

2. Котельников, А.В. Энергетическая стратегия железных дорог России [Текст] / А.В. Котельников // Железные дороги мира.- 2005.-№2.-С.16-23.
3. Розробка концепції енергетичної стратегії Укрзалізниці на період до 2010 р. та на перспективу до 2020 р. [Текст]: звіт з НДР / кер. В.Г. Сиченко. - ДР 10106U005700; Інв.-Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2006.-48с.
4. Корнієнко, В.В. Електрифікація залізниць. Світові тенденції і перспективи (аналітичний огляд) [Текст] / В.В. Корнієнко, О.В. Котельников, В.Т. Доманський. -К:Транспорт України, 2004.-198с.
5. Мямлін, С.В. Аспекти політики енергозбереження в тягових системах залізничного транспорту [Текст] / С.В. Мямлін, В.Г. Кузнецов, В.Г. Сиченко // Матеріали I міжнародної научно-практичної конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті».-2010.-п. Мисхор: ДНУЗТ.- С.13-18.
6. Доманская, Г.А. Энергосберегающие технологии тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.09 / Г. А. Доманская. – Д., 2007. – 25 с.
7. Мирошніченко, Р.И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р.И. Мирошніченко - М. : Транспорт, 1982. – 207 с.
8. Марквардт, К.Г.Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г. Марквардт.-М: Транспорт,1982.-528с.
9. Митрофанов, А.Н. Моделирование процессов прогнозирования и управления электропотреблением тяги поездов [Текст] / А.Н. Митрофанов; Самарская гос. акад. путей сообщения. - Самара. - 2005, -168 с.
10. Кузнецов, В.Г. Исследование факторов, определяющих величину потерь мощности в тяговой сети [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» – 2012. – № 18. – С. 62-67.
11. Правила технічної експлуатації залізниць України / Київ: 2002р.
12. Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах [Текст] / А.В. Пантелеев, Т.А. Легова. – М.: Высшая школа, 2005. – 544 с.

Запропоновано систему електроживлення АСК оцінювати коефіцієнтами живучості та деградації, які більш глибоко відзеркалюють процеси, що відбуваються в умовах невизначеності

Ключові слова: живучість, система електроживлення, аеродромний світлосигнальний комплекс

Предложено систему электропитания АСК оценивать коэффициентами живучести и деградации, которые более глубоко отражают процессы, происходящие в условиях неопределенности

Ключевые слова: живучесть, система электропитания, аеродромный светосигнальный комплекс

Electric power system of light signaling complex of aerodrome is proposed to estimate coefficients of survivability and degradation that more deeply reflects the processes occurring under conditions of uncertainty

Keywords: survivability, electric power system, light signaling complex of aerodrome

УДК 656.71.057: 621.31 (045)

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ АЕРОДРОМНОГО СВІТЛОСИГНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ В НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В.М. Казак

Доктор технічних наук, професор*
Контактний тел. 050-960-49-68
E-mail: profkazak@ukr.net

Т.А. Мазур

Кандидат технічних наук, асистент*
Контактний тел. 096-466-24-27
E-mail: mazur_T@bk.ru

Л.В. Новачук

Аспірант*
Контактний тел. 066-163-33-77
E-mail: novachuk_liliya@ukr.net

*Кафедра автоматизації та енергоменеджменту
Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058

Вступ

Систему електроживлення аеродромного світлосигнального комплексу (АСК) можна представити як складну систему, яка розвивається в умовах гострого дефіциту енергетичних ресурсів та високого рівня старіння її окремих елементів. Така ситуація призводить, з одного боку, до значного природного збільшення числа аварій в системі, а з іншого боку – до збільшення економічних збитків від різного роду аварій у силу підвищення одиничної потужності агрегатів, пропускної спроможності електропередач та інше.

