

*Г.Й. Боднар, канд. техн. наук, доцент, О.В. Шаповалов
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМИ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

В статті розглянуто проблему надійності роботи системи внутрішнього протипожежного водопостачання. Проаналізовано причини вимкнення ліній електропередач в західному регіоні України. Розглянуто показники надійності елементів системи внутрішнього протипожежного водопостачання. Запропоновано схему активного резервування електроживлення системи. Визначені показники надійності схеми електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання від мережі і запропонованої схеми з акумуляторними батареями та проведено їх порівняння.

Ключові слова: надійність, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, електроживлення, система внутрішнього протипожежного водопостачання.

Вступ. Важливою тенденцією розвитку систем протипожежного захисту об'єктів є підвищення надійності елементів системи. В системах внутрішнього протипожежного водопостачання об'єктів основними елементами можна вважати мережу живлення і електропривод насосів – підвищувачів тиску води з асинхронними двигунами (АД) з короткозамкненим ротором, а також схему керування, яка відповідно до діючих норм, здійснює пуск і зупинку АД в трьох режимах: автоматичному, дистанційному та місцевому. В автоматичному режимі обслуговуючий персонал не бере безпосередньої участі в процесі керування роботою насосної установки, а виконує лише функцію контролю та спостереження. В режимі дистанційного керування пуск і зупинка АД насоса здійснюється черговим за допомогою органів керування, розташованих в пожежних кранкомплектах та приміщенні чергового персоналу. При місцевому керуванні елементи управління (кнопки, перемикачі) розміщують в безпосередній близькості від установки так, щоб можна було спостерігати за процесом пуску і зупинки насосної установки.

Незалежно від режиму керування елементи системи протипожежного водопостачання є елементами, задіяними в одному технологічному процесі – процесі подачі води до осередку пожежі в разі необхідності. Тому необхідно підтримувати їх у працездатному стані упродовж тривалого часу в заданому режимі, вибір якого здійснюється черговим персоналом з пульта керування за допомогою перемикача і про зміну якого інформує відповідна світлова індикація.

Надійність роботи системи внутрішнього протипожежного водопостачання значною мірою залежить від надійності мережі живлення та електропривода насоса [1,2]. Як відомо, функціонування мережі супроводжується постійною зміною її станів – з працездатного до непрацездатного, виникнення та тривалість яких пов'язане з негативним впливом випадкових факторів експлуатаційного, природного чи техногенного характеру. Це вносить свої непередбачувані корективи в енергозабезпечення об'єктів, а за необхідності при пожежах ускладнює ефективне використання системи протипожежного захисту.

Методи аналізу та способи забезпечення надійності електричних мереж, а також методи визначення характеристик надійності відновлюваних електромеханічних систем розглянуто в [1,2] Журахівським А.В., Кінашом Б.М., Щербовських С.В., Лозинським О.Ю., Марущаком Я.Ю.

Актуальність теми. За даними ПАТ «Львівобленерго» у 2012 році у Львівській області сталося 268 відключень ліній електропередач напругою 110-35 кВ. Із загальної кількості відключень 17 виникло з причин пошкодження обладнання через дефекти ізоляції та провідників. 165 випадків припинення подачі електроенергії у населені пункти сталося з причин природного походження – грози, сильний вітер та снігопади. На рис.1 наведено діаграми відключень ліній електропередач напругою 35 кВ і 110 кВ по місяцях за 2007-2012 роки в регіоні, який обслуговує ПАТ «Львівобленерго». З аналізу статистичних даних можна зробити

висновок, що більша частина порушень в електрозабезпеченні населених пунктів виникає з причин природного характеру (61,5%). Найбільша кількість вимкнень спостерігається в літній період. Передбачити та вплинути на це не можливо. Вимкнення ліній електропередач має випадковий характер. Тому для їх опису функціонування використовують ймовірнісні характеристики надійності елементів.

