

УДК 621.311

Г.І. Лагутін¹, В.М. Лисенко², В.Д. Заболотний³¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Сумський національний аграрний університет, Суми³ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЗБИТКІВ ВІД ПЕРЕРВИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті проведений аналіз особливостей визначення шкоди, завданої об'єктам загальновійськового та спеціального призначення внаслідок припинення або обмеження постачання електричною енергією комплексів озброєння і військової техніки.

Ключові слова: комплекси озброєння та військової техніки, системи електропостачання, автономні джерела електричної енергії, характеристики і показники електротехнічних засобів.

Вступ

Постановка проблеми. Забезпечення надійності є однією з найважливіших проблем при створенні та експлуатації будь-якої технічної системи. Особливо актуальна вона для складних систем, таких як системи електропостачання військових об'єктів, що складаються з великого числа елементів і мають великі внутрішні і зовнішні зв'язки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У цілому ряді публікацій розглядаються вимоги до автономних джерел електричної енергії, що використовуються в збройних силах різних держав при підготовці та веденні бойових дій. В [2] проведено аналіз автономних джерел електричної енергії загальновійськового призначення для вирішення завдання обґрунтування переліку характеристик і показників електротехнічних засобів комплексів ОВТ. В [3] з метою уточнення вимог до джерел електричної енергії, які використовуються у Збройних Силах України, розглядається їх стан і проводиться оцінка перспектив розвитку військових засобів електропостачання з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції. Однією з найбільш важливих технічних характеристик автономних джерел електроенергії зразків ОВТ є їх потужність. Методи визначення розрахункових навантажень комплексів ОВТ, які дозволяють обґрунтувати необхідні потужності автономних електростанцій, викладені в [4]. Особливості обґрунтування технічних характеристик і показників якості електротехнічних засобів, які входять до складу систем електропостачання комплексів озброєння і військової техніки, з використанням математичного апарату теорії графів проаналізовані в [1]. В [5] розглянуті особливості визначення переліку параметрів і характеристик систем електропостачання комплексів ОВТ із застосуванням математичного апарату кореляційного аналізу.

Завдання забезпечення надійності систем електропостачання військових об'єктів включає в себе цілий комплекс технічних, економічних та організаційних заходів, спрямованих на скорочення збитків від порушення нормального режиму роботи комплексів озброєння і військової техніки, таких як:

- вибір критеріїв і кількісних характеристик надійності;
- випробування на надійність і прогнозування надійності діючого обладнання;
- вибір оптимальної структури проєктованих (реконструюються) систем електропостачання за критерієм надійності;
- забезпечення заданих технічних і експлуатаційних характеристик роботи комплексів озброєння і військової техніки;
- розробка найбільш раціональної, з погляду забезпечення надійності, програми експлуатації системи (обґрунтування режимів профілактичних робіт, норм запасних елементів і методів відшукування несправностей).

Крім того, в сучасних умовах надійність електропостачання нерозривно пов'язана з енергетичною безпекою об'єктів загальновійськового та спеціального призначення.

Метою статті є аналіз особливостей визначення шкоди, завданої об'єктам загальновійськового та спеціального призначення внаслідок припинення або обмеження постачання електричною енергією комплексів озброєння і військової техніки.

Виклад основного матеріалу

Надійність електропостачання визначається числом незалежних джерел живлення і схемою електропостачання комплексів озброєння та військової техніки, тому забезпечення надійності електропостачання, як правило, пов'язано з додатковими економічними витратами.

Так, електроприймачі I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних взаємно резервуються джерел живлення, а для скорочення перерв їх електропостачання використовуються швидкодіючі пристрої релейного захисту та автоматики (АПВ і АВР).

Для особливої групи електроприймачі I категорії має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного джерела (автономної електростанції, акумуляторних батарей і т. п.), що призводить до додаткового ускладнення і подорожчання системи електропостачання.

З іншого боку, оцінивши збиток, нанесений споживачам перервою електропостачання та збитки, пов'язані з аварійним ремонтом обладнання, можна ставити питання про оптимальний рівень надійності електроенергетичного обладнання, установок і систем. Тому створення нових систем електропостачання вимагає застосування таких методів аналізу і розрахунку надійності, які дозволили б об'єктивно врахувати досвід експлуатації, дані експериментів, розрахувати надійність, проаналізувати варіанти щодо забезпечення надійності, обґрунтувати її підвищення, прогнозувати надійність і виключити можливість катастрофічного результату аварій для людей і навколишнього середовища.

