміщення для зворотної послідовності отримують з такої ж схеми для прямої послідовності, вилучивши е.р.с. та взявши Z_{1pez} , Z_{2pez} . Послідовність щодо обліку початкових значень періодичних складових параметрів режиму:

1) складають схеми заміщення для прямої, зворотної та нульової послідовностей, визначаючи параметри еквівалентів елементів (опорів) та е.р.с. джерел;

2) перетворенням схем заміщення для окремих послідовностей відносно точки КЗ знаходять результуючі опори Z_{1pez} , Z_{2pez} , Z_{0pez} ;

3) за формулою

$$I_{kAI}^{(n)} = E_{AZ} / (Z_{1pez} + Z_{\Delta}^{(n)}) \quad (2)$$

де індекс (n) означає вид КЗ; $Z_{\Delta}^{(n)}$ – додатковий опір залежно від виду КЗ розраховують струм прямої послідовності;

4) залежно від виду КЗ визначають у місці КЗ струми зворотної та нульової послідовностей, напруги окремих послідовностей;

5) визначають розподіл струмів окремих послідовностей у відповідних первинних розрахункових схемах та у разі необхідності

враховують зміщення векторів струмів прямої і зворотної послідовностей на відповідні кути при їх трансформації;

б) знаходять фазні струми та напруги для зазначених видів несиметричного КЗ.

Розрахунок параметрів режиму під час несиметричного КЗ. Процедура з розрахунку параметрів режиму під час несиметричного КЗ має наступний вигляд $Q''_3(U, t)$. Типові криві можуть бути використані для встановлення значення періодичної складової струму прямої послідовності, а, отже, і повного струму у довільний момент часу перехідного процесу під час несиметричного КЗ.

Якщо розрахункова схема містить лише одне еквівалентне джерело (синхронний генератор, компенсатор або групу генераторів, що мають однакові параметри та перебувають в однакових умовах відносно точки КЗ):

1) знаходять струм прямої послідовності генератора $I''_G^{(n)}$;

2) визначають електричну віддаленість точки еквівалентного трифазного КЗ від генератора

$$I_*^{(n)}_{IG} = I''^{(n)}_{IG} / I_{Gn}, \quad (3)$$

де I_{Gn} – номінальний струм генератора, зведений до ступеня напруги мережі, де сталося КЗ;

3) за знайденим значенням (3) вибирають відповідну типову криву і для потрібного моменту часу t визначають відношення

$$\gamma_t^{(n)} = (I_t^{(n)} / I''_G^{(n)}); \quad (4)$$

4) за відношенням $\gamma_t^{(n)}$ розраховують значення періодичної складової струму несиметричного КЗ у момент часу t :

$$I_t^{(n)} = m^{(n)} \gamma_t^{(n)} I''_G^{(n)}. \quad (5)$$

Якщо система електропостачання (СЕП) має декілька джерел, то їх доцільно розбити на дві групи. До першої слід занести джерела, електрично близько розташовані від місця КЗ (джерела обмеженої потужності), а до другої – електрично віддалені джерела чи такі, що характеризуються незмінною напругою на затискачах (джерела необмеженої потужності). Здебільшого, точка КЗ може виявитися за опором x_k , загальним для всіх груп джерел. Коли навіть у схемі заміщення для прямої послідовності $x_{k,1} = 0$, то в комплексній схемі заміщення як $x_{k,1}$ буде опір $x^{(n)}_{\Delta}$. Для знаходження значень параметрів режимів за несиметричних КЗ використовують такий алгоритм:

1) визначають струм прямої послідовності у місці КЗ $I''_{KA}^{(n)}_{1\Sigma}$;

2) визначають струм прямої послідовності від кожного джерела у момент часу $t=0$;

3) оцінюють електричну віддаленість джерел від точки КЗ за відношенням I''_i / I_{Gn} ;

4) індивідуально введені до розрахункової схеми джерела розбивають за електричною віддаленістю $I''_i / I_{Gn} \leq 2$ та $I''_j / I_{Gnj} > 2$ на дві групи;

5) комплексній схемі заміщення шляхом перетворень надають вигляду трипроменевої зірки, де у вітку з точкою $K_1^{(n)}$ увімкнений опір $x_{\Delta}^{(n)}$;

6) визначають сумарний струм прямої послідовності $I''_{G\Sigma}^{(n)}$ віток $I''_j / I_{Gnj} > 2$;