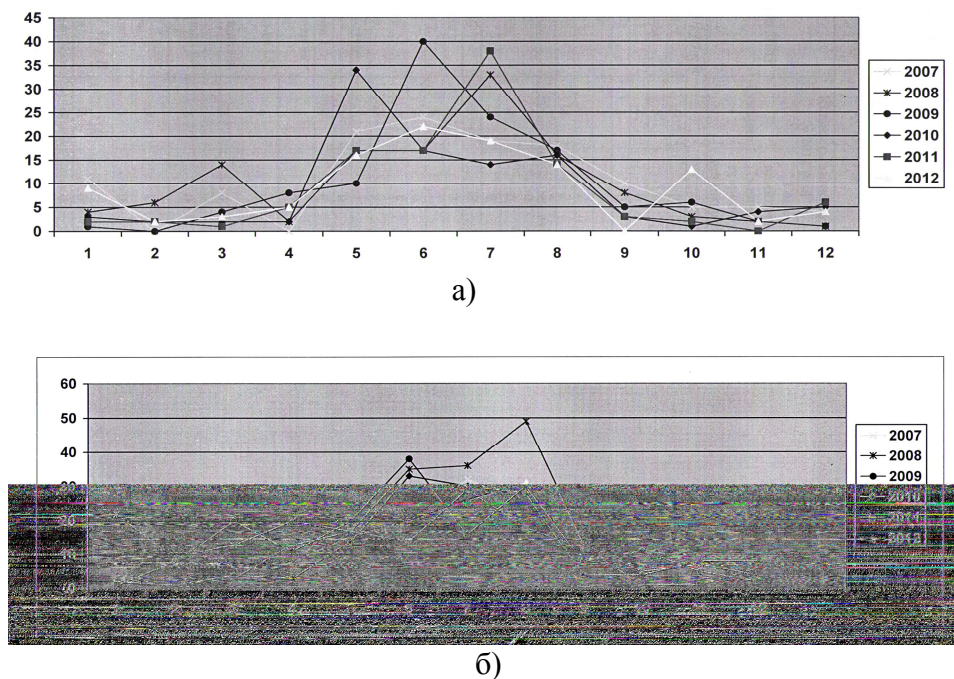


Рис.1. Кількість вимкнень ліній електропередач за 2007-2012 р.р.:
а) лінії 35 кВ; б) лінії 110 кВ

Виклад основного матеріалу. Надійність будь-якого об'єкта чи елемента – це властивість зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризує його здатність виконувати необхідні функції при заданих режимах та умовах застосування при встановлених правилах технічного обслуговування [1,2].

Одним з основних показників надійності є ймовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом заданого часу, тобто що час T безвідмовної роботи елемента чи системи буде більшим від заданого часу t [2].

$$P(t) = P\{T \geq t\}. \quad (1)$$

Ймовірність відмови $Q(t)$ – це ймовірність того, що час T безвідмовної роботи елемента чи системи буде меншим від заданого часу t

$$Q(t) = P\{T < t\}. \quad (2)$$

Для порівняльного аналізу надійності декількох об'єктів одночасно використовують коефіцієнт збільшення ймовірності безвідмовної роботи, або відповідно коефіцієнт зменшення ймовірності відмов.

$$S_p = \frac{P_1(t_i)}{P_2(t_i)}, \quad S_q = \frac{Q_1(t_i)}{Q_2(t_i)}. \quad (3)$$

Для оцінки надійності технічних пристроїв доволі часто використовують середній час напрацювання до відмови T . При експоненціальному законі розподілу, що використовується при математичному моделюванні надійності електромеханічних систем, у випадку коли інтенсивність відмов $\lambda(t) = \lambda$, ймовірність безвідмовної роботи описується виразом

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (4)$$

а середній час напрацювання до відмови обчислюється за формулою

$$T = \frac{1}{\lambda}. \quad (5)$$

З точки зору надійності, елементи системи внутрішнього протипожежного водопостачання перебувають в логічному послідовному з'єднанні, оскільки відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи загалом. Логічну схему з'єднань елементів системи наведено на рис. 2.



Рис. 2. Логічна схема з'єднань елементів системи внутрішнього протипожежного водопостачання

На схемі застосовано такі позначення: мережа – сукупність ліній електропередач, понижувальних трансформаторів, кабелів; система керування – релейно-контакторна схема керування АД; АД – асинхронний двигун; Н – водяний насос.

Для системи внутрішнього протипожежного водопостачання ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (6)$$

де n – кількість елементів системи, $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента системи. При логічному послідовному з'єднанні елементів з інтенсивністю відмов λ_i інтенсивність відмов системи визначається за формулою [2]

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (7)$$

У випадку схеми (рис.2) інтенсивність відмов електроживлення АД дорівнює сумі інтенсивностей відмов мережі та інтенсивності відмов релейно-контакторної схеми керування (рис. 3).

Для релейно-контакторної схеми керування АД логічна схема з'єднань має такий вигляд.