При експлуатації комплексу озброєння і військової техніки важливо оцінити реальний збиток, який може мати місце через ненадійність енергопостачання та який він повинен враховуватися при взаєминах з енергопостачальною організацією з одного боку і з взаємодіючими військовими об'єктами в разі зниження ефективності застосування комплексу озброєння з іншого боку.

Залежно від схеми електропостачання військового об'єкта, при визначенні збитків від перерви електропостачання повинні враховуватися аварійні та планові перерви електропостачання [6, 7].

Первинний збиток Y_1 від перерви електропостачання військового об'єкта може бути визначений за виразом:

$$Y_1 = [(Y_a + T_b \cdot 8760 \cdot Y_b) \omega_p + K_n \cdot 8760 \cdot Y_b] \cdot \Pi \cdot \gamma, \quad (1)$$

де Y_a – складова питомої шкоди, пов'язана з самим фактом перерви електропостачання; Y_b – складова питомої шкоди, пов'язана з тривалістю перерви електропостачання; Π – продуктивність (ефективність застосування) військового об'єкта; γ – коефіцієнт, що враховує ступінь зниження ефективності застосування військового об'єкта при перервах електропостачання; T_b – час відновлення елемента системи електропостачання, з відмовою якого пов'язаний перерву в електропостачанні; K_n – коефіцієнт простою; ω_p – параметр потоку відмови елемента, з відмовою якого пов'язаний перерву в електропостачанні.

Вторинний збиток Y_2 від перерви електропостачання військового об'єкта доцільно визначити з виразу:

$$Y_2 = (\Delta T_b \cdot Y_b \cdot \omega_p + K_n \cdot 8760 \cdot Y_b) \cdot \Pi \cdot \gamma, \quad (2)$$

де $\Delta T_b = T_b - T_0 / \gamma$, T_0 – максимально допустимий час перерви електропостачання військового об'єкта, яке не викликає порушення вторинних операцій функціонування військового об'єкта.

Тоді загальний збиток Y від перерви або обмеження електропостачання військового об'єкта може бути визначений як сума первинного і вторинного збитку:

$$Y = Y_1 + Y_2. \quad (3)$$

Крім збитку, пов'язаного з прямим відключенням споживачів електроенергії, необхідно враховувати збиток, який виникає внаслідок зміни режимних параметрів (напруги U , потужності S , частоти f) електричної енергії без перерви живлення споживачів, коли електроприймачі не можуть виконувати необхідних функцій [6, 7].

Наприклад, при зниженні напруги електричної мережі зменшиться швидкість обертання роторів електродвигунів n дв і обертаючий момент M дв, що може призвести до зменшення продуктивності гідронасосів, вентиляторів, зміни швидкості обертання антенних постів і, як наслідок, до порушення функціонування комплексу озброєння і зриву боеготовності:

$$M_{дв} = \frac{1}{2\pi f} \frac{U^2}{\sqrt{x_a^2 + x_s^2}}. \quad (4)$$

Величина напруги позначається на роботі не тільки двигунів, але також систем охолодження (порушення теплового режиму радіоелектронної апаратури) і освітлювальних установок (зниження світлового потоку):

$$\Theta_{тепл} = \frac{U^2}{R_{ТЭН}} \cdot t_{раб}; \quad (5)$$

$$\Phi_{свет} \approx \left(\frac{U_{факт}}{U_{ном}} \right)^{3,67}. \quad (6)$$

Таким чином, аналітичний вираз для збитку Y від порушення якості електроенергії може бути представлений у вигляді:

$$Y = \int_{f_{min}}^{f_{max}} \Delta y(f) \cdot \phi_f(f) \cdot df + \int_{S_{min}}^{S_{max}} \Delta y(S) \cdot \phi_S(S) \cdot dS + \int_{U_{min}}^{U_{max}} \Delta y(U) \cdot \phi_U(U) \cdot dU, \quad (7)$$

де $\Delta u(f)$, $\Delta u(S)$, $\Delta u(U)$ – складові питомої збитку, залежать відповідно від величини відхилення частоти, потужності, напруги від номінальних значень;

$\phi_f(f)$, $\phi_S(S)$, $\phi_U(U)$ – відносна ймовірність (щільність розподілу) відповідно відхилення частоти, потужності, напруги від номінальних значень.

При відхиленні показників якості електроенергії $P(U)$ від номінальних зменшується загальне електроспоживання $\Delta W(U)$, і, як наслідок, знижується ефективність функціонування комплексу озброєння і військової техніки:

$$\Delta P(U) \geq \Delta W(U) = \alpha_U \Delta U \cdot t_{н.кач}, \quad (8)$$

де $\alpha_U = \frac{dW}{dU}$ – статична характеристика роботи військового споживача електроенергії.

