

*О.В. Шаповалов, канд. техн. наук, І.П. Кравець, канд. техн. наук, доцент,
А.П. Кушнір, канд. техн. наук, доцент
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ПІДВИШЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

В статті розглянуто проблему надійності роботи системи внутрішнього протипожежного водопостачання та шляхи її вирішення. Проаналізовано можливі причини несправності ліній електропередач. Розглянуто показники надійності елементів типових системи внутрішнього протипожежного водопостачання. Запропоновано схему активного резервування електроживлення системи за наявності генеруючих установок з двигунами внутрішнього згорання. Визначені показники надійності електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання від мережі загального користування і запропонованої схеми живлення з генеруючими установками та акумуляторними батареями, проведено порівняння показників вказаних схем живлення.

Ключові слова: надійність, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, генераторна установка, електроживлення, внутрішнє протипожежне водопостачання.

О.В. Шаповалов, І.П. Кравець, А.П. Кушнір

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВНУТРЕННЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В статье рассмотрена проблема надежности работы системы внутреннего противопожарного водоснабжения и пути ее решения. Проанализированы возможные причины неисправности линий электропередач. Рассмотрены показатели надежности элементов типовых системы внутреннего противопожарного водоснабжения. Предложена схема активного резервирования электропитания системы при наличии генерирующих установок с двигателями внутреннего сгорания. Определены показатели надежности электропитания системы внутреннего противопожарного водоснабжения от сети общего пользования и предложенной схемы питания с генерирующими установками и аккумуляторными батареями, проведено сравнение показателей указанных схем питания.

Ключевые слова: надежность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, генераторная установка, электропитание, внутреннее противопожарное водоснабжение.

O. V. Shapovalov, I. P. Kravets, A. P. Kushnir

RELIABILIZATION OF THE INTERNAL FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY SYSTEM

The article deals with the problem of the reliability of the internal fire water supply system and the ways of its solution. The possible reasons for failure of power lines have been analyzed. The indicators of reliability of typical elements of internal fire-fighting water supply system have been determined. A scheme for the active backup power supply system with the use of generator sets with internal combustion engines has been proposed. The reliability indicators for electric power supply of internal fire-fighting water supply system from public network and from active backup power supply system were calculated. The comparison of attained results has been done.

Key words: reliability, probability of no failure, intensity of failures, generator set, power supply system of internal fire-fighting water supply.

Вступ. Для виконання першочергових вимог Конституції України та Кодексу цивільного захисту необхідно підвищувати надійність елементів систем протипожежного захисту. В системах внутрішнього протипожежного водопостачання будь-яких об'єктів до основних елементів можна віднести мережу електричного живлення і насоси-підвищувачі тиску води з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором (АД), а також схему керування, яка відповідно до діючих нормативних документів здійснює пуск і зупинку АД в трьох режимах: автоматичному, дистанційному та місцевому. Режими пуску поділяються за способами включення АД. В автоматичному режимі пуск насоса з електроприводом відбувається автоматично по команді від системи пожежної сигналізації або протидимного захисту без участі людини. У інших двох режимах пуск насоса з електроприводом відбувається примусово людиною, до спрацювання пожежної автоматики, за допомогою спеціально розміщених пристроїв.

Незалежно від режиму керування елементи системи протипожежного водопостачання є елементами, які беруть участь в одному технологічному процесі – процесі подачі води до осередку пожежі в разі необхідності.

Ефективність роботи системи внутрішнього протипожежного водопостачання залежить від надійності мережі електричного живлення та електропривода насоса [1, 2]. На жаль, функціонування мережі супроводжується постійною зміною її станів надійності – з працездатного до непрацездатного, причини виникнення та тривалість яких пов'язані із впливом факторів експлуатаційного, природного чи техногенного характеру. Виникнення вищевказаних факторів вносить свої негативні корективи в енергозабезпечення об'єктів, а в разі потреби (при надзвичайних ситуаціях) перешкоджає використанню систем протипожежного захисту.

Методи аналізу та способи забезпечення надійності електричних мереж, а також методи визначення характеристик надійності відновлюваних електромеханічних систем розглянуто в [1,2].