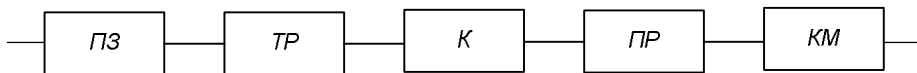


Рис. 3. Логічна схема релейно-контакторної системи керування АД

На схемі позначено: ПЗ – плавкий запобіжник; ТР – теплове реле; К – контактор; ПР – перемикач ручний; КМ – кнопка механічна. У принциповій схемі керування АД використовується два ТР і дві КМ, тому інтенсивність відмов цих елементів подвоюється і для системи керування АД буде становити [2,5,6]

$$\lambda_{ск} = \lambda_{пз} + (2 \cdot \lambda_{тр}) + \lambda_k + \lambda_{пр} + (2 \cdot \lambda_{км}) = 0,5 + (2 \cdot 0,3) + 0,25 + 0,058 + (2 \cdot 0,16) = 1,728 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Для мережі логічна схема з'єднань елементів має вигляд (рис.4). На схемі позначено: ЛЕП – лінії електропередач ($\lambda_{лп} = 1,46 \cdot 10^{-6}$), ПТ – понижувальний трансформатор ($\lambda_{пт} = 0,035 \cdot 10^{-6}$), КП – комутаційні пристрої (роз'єднувачі) ($\lambda_{кп} = 0,03 \cdot 10^{-6}$), КБ – кабельна лінія ($\lambda_{кб} = 7,5 \cdot 10^{-6}$) [1, 2, 5, 7].

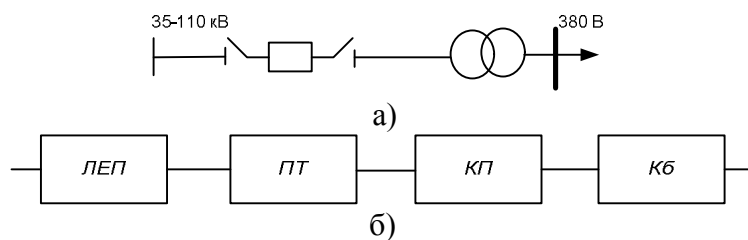


Рис. 4. Схеми електроживлення: а) принципова; б) логічна

Інтенсивність відмови мережі становитиме:

$$\lambda_{\text{м}} = \lambda_{\text{ЛЕП}} + \lambda_{\text{ПТ}} + \lambda_{\text{КП}} + \lambda_{\text{КБ}} = 1,46 + 0,035 + 0,03 + 7,5 = 9,025 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

У нашому випадку надійність мережі не враховує надійності генеруючих станцій. Генеруючі станції вважаються абсолютно надійними [1].

Підставивши отримані значення інтенсивностей відмов мережі та релейно-контакторної системи керування АД, отримаємо значення інтенсивності відмов електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання

$$\lambda_{\text{ос}} = (9,025 + 1,728) 10^{-6} = 10,753 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Для підвищення надійності будь-яких технічних пристроїв чи систем застосовують багато заходів, які можна поділити на чотири групи [2,3]: системні, структурні або схемні, конструктивні і експлуатаційні.

Конструктивні методи підвищення надійності технічних засобів (ТЗ), до яких відносяться заходи щодо створення та вибору елементів, вузлів або блоків, створення сприятливих режимів роботи, є одними з основних методів забезпечення відповідного рівня надійності розроблюваних ТЗ, а також тих, що вдосконалюються.

Розглядаючи цей метод забезпечення надійності ТЗ, спостерігається декілька чинників, що впливають на надійність та сприяють в досягненні поставленої мети.

В першу чергу надійність ТЗ підвищується завдяки використанню високоякісної, надійної елементної бази, чому сприяє розвиток та впровадження напівпровідникових пристроїв, інтегральних мікросхем, функціонування яких забезпечуються при менших напругах із забезпеченням пропускання більших потужностей і виділенні меншої кількості тепла.

Другим важливим чинником є забезпечення оптимальних режимів (насамперед електричних) роботи елементів. Доведено [3], що при оптимальних значеннях навантаження інтенсивність раптових відмов знаходиться в межах 0,2...0,4 і параметри цих елементів повільніше відхиляються від номінальних значень.

