

**ДИФУЗІЙНО-НЕМОНОТОННИЙ РОЗПОДІЛ ЧАСУ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ  
ЯК НАЙБІЛЬШ АДЕКВАТНИЙ ЗАКОН ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК**

**Петренко А.М.**, асистент кафедри електротехнічних систем  
Черкаський державний технологічний університет  
18006, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460, [petrenko1969@ukr.net](mailto:petrenko1969@ukr.net)

***Анотація.** Розкривається доцільність застосування дифузійно-немонотонного розподілу для моделювання показників надійності електричних установок як найбільш адекватного закону.*

***Ключові слова:** надійність, відмова, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов.*

**DN IS DISTRIBUTION OF TIME OF FAULTLESS WORK  
AS MOST ADEQUATE LAW FOR ELECTRIC OPTIONS**

**Petrenko A.N.**, assistant of the electrical systems department  
Cherkassy State Technological University  
18006, Cherkassy city, Shevchenko Boulevard, 460, [petrenko1969@ukr.net](mailto:petrenko1969@ukr.net)

***Abstract.** Expediency of application of DN- distribution opens up for the design of reliability of electric options indexes as most adequate law has been considered in the article.*

***Keywords:** reliability, refuse, reliability function, intensity of refuses.*

**Вступ.** 50-60 роки двадцятого століття характеризуються появою складних технічних та енергетичних систем. Актуальним стає питання забезпечення належного рівня надійності їх функціонування. Дослідження надійності спрямоване на вирішення наступних проблем:

1. Оцінка та прогнозування надійності на етапах проектування (апостеріорні методи).
2. Експериментальна оцінка показників надійності (апостеріорні методи).
3. Дії, направлені на досягнення та забезпечення належного рівня надійності шляхом оптимізації стратегії технічного обслуговування, резервування, об'ємів запасних частин та ін. (оптимізаційні задачі).

**Постановка проблеми.** В напрямках теорії та практики надійності машин та апаратури відбулося розходження значень. Варто зазначити, що існуючі методи дослідження надійності, як у нашій країні так і за кордоном, не відповідають вимогам практики і рівня технології виробництва, оскільки в існуючій технології дослідження різко відрізняються прогнозовані оцінки та реальні значення показників надійності.

Найважливіші задачі надійності електричних установок – закономірності виникнення відмов і оцінка кількісних показників надійності. До теперішнього часу в теорії та практиці надійності найбільший розвиток отримав напрям, який базувався лише на ймовірнісних концепціях (теорії ймовірності).

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Строго ймовірнісні концепції надійності були визнані недостатніми на початку розвитку надійності як науки. Так академік Б.В. Гніденко в передмові до праці [1] відзначив, що підвищенню можливостей теорії та практики надійності сприяє включення до неї фізичних уявлень про сам процес зношення. Інші дослідники такі як Б.С. Соткова, Р. Хевіленд та ін.. визнали, що поєднання методів ймовірності із фізичною сутністю процесів у виробках, є найбільш правильним напрямом подальшого розвитку теорії і техніки надійності. Тому вивчення надійності виробів розпочато з їх механіко-фізико-хімічних властивостей, експлуатації та зберігання [2-7].

При вирішенні задач надійності використовують відповідні теоретичні моделі надійності – функції розподілу напрацювання до відмови. Вони визначають точність отриманих оцінок. При цьому похибки від теоретичної моделі можуть мати великі значення і зводити нанівець

результати оптимізаційних задач. Кількість теоретичних моделей надійності, яка застосовувалася, не значна. Найпоширенішою є однопараметричний експоненціальний розподіл. Із двохпараметричних моделей найбільше використовують розподіл Вейбула і логарифмічно нормальний і в меншій мірі нормальний, гамма- і альфа- розподіл. Загальноприйнято застосовувати експоненціальний розподіл для вирішення задач надійності електронних виробів і систем, оскільки використання більш адекватних двохпараметричних моделей для отримання точних результатів створює складнощі математичного характеру.

Останнім часом найпопулярнішими стають ймовірно-фізичні моделі надійності [6, 7, 8-20]. Вони успішно замінюють існуючі дослідження та прогнозування надійності. Ймовірно-фізичний підхід базується на використанні законів розподілу відмов (моделей надійності), які впливають із аналізу фізичних процесів, що призводять до відмов. При цьому фізичні процеси розглядають як випадкові. Виникає зв'язок між значеннями ймовірності відмови і фізичного параметру, який викликає відмову. Так, в двохпараметричних ймовірно-фізичних моделях відмов [6] параметр масштабу співпадає із значенням середньої швидкості зміни визначального (головного) параметра, а параметр форми – із коефіцієнтом варіації цієї швидкості. Розподіл відмов (розподіл напрацювання до відмови), параметри якого мають фізичну сутність, на відміну від строго ймовірнісних розподілів (моделей) відмов (експоненціального, Вейбула, логарифмічно-нормального та ін.) прийнято називати ймовірно-фізичним розподілом (моделлю) відмов [6].