Постановка дослідження

При роботі АСК в категорійних метеорогічних умовах всі об'єкти I категорії особливої групи повинні жити не менше, ніж від двох незалежних джерел живлення [1,2]. У той же час ускладнення схеми живлення за рахунок автономних джерел, які повинні включитися в роботу у разі відмови одного джерела, призводить до зниження надійності та живучості систем електроживлення АСК, у цілому, так як ймовірність відмови хоча б одного із них при відключенні центрального джерела достатньо велика. Тому виникає необхідність оцінки живучості системи електроживлення аеродромного світлосигнального комплексу в невизначених умовах експлуатації.

Основний матеріал

Як один з варіантів в якості аварій в системі електроживлення (СЕЖ) АСК слід розглядати виникнення в системі таких умов, коли наявна потужність всієї системи або її частина не може задовольнити потреби в ній без виникнення небезпечних перевантажень елементів системи або неприпустимих відхилень значень напруги і частоти від нормованих показників. Очевидно, що поодинокі аварії, наприклад, відключення однієї лінії електропередач (ЛЕП), силового трансформатора або знеструмлення шин одного розподільного пристрою, носять локальний характер і з точки зору надійності та живучості роботи системи цікавості не представляють. Такі відключення зазвичай призводять до перерозподілу навантаження між рештою робочих елементів без шкоди для електроживлення.

Однак, внаслідок наявності властивості адитивності, надійність роботи СЕЖ АСК визначається взаємозв'язком її складових елементів. Слідом за поодинокію подією, що полягає у відключенні одного елемента системи, часто слідує аварійні процеси, що утворюють лавинний процес, так звані каскадні аварії.

Виникнення, розвиток і блокування аварій в найбільш загальному вигляді можна охарактеризувати діаграмою, наведеною на рис. 1. Будь-яка СЕЖ АСК функціонує в умовах збурень, породжуваних випадковими пошкодженнями її елементів (устаткування, трансформаторні підстанції, ЛЕП, систем управління та захисту), а також помилковими діями персоналу. Однак далеко не всі подібні збурення призводять до аварій. Наприклад, сукупність збурень A_1 не можуть

вивести СЕЖ зі стану нормальної роботи (I) в силу наявності в СЕЖ деякої надмірності. У той же час, сукупність збурень A_2 переводить систему в стан, що характеризується відмовою одного або кількох елементів (II). Після відключення пошкодженого елемента (подія A_3) режим роботи СЕЖ порушується (III), оскільки окремі елементи відчувають перевантаження по струму і напрузі. Подальший розвиток подій – пошкодження та відключення перевантажених елементів (подія A_5) призводить до порушення параметрів електроживлення (IV), тобто коли наявна потужність СЕЖ або її частини не в змозі задовольнити потреби споживачів АСК без неприпустимого зниження частоти в системі. На рис. 1 показана також можливість прямого переходу зі стану пошкодження (II) до порушення параметрів електроживлення (IV) – сукупність подій A_4 , із нормального стану (I) у стан порушення режиму (III) і порушення електроживлення (IV) – події A_6 і A_7 .

Управління режимом роботи СЕЖ в аварійних умовах можна визначити як сукупність впливів, які повинні після виникнення збурень або запобігти виникненню аварійних умов, або забезпечити швидке відновлення нормальної роботи СЕЖ після аварії.