Актуальність теми. Аналізуючи дані ПАТ «Львівобленерго» за 2012 рік було встановлено, що у Львівській області виникло 268 відключень ліній електропередач напругою 110-35 кВ. З загальної кількості відключень 17 виникло з причин пошкодження обладнання, до яких відносяться дефекти ізоляції та провідників. 165 припинень подачі електроенергії у населені пункти виникло з причин природного походження – грози, сильний вітер та снігопади. Проведеним аналізом статистичних даних було встановлено, що вимкнення ліній електропередач має випадковий характер. Тому для їх опису функціонування використовують ймовірнісні характеристики надійності елементів.

На рисунку 1 зображено діаграми кількісних значень відключень ліній електропередач різної потужності за 2007-2012 р.р.

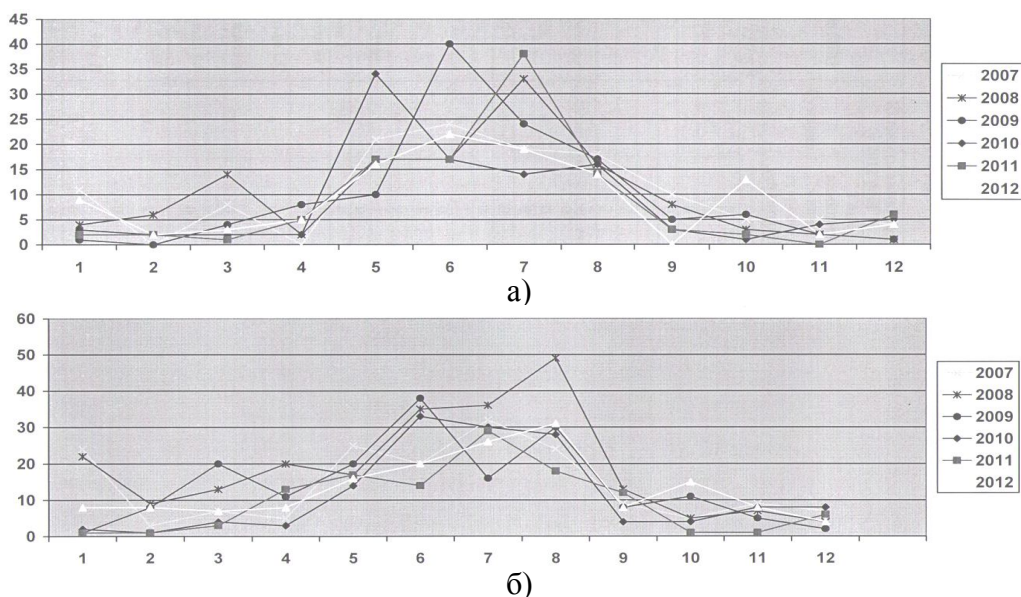


Рисунок 1 – Кількість вимкнень ліній елетропередач за 2007-2012 р.
а) лінії 35 кВ; б) лінії 110 кВ

Виклад основного матеріалу. Надійність об'єкта (системи або елемента системи) – 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].

До показників надійності відносяться показники її властивостей – безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збереженості. Одним з основних показників безвідмовності є ймовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом заданого часу, тобто що час T безвідмовної роботи системи чи елемента 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 порівняння надійності декількох об'єктів в один і той самий час 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 оцінювання надійності технічних пристроїв часто використовують такий показник, як 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 визначається за формулою

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

З точки зору надійності об'єкти (елементи) системи внутрішнього протипожежного водопостачання перебувають в логічному послідовному з'єднанні, оскільки відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи загалом. Логічна схема з'єднань елементів системи наведена на рис.2.

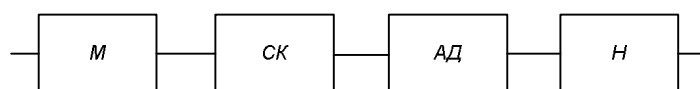


Рисунок 2 – Логічна схема з'єднань елементів системи внутрішнього протипожежного водопостачання

У схемі прийнято такі позначення: М – мережа, сукупність ліній електропередач, знижувальних трансформаторів, кабелів; СК – система керування, релейно-контакторна схема керування АД; АД – асинхронний двигун; Н – водяний насос.