Одним з найефективніших способів підвищення надійності є резервування, тобто введення в схему додаткових, надлишкових елементів, які здатні дублювати роботу основних. Розглянемо схему резервування живлення АД насоса від автономного джерела з акумуляторними батареями, запропоновану в [4]. Там передбачено активне резервування з перемикачем без навантаження. У разі відсутності основного живлення електропривода насоса від мережі в автоматичному режимі здійснюється вмикання резервного – від акумуляторних батарей. Перетворення постійної напруги батарей і узгодження її за величиною з параметрами напруги живлення АД здійснює схема, виконана на двох трифазних автономних інверторах напруги і відповідно двох трифазних трансформаторах. У схемі передбачений частотний пуск асинхронного двигуна.

При експоненціальному законі розподілу наробки до відмови і з інтенсивністю відмов основної схеми електроживлення $\lambda_{\text{ос}}$ (див. рис. 2) та інтенсивністю відмов резервованої схеми $\lambda_{\text{р}}$ і перемикача з інтенсивністю відмов $\lambda_{\text{п}}$, ймовірність безвідмовної роботи електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання описується виразом [2]

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{ос}} t} - \frac{\lambda_{\text{ос}}}{\lambda_{\text{ос}} + \lambda_{\text{п}} - \lambda_{\text{р}}} e^{-\lambda_{\text{р}} t} \left(e^{-(\lambda_{\text{ос}} + \lambda_{\text{п}} - \lambda_{\text{р}}) t} - 1 \right). \quad (8)$$

У випадку використання абсолютно надійного перемикача (перемикання здійснює черговий персонал), ймовірність безвідмовної роботи має вигляд

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc}t} - \frac{\lambda_{oc}}{\lambda_{oc} - \lambda_p} (e^{-\lambda_{oc}t} - e^{-\lambda_p t}). \quad (9)$$

Логічна схема з'єднань елементів при активному резервуванні має вигляд (рис.6)

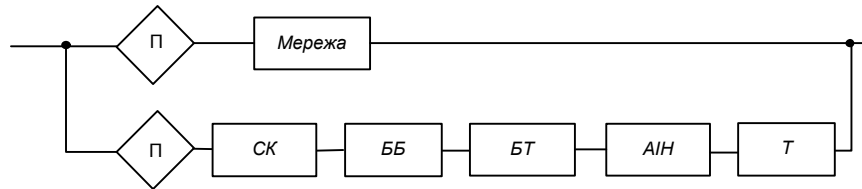


Рис. 6. Логічна схема активного резервування електроживлення

Показники інтенсивності відмов для елементів системи активного резервування (рис.6) відповідно до [2,5,6] наведені в табл.1.

Таблиця 1

| № з/п | Елементи | Кількість | Інтенсивність відмов λ , 10^{-6} 1/год |
|-------|-----------------------------|-----------|--|
| 1 | Перемикач автоматичний | 1 | 0,07 |
| 2 | Система керування | 1 | 0,023 |
| 3 | Блок батарей | 1 | 0,207 |
| 4 | Блок тиристорів | 1 | 0,2 |
| 5 | Автономний інвертор напруги | 2 | 0,128 |
| 6 | Трансформатор | 2 | 0,025 |

На підставі наведених даних обчислимо інтенсивність відмов схеми активного резервування електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання.

$$\lambda_{pc} = (0,07 + 0,023 + 0,207 + 0,2 + (2 \cdot 0,128) + (2 \cdot 0,025))10^{-6} = 0,806 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Підставляючи отримані значення інтенсивності відмов основної та схеми активного резервування у вирази (4), (8), (9), визначимо залежності зміни ймовірностей безвідмовної роботи для основної та резервованої системи у випадку перемикача П з $\lambda_n=0,07 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ і у випадку абсолютно надійного перемикача з $\lambda_n=0$:

$$P_{oc}(t) = e^{-10,753 \cdot 10^{-6} t} \quad (10)$$

$$P_{p1}(t) = e^{-10,753 \cdot 10^{-6} t} - 1,073 e^{-0,806 \cdot 10^{-6} t} (e^{-1,073 \cdot 10^{-6} t} - 1), \quad (11)$$

$$P_{p2}(t) = e^{-10,753 \cdot 10^{-6} t} - 1,081 \cdot (e^{-10,753 \cdot 10^{-6} t} - e^{-0,806 \cdot 10^{-6} t}). \quad (12)$$

Залежності ймовірностей безвідмовної роботи $P_{oc}(t)$ електроживлення системи (рис.2) і резервованої системи (див. рис.6) $P_{p1}(t)$, $P_{p2}(t)$ наведені на рис. 7.