Існує декілька схем формалізації ймовірно-фізичних моделей відмов [4-7, 15]. При детальному їх аналізі розглянуто чотири схеми [6, 7, 15]: випадковий процес, якому відповідає альфа-розподіл, гауссовський процес, якому відповідає нормальний параметричний розподіл, неперервний марковський процес із монотонними реалізаціями, якому відповідає дифузійний розподіл, що назвали *DM*-розподілом, а також неперервний марковський процес із немонотонними реалізаціями, якому відповідає дифузійний розподіл, що назвали *DN*-розподілом.

На основі вирівнювання значної кількості даних відмов найрізноманітніших об'єктів [6, 7, 15] показано, що дифузійні розподіли (*DM* та *DN*) є більш гнучкими функціями, краще вирівнюючими дослідні дані порівняно з відомими двохпараметричними строго ймовірнісними моделями (Вейбула, логарифмічно нормальним, гамма-розподілом та ін.), а також порівняно з нормальним параметричним і альфа-розподілом. Завдяки конкретній фізичній інтерпретації параметрів дифузійних розподілів вдалося вирішити такі важливі задачі надійності: розрахунок надійності систем, планування контрольних і визначальних випробувань на надійність, прогнозування залишкового ресурсу (терміну експлуатації), розрахунок запасних частин, розрахунок довговічності електротехнічної апаратури та інші задачі [6, 7]. Дифузійні розподіли є вирішенням рівнянь дифузії ймовірності (рівняння Фоккера-Планка-Колмогорова). Залежно від монотонного або немонотонного характеру реалізацій фізичного процесу, що призводить до відмови, отримують різні результати. Дифузійні розподіли надійності мають велику перевагу перед строго ймовірнісними моделями в тому, що їх параметри можуть бути оцінені як на основі статистики відмов, так і на основі аналізу статистичних характеристик фізичного процесу, що призводить до відмови. Коефіцієнт варіації, як узагальнена характеристика, з достатньою для інженерної практики точністю може бути оцінена апріорі на підставі численних досліджень як процесу руйнувань (міцності, втоми, зношування), так і на підставі статистичних даних про відмови при випробуваннях і експлуатації виробів-аналогів.

**Метою** даного дослідження є використання дифузійно-немонотонного розподілу відмов як моделі відмов. Такий розподіл є досить перспективним і відносно рідкісним в наукових дослідженнях, що визначає і наукову новизну статті за станом безвідмовної роботи для електричних установок.

**Виклад основного матеріалу.** В якості функції розподілу часу між відмовами використовується дифузійно-немонотонний розподіл (*DN*-розподіл). Основні характеристики такого розподілу:

$$\text{- щільність розподілу } f(t) = \frac{\sqrt{m}}{nt\sqrt{2pt}} \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2n^2mt}\right], \quad (1)$$

- функція розподілу  $F(t) = DN(t, m, n) = \hat{O}\left(\frac{t-m}{n\sqrt{mt}}\right) + \exp[2n^{-2}] \hat{O}\left(-\frac{t+m}{n\sqrt{mt}}\right)$ , (2)

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t) = \hat{O}\left(\frac{m-t}{n\sqrt{mt}}\right) - \exp\left(\frac{2}{n^2}\right) \hat{O}\left(-\frac{m+t}{n\sqrt{mt}}\right)$ , (3)

- інтенсивність відмов  $I(t) = \frac{(nt\sqrt{2pt})^{-1} \sqrt{m} \cdot \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2n^2 mt}\right]}{\hat{O}\left(\frac{m-t}{n\sqrt{mt}}\right) - \exp\left(\frac{2}{n^2}\right) \cdot \hat{O}\left(-\frac{m+t}{n\sqrt{mt}}\right)}$ , (4)

- математичне очікування  $m(t) = m$ ;

- дисперсія  $D(t) = m^2 u^2$ ;