Для внутрішнього протипожежного водопостачання будь-якого об'єкта 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 логічного послідовного з'єднання елементів системи (див. рис. 2) інтенсивність відмов мережі електроживлення АД дорівнює сумі інтенсивностей відмов мережі та інтенсивності відмов релейно-контакторної схеми керування.

$$\lambda_{oc} = \lambda_m + \lambda_{ck} \quad (8)$$

Для релейно-контакторної схеми керування АД логічна схема з'єднань має такий вигляд (рис. 3).

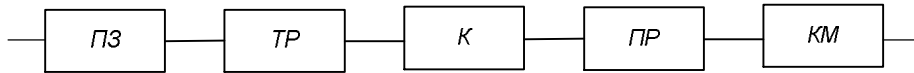


Рисунок 3 – Логічна схема релейно-контакторної системи керування АД

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 два КМ, тому інтенсивність відмов цих елементів подвоюється і для системи керування АД буде становити [2, 5, 6]

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

Для мережі логічна схема з'єднань елементів має вигляд (рис.4). На схемі позначено: ЛЕП – лінії електропередач ($\lambda_{леп} = 1,46 \cdot 10^{-6}$), ПТ – знижувальний 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].

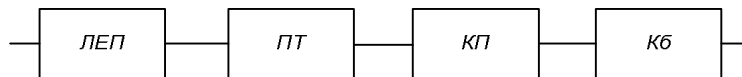


Рисунок 4 – Логічна схема електроживлення

Інтенсивність відмови мережі становитиме:

$$\lambda_m = \lambda_{леп} + \lambda_{пт} + \lambda_{кп} + \lambda_{кб} = (1,46 + 0,035 + 0,03 + 7,5) \cdot 10^{-6} = 9,025 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Надійність мережі не враховує надійність генеруючих станцій. Генеруючі станції вважаються абсолютно надійними [1].

Підставивши отримані значення інтенсивностей відмов мережі (λ_m) та релейно-контакторної системи керування АД (λ_{ck}) у (8) отримаємо значення інтенсивності відмов електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання

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

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.

Одним з найефективніших способів підвищення надійності функціонування об'єкта (системи або елемента системи) є резервування, тобто введення в схему додаткових елементів, які здатні дублювати роботу основних елементів.

Найбільш поширеним резервним джерелом електричної енергії є генераторні установки з двигуном внутрішнього згорання. Основними недоліками, які не можуть зробити використання таких установок універсальними є те, що при використанні генераторних установок для резервування електроживлення при від'ємних температурах їх неможливо навантажити у момент запуску. Для них потрібен час для прогрівання, про що говорить виробник установок. Цей час може становити від 3 до 10 хвилин залежно від температури навколишнього середовища та потужності двигуна.

З метою усунення часу простою внутрішнього протипожежного водопостачання, з моменту подачі команди на включення до створення у водогоні розрахункового тиску, пов'язану з технічними особливостями експлуатування генеруючих установок пропонуємо схему резервного живлення приводного двигуна водяного насоса підвищувача тиску води внутрішнього протипожежного водопостачання, яка передбачає логічне паралельне включення акумуляторних батарей з автономними інверторами напруги та підвищувальними трансформаторами [4]. У разі відсутності основного електроживлення електропривода насоса від мережі в автоматичному режимі відбувається включення резервного джерела від акумуляторних батарей на час, необхідний для прогрівання двигуна внутрішнього згорання генеруючої установки. Після прогрівання двигуна і приведення його параметрів до експлуатаційних вимог виробника, електроживлення автоматично перемикається на генеруючу установку, яка живить асинхронний двигун протягом розрахункового часу. Роботу генеруючої установки понад розрахунковий час можна забезпечити шляхом використання автоматичних систем дозаправки.