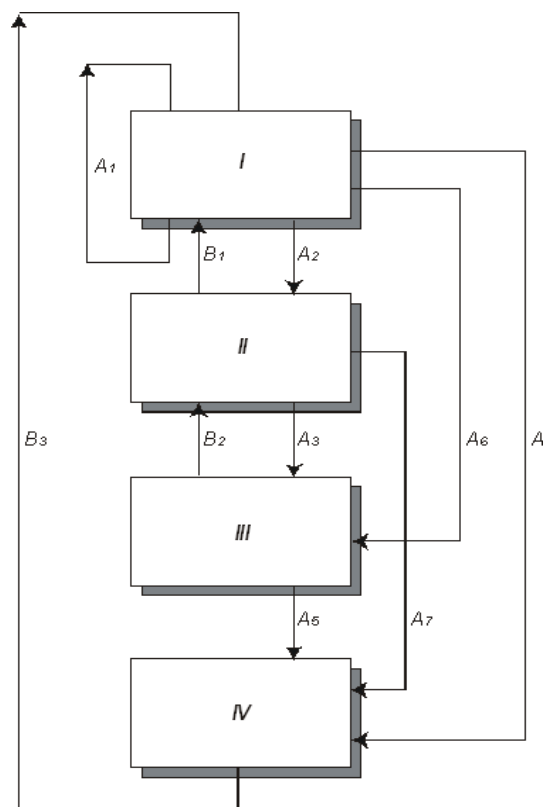


Рис. 1. Діаграма станів СЕЖ АСК: I – нормальний стан; II – пошкодження одного або декількох елементів; III – часткове або повне порушення режиму; IV – порушення електроживлення.

Такі дії показані на рис. 1 у вигляді подій B_1 , B_2 і B_3 , завдяки яким запобігає порушення режиму роботи системи електроживлення і має місце відновлення нормального функціонування СЕЖ після аварії.

Серед усієї безлічі аварійних ситуацій в СЕЖ особливий інтерес викликає дослідження особливого класу найбільш важких аварій, що призводять до часткової або повної втрати працездатності СЕЖ АСК, що носять екстремальний дестабілізуючий характер і спрямовані на руйнування самої системи.

Досить часто окремі порушення, які не становлять самі по собі катастрофічних подій і викликають лише локальні наслідки, призводять до каскадного розвитку пошкоджень.

У загальному випадку надзвичайну (кризову) ситуацію можна визначити як подію, що йде в розріз з прийнятими нормами, й що спрямована на руйнування цих норм. Іншими словами надзвичайна ситуація являє собою велику аварію, що приводить до порушення нормального функціонування СЕЖ АСК. Виникнення в СЕЖ надзвичайної ситуації призводить до істотного зниження рівня функціонування СЕЖ, що відображається таким виразом:

$$\exists D_x, (D_x \subset D) : \forall dx \in D_x, (\phi(dx) \ll \phi(0)), \quad (1)$$

де D – множина всіх зовнішніх збурень; D_x – безліч аварійних збурень надзвичайного характеру; dx – одиничне аварійне збурення надзвичайного характеру; ϕ – вектор-функція рівня функціонування СЕЖ.

Отже, система електроживлення АСК, що працює в реальному часі при апріорно не повністю визначених режимах та умовах експлуатації, втрата працездатності якої призводить до катастрофічних наслідків та великим економічним втратам, для ефективного функціонування повинна бути наділена властивостями живучості. Живучість системи живлення АСК – це властивість системи компенсувати (повністю або хоча б частково) вплив непередбачених несприятливих зовнішніх та внутрішніх діянь на якість її функціонування.

Відповідно до цього система електроживлення АСК, що володіє властивостями живучості здатна:

- локалізувати відмови функціональних елементів, що обумовлені недостатньою її надійністю;
- локалізувати відмови елементів (або їх сукупності), що обумовлені шкідливим впливом навколишнього середовища (якщо система знаходиться в умовах, що відрізняються від передбачених впливів);
- змінювати свої властивості та характеристики (адаптуватися) для виключення діянь зовнішніх несприятливих впливів (пасивно по відношенню до джерела несприятливих впливів);
- активно впливати на навколишнє середовище для зменшення його несприятливого впливу на систему;
- забезпечувати повільну деградацію показників якості функціонування системи при прогнозованому накопиченню непрацездатних функціональних елементів.

Відмінною властивістю системи живлення АСК, що функціонує в реальному часі, являється те, що система виявляє несправність функціональних елементів та локалізує наслідки відмов цих елементів в системі раніше, ніж під їх впливом виникає непрацездатний стан системи.