Подібне суворе визначення збитку вимагає дуже складних моделей функціонування для кожного споживача, проте достатньо адекватні наближені оцінки цього збитку можна отримати непрямым шляхом – встановивши зв'язок між характеристиками збитку споживачів при аварійному відключенні і при зниженні якості електроенергії.

Для практичного застосування може бути запропонований графічний метод, заснований на використанні функцій реакції електричної мережі та функцій реакції споживача.

Будемо вважати, що функція реакції мережі $U_{СЕС}(t)$ (рис. 1) зображує зв'язок між відхиленням напруги у вузлах навантаження і часом локалізації аварії при коротких замиканнях (КЗ).

Для кожного обраного вузла функція реакції визначається по декількох характерних точках короткого замикання:

а) на короткій лінії 6-10 кВ з швидкодіючою захистом (запобіжником) напруга падає практично до нуля на час спрацювання захисту (0,001 – 0,01 с), а потім відновлюється до колишньої величини;

б) на лінії з вимикачем і витримкою часу відключення 0,5 – 0,6 с первісне відхилення напруги 10-30% визначається опором до місця КЗ, після спрацювання захисту воно відновлюється до 100%;

в) ушкодження на лінії основного джерела живлення призводить до зникнення напруги на час роботи АВР (1 - 2 с), після чого напруга відновлюється спочатку до 80-90% (через неодночасного запуску електродвигунів), а ще через 2 - 5 з повністю;

г) пошкодження на нерезервованій джерелі живлення (в розрахунковій точці) припиняє живлення споживачів на час аварійно-відновлювального ремонту.

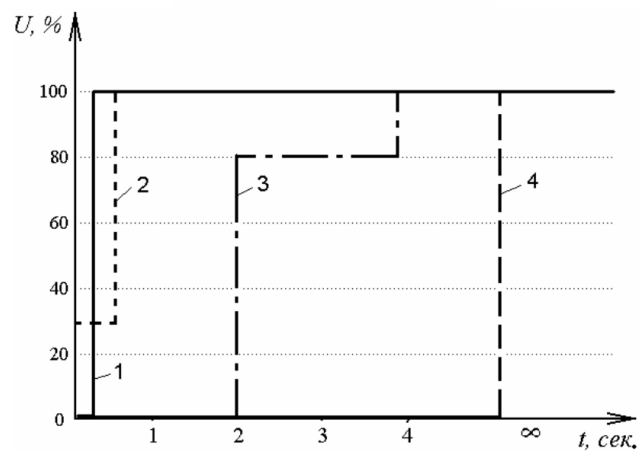
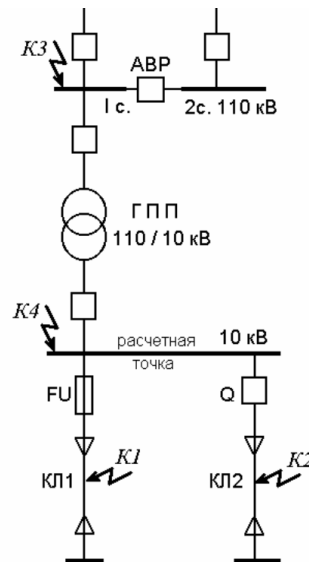


Рис. 1. Срезковий вид функції реакції мережі СЕС (t): 1 – КЗ на лінії, захищеної запобіжником (швидкодіюча захист); 2 – КЗ на лінії, що відходить з вимикачем (захист з витримкою часу); 3 – КЗ на лінії живлення, що резервується АВР; 4 – пошкодження на нерезервованій джерелі живлення

При цьому функція реакції споживача $U_{потр}(t)$ (рис. 2) нехай характеризує чутливість роботи споживача до зміни напруги, яка залежить від виду використовуваної захисту мінімальної напруги. У ряді випадків зниження напруги призводить до відключення контакторів, що працюють на змінному оперативному струмі, зупинці керованих ними механізмів і повного припинення функціонування комплексу озброєння і військової техніки.

Таким чином, для оцінки впливу режиму напруги на надійність споживачів необхідно зіставити функції реакції мережі з функцією реакції кожного споживача.

Якщо всі аварійні ситуації в живильній мережі описуються точками, які належать зоні стійкої роботи даного споживача (функція реакції споживача повністю вписується в прямокутник під кривою функції реакції мережі), то можна вважати, що відхи-

лення напруги практично не погіршують надійності електропостачання. В іншому випадку розрахунок збитку повинен бути виконаний аналогічно режиму повної втрати харчування.