7) виявляють відношення $I''_{G\Sigma}^{(n)} / I''_{KA}^{(n)}_{1\Sigma}$;

8) для моменту часу t та електричної віддаленості $I''_{G\Sigma}^{(n)} / \sum_{j=1}^n I''_{Gnj}$ спочатку розраховуємо відношення I''_i / I''_G , а потім, використовуючи допоміжну типову криву $(I''_{it} / I''_i) = f_2(I''_i / I''_G)$ визначимо

$$\gamma_t^{(n)} = I''_i / I''_G; \quad (6)$$

9) значення періодичної складової струму у місці несиметричного КЗ для моменту часу t визначимо залежністю:

$$I''_{it} = m^{(n)} \gamma_t^{(n)} I''_{KA}^{(n)}_{1\Sigma} \quad (7)$$

Розрахунок струму під час несиметричних КЗ. Процедура розрахунку струму під час несиметричних КЗ має наступний вигляд $Q''_3(U, t)$. Послідовність розрахунку з використанням розрахункових кривих:

1) необхідно скласти схеми заміщення для прямої, зворотної та нульової послідовностей;

2) перетворити схеми заміщення окремих послідовностей до x_{1pez} , x_{2pez} , x_{0pez} відносно точки КЗ;

3) розрахувати результуючий опір комплексної схеми заміщення для даного виду несиметричного КЗ:

$$x^{(n)}_{pez} = x_{1pez} + x^{(n)}_{\Delta}; \quad (8)$$

3) розрахувати розрахунковий опір живильних віток (загалом їх може бути $j = 1, \dots, N$):

– для генераторної j -ї вітки

$$x^{(n)}_{*чрозj} = x^{(n)}_{pez} S_{nj} / (C_j U_{\delta}^2) \quad (9)$$

або

$$x^{(n)}_{*чрозj} = x^{(n)}_{*opez} S_{nj} / (C_j S_{\delta}) \quad (10)$$

де S_{nj} – номінальна потужність генератора j -ї вітки; C_j – коефіцієнт струморозподілу для j -ї вітки, що визначається у схемі прямої послідовності (у разі розрахунку за загальною зміною $C=1$, а під S_{nj} слід розуміти сумарну номінальну потужність усіх генераторів схеми);

– для вітки з джерелом необмеженої потужності опір буде

$$x^*GS = (x_{1pez} + x^{(n)}_{\Delta}) / C_{GS}, \quad (11)$$

де C_{GS} – коефіцієнт струморозподілу для вітки зв'язку з джерелом необмеженої потужності (якщо таке джерело зв'язане з точкою КЗ кількома вітками, то під C_{GS} треба розуміти суму відповідних коефіцієнтів струморозподілу);

4) для джерела обмеженої потужності (з $x_{*n\text{роз}} < 3$) на розрахункових кривих за значенням розрахункового опору j -ї вітки для заданого моменту часу t відшукують відносне значення струму прямої послідовності $I_{*Al\ t\ j}^{(n)}$; струм прямої послідовності визначають в іменованих одиницях виміру:

$$I_{*Al\ t\ j}^{(n)} = I_{*nAl\ t\ j}^{(n)} I_{nj}; \quad (12)$$

5) під час електричної віддаленості точки КЗ від джерел, а $x_{*роз}^{(n)} \geq 3$ можна взяти

$$I_{*Al\ t\ j}^{(n)} = I_{nj} / x_{*n\text{роз}}^{(n)} \quad (13)$$

або

$$I_{*Al\ t\ GS} = I_{\delta} / x_{*GS} \quad (14)$$

якщо опір x_{*GS} джерела виражений у відносних одиницях виміру чи за формулою

$$I_{*Al\ t\ GS} = U_{\delta} / (\sqrt{3}x_{GS}) \quad (15)$$

коли опір x_{GS} заданий в іменованих одиницях виміру;

б) діюче значення періодичної складової струму у місці несиметричного КЗ для моменту часу t

$$I_{\text{Пі}}^{(n)} = I_{\text{кл}}^{(n)} = m^{(n)} (\sum_{j=1}^N I_{*Al\ t\ j}^{(n)} + I_{*Al\ t\ GS}). \quad (16)$$