В реальних умовах експлуатації внаслідок дії непередбачених чи невизначених зовнішніх факторів і внутрішніх процесів виникають первинні наслідки цих дій, що виражаються в порушенні працездатності елементів системи живлення або функціональних зв'язків, викривленні інформації чи алгоритмів функціонування. Поведінку системи електроживлення АСК після дії несприятливих впливів можна представити у формалізованому [3] вигляді (рис. 2).

Система електроживлення АСК, що має властивості живучості, проявляє їх через здатність поступової деградації, яка виникає завдяки введенню як пасивних, так і активних засобів збереження живучості (ЗЗЖ) такої системи. Інформація про первинні наслідки надається в ЗЗЖ. ЗЗЖ складаються з засобів контролю й прогнозування працездатності системи та її елементів, засобів аварійного та пожежного захисту, засобів реконфігурації, управління та попередження. Дія ЗЗЖ впливає на розвиток первинних наслідків і в залежності від інтенсивності процесів в системі, конкретних зовнішніх умов функціонування, ефективності ЗЗЖ система в кінці кінців переходить в одне з можливих стійких станів [3].

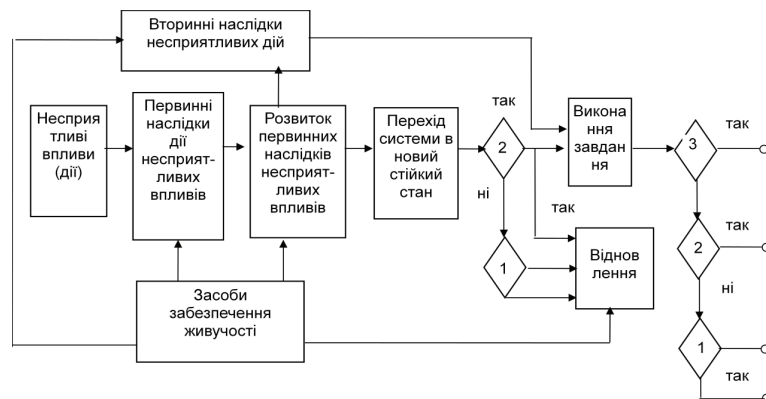


Рис. 2. Динаміка станів системи після дії несприятливих впливів, де 1 – аварія; 2 – працездатна; 3 – виконання завдання

За своєю природою процес цих переходів є стохастичним. Після переходу в новий стан виконується оцінка первинних наслідків, в результаті якої стан системи відносять до одного з трьох класів: працездатний, непрацездатний або неаварійний, аварійний. Саме за результатами цієї класифікації проводиться оцінка живучості за станом системи.

При працездатному стані система повертається до виконання завдання негайно. Якщо стан є непрацездатним, то система може повернутися до виконання завдання після деяких процедур відновлення. Переведення системи в новий стійкий стан не завершує боротьбу за живучість тому, що при подальшому функціонуванні до виконання встановленого завдання можуть проявитися і вторинні (рис. 2) наслідки несприятливих впливів, більш віддалені, але не менш

небезпечні, ніж первинні, пов'язані з некерованими чи погано керованими тепловими, електричними, хімічними, радіаційними та іншими процесами. Швидкість розвитку вторинних наслідків і кінцевий результат також суттєво залежить від досконалості роботи ЗЗЖ. Після закінчення деякого встановленого терміну проводиться оцінка результатів виконання завдання з чотирма можливими наслідками.

Отже, в процесі боротьби за живучість можна виділити два етапи:

- на першому етапі ведеться боротьба за збереження працездатності системи живлення АСК;
- на другому етапі ведеться боротьба за успішне виконання завдання не зважаючи на первинні і вторинні наслідки несприятливих дій. Відповідно до цього виділяють й дві задачі оцінки та забезпечення живучості.