Ймовірність безвідмовної роботи електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання описується виразом [2]

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc}t} - \frac{\lambda_{oc}}{\lambda_{oc} + \lambda_n - \lambda_p} e^{-\lambda_p t} \left(e^{-(\lambda_{oc} + \lambda_n - \lambda_p)t} - 1 \right). \quad (9)$$

де λ_{oc} – інтенсивність відмов основної схеми електроживлення, λ_p – інтенсивністю відмов резервованої схеми.

Логічна схема з'єднань елементів при активному резервуванні має вигляд (рис. 5)

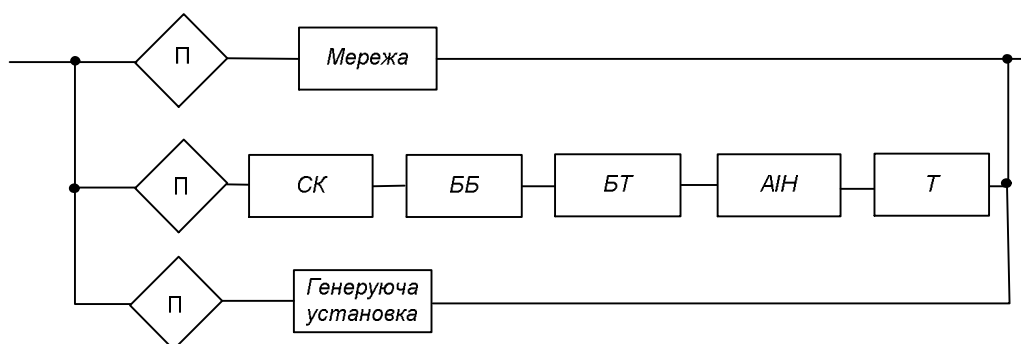


Рисунок 5 – Логічна схема активного резервування електроживлення

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

Таблиця 1

№ п/п	Елементи	Інтенсивність відмов $\lambda, 10^{-6}/\text{год}^{-1}$
1	Перемикач автоматичний	0,07
2	Система керування	0,023
3	Блок батарей	0,207
4	Блок тиристорів	0,2
5	Автономний інвертор напруги	0,128
6	Трансформатор	0,025
7	Генераторна установка	0,806

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

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

Підставляючи отримані значення інтенсивностей 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 $\lambda_n=0,07 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

$$P1(t) := e^{-10.753 \cdot 10^{-6} t}$$

$$P2(t) := e^{-10.753 \cdot 10^{-6} t} \cdot \left[\frac{10^{-6}}{10.753 \cdot 10^{-6} + 0.07 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6}} \right] \cdot e^{-666.7 \cdot 10^{-6} \cdot t} \cdot \left[e^{-\left(10.753 \cdot 10^{-6} + 0.07 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6}\right) \cdot t} - 1 \right]$$

$$P3(t) := e^{-10.753 \cdot 10^{-6} t} \cdot \left[\frac{10^{-6}}{10.753 \cdot 10^{-6} + 0.07 \cdot 10^{-6} \cdot 2 - 10 \cdot 10^{-6} - 0.806 \cdot 10^{-6}} \right] \cdot e^{-666.7 \cdot 10^{-6} - 0.806 \cdot 10^{-6} \cdot t} \cdot \left[e^{-\left(10.753 \cdot 10^{-6} + 0.07 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6} - 0.806 \cdot 10^{-6}\right) \cdot t} - 1 \right]$$

Залежності ймовірностей безвідмовної роботи $P_{oc}(t)$ електроживлення системи і резервованої системи $P2(t)$, $P3(t)$ наведені на рис. 6.