Розрахунок струму під час несиметричного КЗ методом спрямлених характеристик. Процедура з розрахунку струму під час несиметричного КЗ методом спрямлених характеристик має наступний вигляд $Q'''_3(U, t)$. Процедуру розпочинають із складання схем заміщення для прямої, зворотної та нульової послідовностей. У схемі заміщення для прямої послідовності синхронні генератори з АРЗ задають індуктивним опором x_t та е.р.с. E_t (напругою генератора), визначеними для моменту часу t . Режим роботи генератора з АРЗ, що працює ізольовано на зовнішню мережу, визначають порівнянням зовнішнього відносно затискачів генератора опору комплексної схеми заміщення з відповідним критичним опором для моменту часу t .

Для СЕП з кількома джерелами живлення режим роботи їх генераторів з АРЗ вибираємо орієнтовно з наступною перевіркою. Вибраний режим можна перевірити, порівнявши струм прямої послідовності генератора з його критичним струмом або залишкову напругу прямої послідовності на затискачах генератора – з номінальною напругою (для режиму

підйому збудження дотриматись умови $I_{\text{Пі}} \geq I_{\text{прі}}$ або $U_{\text{Пі}} < U_n$, а для режиму нормальної напруги – $I_{\text{Пі}} \leq I_{\text{прі}}$ чи $U_{\text{Пі}} = U_n$).

Систему як джерело необмеженої потужності вводять до схеми заміщення прямої послідовності відповідною сталою е.р.с. та опором, що дорівнює нулю. Навантаження слід вводити до схеми заміщення у точках їх дійсного приєднання з $x_{*н\text{нв}} = 1,2$ та $E_n = 0$.

Опір елементів у схемах заміщення для зворотної та нульової послідовностей не залежить від часу і становить як і при $t = 0$.

Алгоритм розрахунку струму несиметричного КЗ методом спрямлених характеристик:

1) обирають режим роботи синхронних генераторів з АРЗ та визначають їх відповідні параметри;

2) складають схеми заміщення для прямої, зворотної та нульової послідовностей, розраховуючи параметри еквівалентів елементів цих схем;

3) перетворюють схеми заміщення окремих послідовностей відносно точки КЗ, знаходячи результуючі опір та е.р.с.;

4) розраховують струм прямої послідовності в точці КЗ;

5) визначають струми (порівнюють з відповідними критичними), які перебігають з віток синхронних генераторів із АРЗ;

6) перевіряють правильність вибору режимів: якщо режими генераторів з АРЗ взяті такими, що відповідають нормі, переходять до наступного етапу розрахунку. Коли ж режим хоча б для одного з генераторів вибраний неправильно, розраховують повторно, обираючи для цього генератора інший режим (повертаються до 1-го етапу розрахунку). При цьому для даного генератора беруть е.р.с. рівній номінальній напрузі генератора, а опір – нулю. До того ж змінюється лише схема заміщення для прямої послідовності. Схеми заміщення зворотної та нульової послідовностей і відповідні їм результуючі опори залишаються без змін;

7) наступні етапи розрахунку збігаються з розрахунком початкового значення періодичної складової струму несиметричного КЗ, розпочинаючи з етапу 4.

Від так загальне рішення окремої задачі математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації надмірних споживчих потужностей з визначення температури та часу спрацювання плавкого запобіжника є відображенням варіації попередньо розглянутих окремих процедур та має наступний загальний вигляд:

$$Q_{\text{Пі}}(R, I, t) = f_3 n(Q'_3(U, t), Q''_3(U, t), Q'''_3(U, t), Q''''_3(U, t)) \quad (17)$$

Таким чином, рішення окремої задачі математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час локального нагріву з визначення температури та часу спрацювання плавкого запобіжника дозволяє отримати основні характеристики елемента системи протипожежного захисту електричної мережі шляхом послідовного відпрацювання алгоритму, який складається з чотирьох етапів, а саме: розрахунку початкових значень періодичних складових параметрів режиму, розрахунку параметрів режиму під час несиметричних КЗ, розрахунку струму під час несиметричних КЗ та розрахунку струму під час несиметричного КЗ методом спрямлених характеристик.