В подальшому пропонується ввести поняття «функціональна одиниця живучості» (ФОЖ). Під ФОЖ розуміється підсистема, блок, вузол, функціональний елемент та інші пристрої, несправність яких локалізується засобами, що забезпечують властивість живучості системи. При визначенні живучості системи електроживлення АСК допускається, що в ній може виникнути відмова будь-якої кратності. Відмова i -ї кратності для всіх можливих комбінацій ФОЖ називається узагальненою відмовою i -ї кратності [2,3].

Якщо розглядається стан системи при послідовній відмові кожної функціональної одиниці, то в систему введена узагальнена відмова першої кратності q^1 .

Якщо досліджується стан надлишкової системи для послідовної відмови сполучень з l функціональних одиниць живучості по дві одиниці C_1^2 , то в систему введена узагальнена відмова другої кратності q^2 . У випадку розгляду послідовної відмови сполучень з l ФОЖ по m , $m \leq l$, тобто C_1^m , то в систему вводять узагальнену відмову m -ої кратності q^m . З урахуванням цього систему електроживлення АСК пропонується оцінювати коефіцієнтом живучості. Коефіцієнтом живучості $G(q^i)$ даної системи для узагальненої відмови називається відношення числа станів, що відповідають працездатній системі, до всієї сукупності її станів [4]:

$$G(q^i) = M/C_1^i, \quad (2)$$

де M – число працездатних станів системи для узагальненої відмови i -ої кратності; C_1^i – загальна кількість станів системи; i – кратність узагальненої відмови; l – кількість ФОЖ системи.

Отже, коефіцієнт живучості складної системи є кількісною оцінкою її працездатності, яка визначається для послідовної відмови сполучення із l елементів по i , $i=0, m$. Він приймає такі значення $0 \leq G(q^i) \leq 1$. Протилежною характеристикою є коефіцієнт деградації [4], який визначається так:

$$D(q^i) = N/C_1^i, \quad (3)$$

де N – кількість станів, що відповідають непрацездатній системі.

Очевидно, що $G(q^i) + D(q^i) = 1$.

Залежність коефіцієнта живучості від кратності узагальненої відмови представляє собою функцію живучості системи $G=f(q^i)$, що являється інтегральною оцінкою живучості системи. Аналогічно залежність коефіцієнта деградації від кратності узагальненої відмови представляє собою функцію деградації системи $D=f(q^i)$.