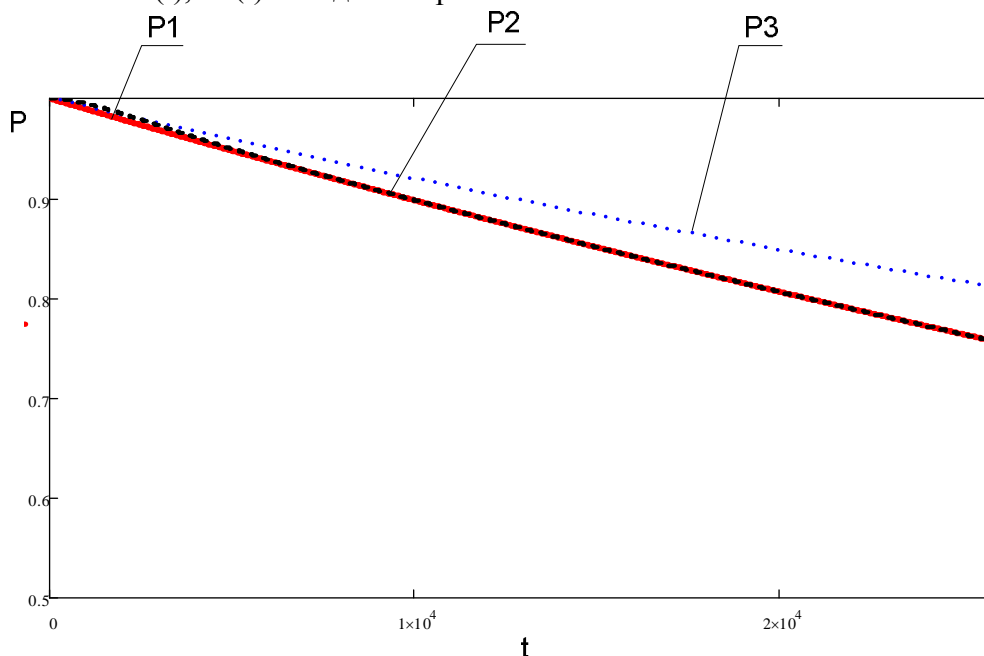


Рисунок 6 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи систем електроживлення: P1 – основної (P_{oc}), P2 – резервованої системи з перемикачем ($\lambda=0,07 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$) і генераторною установкою, P3 – резервованої системи з перемикачем ($\lambda=0,07 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$), генераторною установкою і акумуляторними батареями з інверторами напруги

Час напрацювання до відмови основної системи T_{oc} становить
 $T_{oc} = 1/\lambda_{oc} = 92997 \text{ год.}$

Підставивши отримані значення часу в формулу (3), визначаємо коефіцієнти збільшення ймовірностей безвідмовної роботи резервованої системи S_{P2} з генераторною установкою

$$S_{P2} = \frac{P2}{P1} = \frac{0.62843064944982382325}{0.6284306494496822408} = 1,$$

та S_{P3} з генераторною установкою та акумуляторними батареями і інверторами напруги.

$$S_{P3} = \frac{P3}{P1} = \frac{0.71600406080535328097}{0.6284306494496822408} = 1,14.$$

Висновки. Ймовірнісний метод розрахунку функціонування резервованої системи живлення внутрішнього протипожежного водопроводу з використанням генераторних установок та акумуляторними батареями з автономними інверторами напруги, враховуючи випадковий характер відключення ліній електропередач довів, що запропонована схема резервування збільшує надійність функціонування внутрішнього протипожежного водопостачання на об'єктах з резервуванням електроживлення від генеруючих установок з двигунами внутрішнього згорання.

Список літератури:

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 проти-пожежних 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. – 352 с.

References:

1. Huk Y.B. Fundamentals of reliability of energy electrical installations / Y.B. Huk. – Lviv, 1976. – 236s. (in Rus)
2. Druzhinin GV The reliability of automated sistem. – 3rd ed / G.V.Druzhigin. – M.: Energy, 1977. – 536s. (inUkr.)
3. Shcherbovskykh S.V. Mathematical models and methods for determining the reliability characteristics of renewable bahatoterminalnyh taking into account the drains / S.V.Scherbovskykh. – Lviv, Lviv Polytechnic National University Publishing House, 2012. -296s. (in Ukr.)
4. Bodnar G. *Development of independent power supply for fire protection of internal water supply*. Fire safety. Lviv State University of Life Safety – 20, 2012. (inUkr.)
5. The reliability of electric articles 2006: The Handbook – www.kazus.ru/attachment.php?attachmentid=9706&d...(in Rus)
6. Guide to the design of electric power systems / Ed. S.S.Rokotyana, I.M.Shapiro. – M.: Energoatomisdat, 1985. - 352s.(in Rus)