Опис математичної моделі. Процес протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації описується залежністю (18):

$$\Psi_{nz}(T_b, T_F, t_E) = f_n(I, R, t). \quad (18)$$

Подальша формалізація параметрів призводить до послідовного вирішення трьох окремих задач з визначення основних характеристик елемента протипожежного захисту, а саме:

$$Q_I(R, I, t) = f_{1n}(Q'_{1n}(U, t), Q''_{1n}(U, t), Q'''_{1n}(U, t)); \quad (19)$$

$$Q_{II}(R, I, t) = f_{2n}(U, t) \quad (20)$$

$$Q_{III}(R, I, t) = f_{3n}(Q'_{3n}(U, t), Q''_{3n}(U, t), Q'''_{3n}(U, t), Q''''_{3n}(U, t)). \quad (21)$$

Рішення окремої задачі математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації з визначення перехідних процесів під час короткого замикання передбачає послідовне визначення основних характеристик моделі як в умовах настання короткого замикання у віддалених точках системи електропостачання, та і в умовах комплексного навантаження з підживленням місця короткого замикання.

Рішення окремої задачі математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час локального теплового нагріву з визначення розрахунку струмів короткого замикання дозволяє в подальшому застосовувати автоматизовані розрахункові схеми електричних мереж з великою кількістю вузлів та віток.

Рішення окремої задачі математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час локального теплового нагріву з визначення температури та часу спрацювання плавкого запобіжника дозволяє отримати основні

характеристики елемента системи протипожежного захисту електричної мережі.

Іншими словами, умову отримання рішення задачі $\Omega_{nz}(T_b, T_F, t_E)$ можливо записати у вигляді:

$$\Omega_{nz}(T_b, T_F, t_E) = f_{\Omega_{nz}}(Q_I(R, I, t), Q_{II}(R, I, t), Q_{III}(R, I, t)). \quad (22)$$

З урахуванням вище викладеного шукана математична модель буде системою залежностей:

$$\Psi_{nz}(T_b, T_F, t_E) = f_n(I, R, t); \quad (23)$$

$$\Omega_{nz}(T_b, T_F, t_E) = f_{\Omega_{nz}}(Q_I(R, I, t), Q_{II}(R, I, t), Q_{III}(R, I, t)). \quad (24)$$

Таким чином, математична модель протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного локального нагрівання є системою з двох аналітичних залежностей. Перша залежність описує параметри елементів системи протипожежного захисту в місцях комутації під час надмірного теплового нагрівання. Друга залежність визначає ефективні параметри елементів системи протипожежного захисту в залежності від варіантів рішення окремих задач: з визначення перехідних процесів під час короткого замикання; з визначення розрахунку струмів короткого замикання; з визначення температури та часу спрацювання плавкого запобіжника

Висновки і перспективи подальших досліджень

Поле математичної моделі протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного теплового нагрівання знаходиться в межах, які обумовлені температурою спрацювання елемента системи протипожежного захисту, яка у свою чергу знаходиться між максимальною допустимою робочою температурою з'єднання штепсель – гніздовий контакт та температурою руйнування конструктивних елементів системи протипожежного захисту, та уточнюється з одного боку температурою самозаймання матеріалів елементів системи протипожежного захисту, а з іншого - температурою самозаймання інших матеріалів, які контактують або знаходяться поруч з елементом системи протипожежного захисту.

Математична модель протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного локального нагрівання є системою з двох аналітичних залежностей. Перша залежність описує параметри елементів системи протипожежного захисту в місцях комутації під час надмірного теплового нагрівання. Друга залежність визначає ефективні параметри елементів системи протипожежного захисту в залежності від варіантів рішення окремих задач: з

визначення перехідних процесів під час короткого замикання; з визначення розрахунку струмів короткого замикання; з визначення температури та часу спрацювання плавкого запобіжника.

Перспектива подальших досліджень полягає в створенні фізичної моделі елемента протипожежного захисту електричних мереж в місцях комутації під час надмірного локального нагрівання.