Час напрацювання до відмови основної системи T_{oc} становить:

$$T_{oc} = 1/\lambda_{oc} = 92997 \text{ год.}$$

Підставляючи одержане значення часу в формулу (3), визначимо коефіцієнти збільшення ймовірності безвідмовної роботи резервованої системи S_p з перемикачем ($\lambda_n=0,07 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$)

$$S_{p1} = \frac{P_{p1}}{P_{oc}} = 2,639.$$

У випадку абсолютно надійного перемикача ($\lambda_n=0$) маємо

$$S_2 = \frac{P_{p2}}{P_{oc}} = 2,644.$$

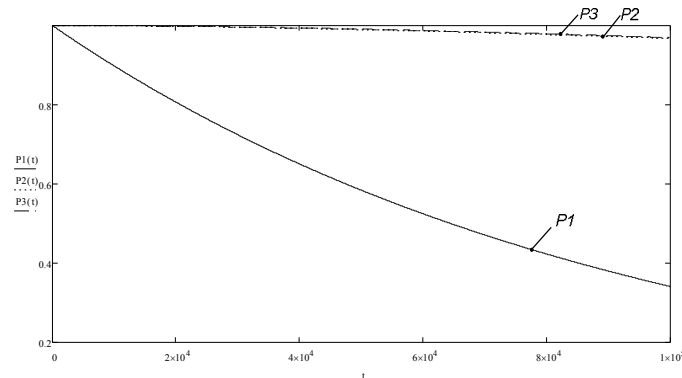


Рис. 7. Залежність ймовірності безвідмовної роботи систем електроживлення: P1 – основної (P_{oc}), P2 – резервованої системи з перемикачем ($\lambda=10 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$), P3 – резервованої системи з абсолютно надійним перемикачем

Висновки. Запропоновано розв’язок актуальної науково-практичної задачі підвищення рівня надійності електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання.

1. З проведеного аналізу функціонування ліній електропередач випливає, що найбільша кількість вимкнень ліній відбувається з причини природного характеру (65%) і припадає на у сезон підвищеної активності гроз і буревіїв в період відпусток.

2. Запропоновано використовувати ймовірнісні методи розрахунку функціонування резервованої системи живлення внутрішнього протипожежного водопроводу, враховуючи випадковий характер відключення ліній електропередач.

3. Встановлено, що введення в схему електроживлення активного резерву з автономним джерелом (акумуляторні батареї) підвищує надійність системи внутрішнього протипожежного водопостачання більш ніж у 2,5 раза.

4. Показано, що використання у схемі автоматичного перемикача введення резерву практично не впливає на рівень надійності електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання.

Література:

1. Гук Ю.Б. Основы надежности энергоэлектрических установок / Ю.Б.Гук. – Л.: Высш. шк., 1976. – 236 с.

2. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем.– 3-е изд / Г.В.Дружинин. – М.:Энергия, 1977. – 536 с.

3. Щербовських С.В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності відновлюваних багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження / С.В.Щербовських. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 296 с.

4. Боднар Г.Й., Шаповалов О.В. Розробка автономного джерела живлення для протипожежних систем внутрішнього водопостачання / Збірник наукових праць «Пожежна безпека», №20. – 2012. – с.180-186.

5. Надежность электрорадиоизделий 2006: Справочник –www.kazus.ru/attachment.php?attachmentid=9706&d.

6. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С.Рокотяна, И.М.Шапиро. – М.:Энергоатомиздат, 1985. – 352с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В статье рассмотрена проблема надежности работы системы внутреннего противопожарного водоснабжения. Проанализированы причины отключения линий электропередач в западном регионе Украины. Рассмотрены показатели надежности элементов системы внутреннего противопожарного водоснабжения. Предложена схема активного резервирования электропитания системы. Определены показатели надежности схемы электропитания системы внутреннего противопожарного водоснабжения от сети и предложенной схемы с аккумуляторными батареями и проведено их сравнение.

Ключевые слова: надежность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, электропитания, система внутреннего противопожарного водоснабжения.

G.I. Bodnar, O.V. Shapovalov

DETERMINATION OF RELIABILITY INDICES OF INTERNAL POWER SUPPLY FIRE

This paper considers the problem of reliability of internal fire water. The reasons off the power lines in the western region of Ukraine. We consider the reliability of the internal elements of fire water. The scheme of the active backup power system. Indices of reliability of power supply circuits of internal fire water mains and the proposed scheme with batteries and conducted their comparison.

Key words: reliability, the probability of failure-free operation, failure rate, power, internal fire water.