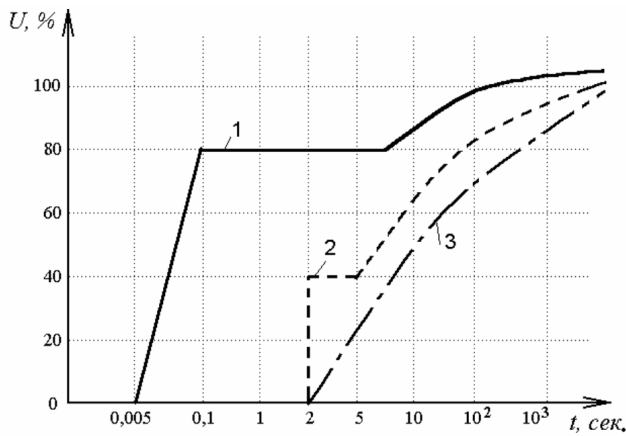


Рис. 2. Приклади функції реакції споживача $U_{\text{потр}}(t)$: 1 – зі звичайним контактором (захист мінімальної напруги без витримки часу); 2 – контактор, обладнаний селективної захистом (з витримкою часу); 3 – без захисту мінімальної напруги

Висновки

1. Для забезпечення надійності системи електропостачання, достатньої для функціонування військового об'єкту, необхідно виконати комплекс технічних, економічних та організаційних заходів, спрямованих на скорочення збитків від порушення нормального режиму роботи комплексів озброєння і військової техніки.

2. Проведений аналіз показав, що окрім збитку, пов'язаного з прямим відключенням військових споживачів електроенергії, необхідно враховувати збиток, який виникає внаслідок зміни режимних параметрів (напруги U , потужності S , частоти f) електричної енергії без перерви живлення споживачів, коли комплекси озброєння та військової техніки не можуть виконувати необхідних функцій.

3. Оскільки суворе визначення збитку вимагає дуже складних моделей функціонування для кожного споживача, досить адекватні наближені оцінки цього збитку можуть бути отримані із застосуванням графічного методу, заснованого на використанні функцій реакції електричної мережі та функцій реакції споживача.

Список літератури

1. Лагутин Г.И. Особенности обоснования характеристик и показателей образцов электротехнических средств систем электроснабжения комплексов вооружения и военной техники / Г.И. Лагутин // Системы озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2015. – № 4 (44). – С. 21 – 23.
2. Лагутин Г.И. Требования к автономным источникам электрической энергии общевойскового назначения с учетом опыта проведения антитеррористической операции / Г.И. Лагутин // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 3(20). – С. 147-151.
3. Lagutin G.I. Military power supply units development prospects on the combat operations experience basis // Системи озброєння і військова техніка / G.I. Lagutin. – Х.: ХУПС, 2015. – № 3 (43). – С. 45 – 48.
4. Лагутин Г.И. Анализ режимов потребления электрической энергии комплексами вооружения и военной техники / Г.И. Лагутин // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2014. – № 3 (39). – С. 46 – 49.
5. Лагутин Г.И. Особенности определения перечня параметров и характеристик систем электроснабжения / Г.И. Лагутин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 4(41). – С. 73 – 76.
6. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» / А.Н. Шеметов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. – 224 с.
7. Надежность электроснабжения: учебно-методический комплекс / сост.: Г.З. Зайцев, Т.Е. Минакова, А.В. Сливкин. – СПб.: СЗТУ, 2010. – 114 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЩЕРБА ОТ ПЕРЕРЫВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Г.И. Лагутин, В.Н. Лысенко, В.Д. Заболотный

В статье проведен анализ особенностей определения ущерба, причиненного объектам общевойскового и специального назначения вследствие прекращения или ограничения снабжения электрической энергией комплексов вооружения и военной техники.

Ключевые слова: комплексы вооружения и военной техники, системы электроснабжения, автономные источники электрической энергии, характеристики и показатели электротехнических средств.

FEATURES OF DEFINITION OF MILITARY FACILITIES POWER SUPPLY BREAK DAMAGE

G.I. Lagutin, V.N. Lysenko, V.D. Zabolotniy

In article the definition features analysis of the damage caused to general and special purpose facilities owing to the armament and military equipment complexes power supply termination or restriction is carried out.

Keywords: armament and military equipment complexes, power supply system, autonomous electric supply units, electro-technical means characteristics and indicators