Література

- 1) Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2021 року [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://idundcz.dns.gov.ua/upload/5/3/8/5/7/5/2021-statistika-analitychna-dovidka-pro-pojeji-122021.pdf>
- 2) Бурик М. П. Імітаційна модель однорідної симетричної ланцюгової схеми. [Текст] / М. П. Бурик, Д. С. Коломійчук // Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики". – 2020. – С. 446-462.
- 3) Курило І. А. Електричні кола з розподіленими параметрами. [Текст] / І. А. Курило, І. Н. Намацалюк, В. І. Шеховцов // Навчальний посібник – К.: НМК ВО, 1993. – 96 с.
- 4) Маренич К. М. Двофазне коротке замикання на виході тиристорного регулятора напруги промислової електромережі як об'єкт дослідження [Текст] / К. М. Маренич // Збірник наукових праць. – Донецьк: Донецький інститут залізничного транспорту – 33 (2013) – С.146–151
- 5) Маренич К. М. Математичне моделювання короткого замикання в живлячому кабелі електротехнічного комплексу дільниці шахти [Текст] / К. М. Маренич, І. В. Ковальова // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер. гірн.-електромех. - 2011. - Вип. 21. - С.126-136.
- 6) Землянський О. М., Розроблення розеточного модуля електричної мережі [Текст] / О. М. Землянський, О. М. Мирошник, Д. В. Лесечко, О. О. Зобенко // Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація: збірник наукових праць. – Черкаси: ЧППБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2020. – Том 4 №20 – С. 20–28.

References

- 1) Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for 12 months of 2021. Retrieved from: <https://idundcz.dns.gov.ua/upload/5/3/8/5/7/5/2021-ctatuctuka-analitychna-dovidka-pro-pojeji-122021.pdf>
- 2) M. P. Buryk, D. S. Kolomyichuk. (2020) Simulation model of a homogeneous symmetric circuit circuit., *International Scientific and Technical Journal "Modern Problems of Electric Power Engineering and Automation"* P. 446-462.
- 3) I. A. Kurylo, I. N. Namatsalyuk, V. I. Shekhovtsov. (1993. – 96) Electric circuits with distributed parameters, Study guide - K.: NМК VO.
- 4) Marenich K. M. (2013) Two-phase short circuit at the output of the thyristor voltage regulator of the industrial power grid as an object of research, *Collection of scientific papers. – Donetsk: Donetsk Institute of Railway Transport – 33– P.146–151*
- 5) K. M. Marenich, I. V. Kovaleva. (2011). Mathematical modeling of a short circuit in the power cable of the electrotechnical complex of the mine site, *Nauk. Donetsk Ave. national technical university Ser. Mining and Electromech. - 2011. - Issue 21. - P.126-136.*
- 6) O. M. Zemlyanskyi, O. M. Myroshnyk, D. V. Lesechko, O. O. Zobenko.(2020) Emergency situations: prevention and elimination: a collection of scientific works. – *Cherkasy: CHIPB named after Heroes of Chornobyl National Center of Ukraine – Volume 4 No. 20 – pp. 20–28.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Т. В. Костенко, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна.

Автор: ЗОБЕНКО Олександр Олександрович
викладач кафедри автоматичних систем безпеки та електроустановок
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України
E-mail – szobenko96@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9641-2779>

MATHEMATICAL MODEL OF FIRE PROTECTION OF ELECTRICAL NETWORKS IN SWITCHING PLACES DURING EXCESSIVE LOCAL HEATING

O. Zobenko

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Defense of Ukraine

The field of the mathematical model of the fire protection of electrical networks in the places of switching of excessive consumer capacities is within the limits determined by the operating temperature of the element of the fire protection system, which, in turn, is between the maximum permissible operating temperature of the plug-socket contact connection and the temperature of destruction of the structural elements of the fire protection system protection, and is specified on the one hand by the self-ignition temperature of the materials of the elements of the fire protection system, and on the other hand by the self-ignition temperature of other materials that are in contact with or near the element of the fire protection system. The mathematical model of fire protection of electrical networks at the switching points of excessive consumer capacities is a system of two analytical dependencies. The first one describes the dependence of the main parameters of the element of the fire protection system on the main parameters of electrical networks in the places of switching of excessive consumer capacities. The second allows you to determine the effective parameters of the element of the fire protection system depending on the options for solving individual problems. The field of formation of a mathematical model of fire protection of electrical networks has been studied. The purpose of the study is to develop a mathematical model of fire protection of electrical networks in switching points during excessive local heating. Reasoned solutions to the problem of determining transient processes during a short circuit and the problem of calculating the short circuit jets and determining the temperature and time of operation of the fuse have been solved. On the basis of the obtained results, a mathematical model of fire protection of electrical networks at switching points during excessive local heating was developed.

Keywords: mathematical model, fire protection, electrical networks, excessive heating in switching places.