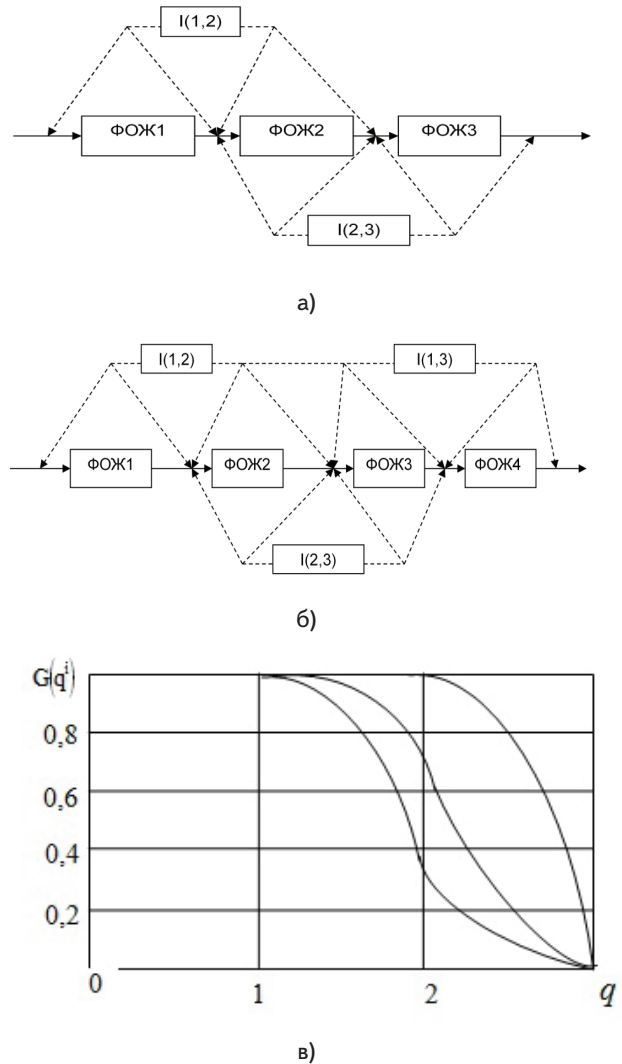


Рис. 3. Структурна схема системи, яка складається з трьох ФОЖ (а), з чотирьох ФОЖ (б) й імовірнісні функції живучості (в)

Коефіцієнт живучості характеризується математичним сподіванням та дисперсією, при цьому при зростанні значення узагальненої умови дисперсія також зростає. Для вибору найкращої стратегії застосування засобів та способів підвищення живучості на кожному кроці їх використання необхідно виконати прогнозування стану ФОЖ системи електроживлення.

Так, штатна система електроживлення АСК на даний час має три ФОЖ. Це – ФОЖ1 – ЛЕП1 (головне джерело), ФОЖ2 – ЛЕП2 (резервне джерело 1) та ФОЖ3 – дизель-генератор (резервне джерело 2). Система має два способи локалізації відмов: I – перший;

II – другий. При цьому перший спосіб можна застосовувати для заміни з першої на третю ФОЖ, а другий – для заміни відповідно з другої на третю ФОЖ (рис. 3, а).

Запропонована комплексована з джерелом сонячної енергії система електроживлення уже буде мати чотири ФОЖ: ФОЖ1 – ЛЕП1 (головне джерело), ФОЖ2 – ЛЕП2 (резервне джерело 1), ФОЖ3 – дизель-генератор (резервне джерело 2), ФОЖ4 – сонячна установка (резервне джерело 3). При цьому перший спосіб можна застосовувати для заміни з першої на третю ФОЖ, другий – для заміни відповідно з другої на третю ФОЖ, третій – для заміни відповідно третьою на четверту ФОЖ (рис. 3, б).

Для узагальненої відмови першої кратності для будь-якої послідовності відмов ФОЖ та будь-якої стратегії заміни коефіцієнт живучості дорівнює одиниці в обох випадках. Для узагальненої відмови другої кратності в залежності від послідовності відмов та порядку заміни ФОЖ, що відмовили, коефіцієнт живучості може приймати значення 1, 2/3, 1/3 в першому випадку та 1, 3/4, 2/4, 1/4 у другому випадку. Для узагальненої відмови третьої кратності коефіцієнт живучості дорівнює нулю. Функції живучості для різної стратегії заміни наведені на рис. 3, в.

Отже, з ускладненням системи електроживлення коефіцієнт і функція живучості отримують імовірнісне значення. Априорне визначення коефіцієнтів та функції живучості системи пов'язане з повним перебором всіх можливих її станів, що є вкрай трудомістким процесом при великій кількості ФОЖ. Тому для аналізу живучості складної системи можна використовувати спосіб розчленування системи на незалежні підсистеми й виконувати аналіз живучості окремих підсистем. Для по функціям живучості окремих підсистем оцінювати живучість всієї системи у цілому.

Висновок

Систему електроживлення АСК пропонується оцінювати коефіцієнтами живучості та деградації, які більш глибоко відзеркалюють процеси, що відбуваються в умовах невизначеності. Проведено порівняльний аналіз характеристик живучості штатної системи електроживлення АСК, яка складається з трьох функціональних одиниць живучості та запропонованої, яка відповідно має чотири одиниці.

Література

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Госэнергонадзор, 2000. – 460 с.
2. Величко Ю.К. Электроснабжение аэропортов: Учебное пособие / Ю.К. Величко. – К.: КИИГА, 1996. – 132 с.
3. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. – М.: Знание, 1987. - 55с.
4. Казак В.М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті / В.М. Казак. – К.: «НАУ-друк», 2010. – 284 с.