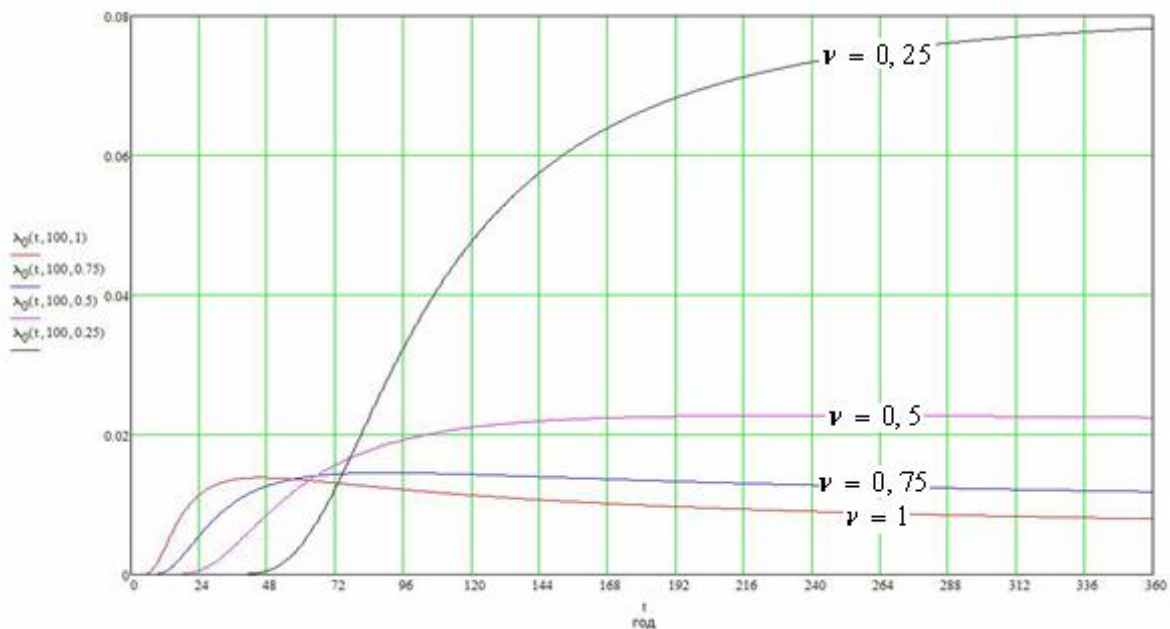
- коефіцієнт варіації  $n(t) = n$ ;

- функція Лапласа  $\hat{O}(x) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ .

У зв'язку з тим, що  $DN$  – розподіл є найкращим для електротехнічних виробів, використовуючи відповідні формули побудуємо за ними графіки:

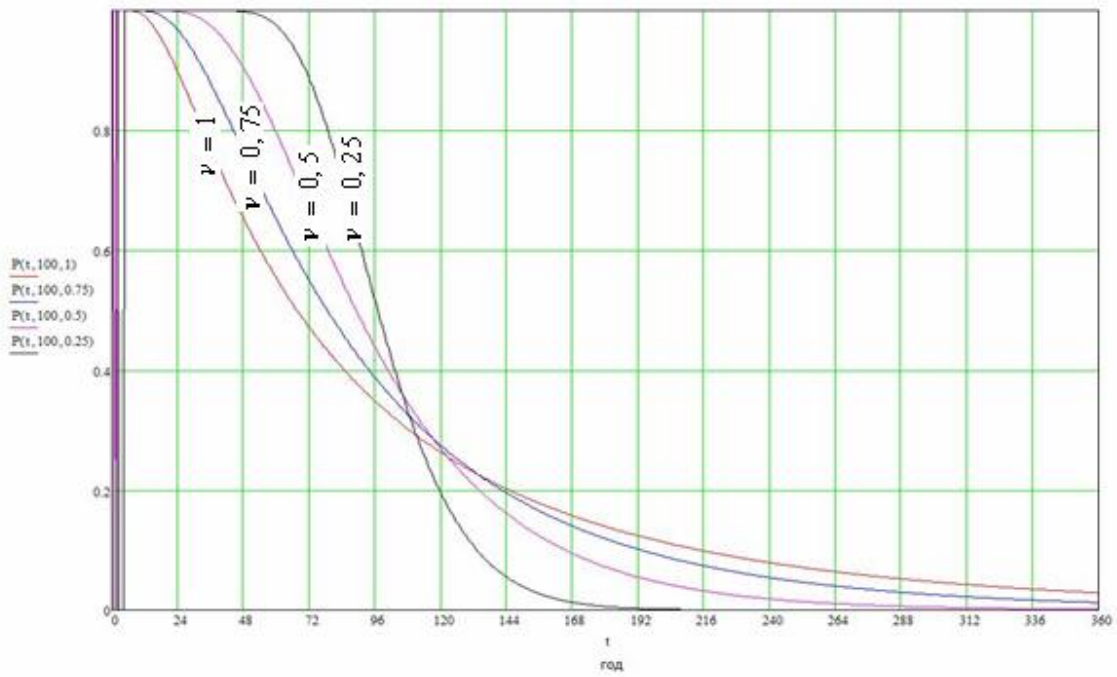
- інтенсивності зношування електротехнічних виробів:

$$I_0(t, m, n) = \frac{f(t, m, n)}{1 - F(t, m, n)} \quad I_0(t, m, n) = \frac{(nt\sqrt{2pt})^{-1} \sqrt{m} \cdot e^{-\frac{(t-m)^2}{2n^2 mt}}}{\hat{O}\left(\frac{m-t}{n\sqrt{mt}}\right) - e^{2 \cdot v^{-2}} \cdot \hat{O}\left(-\frac{m+t}{n\sqrt{mt}}\right)}$$



- ймовірності безвідмовної роботи електротехнічних виробів:

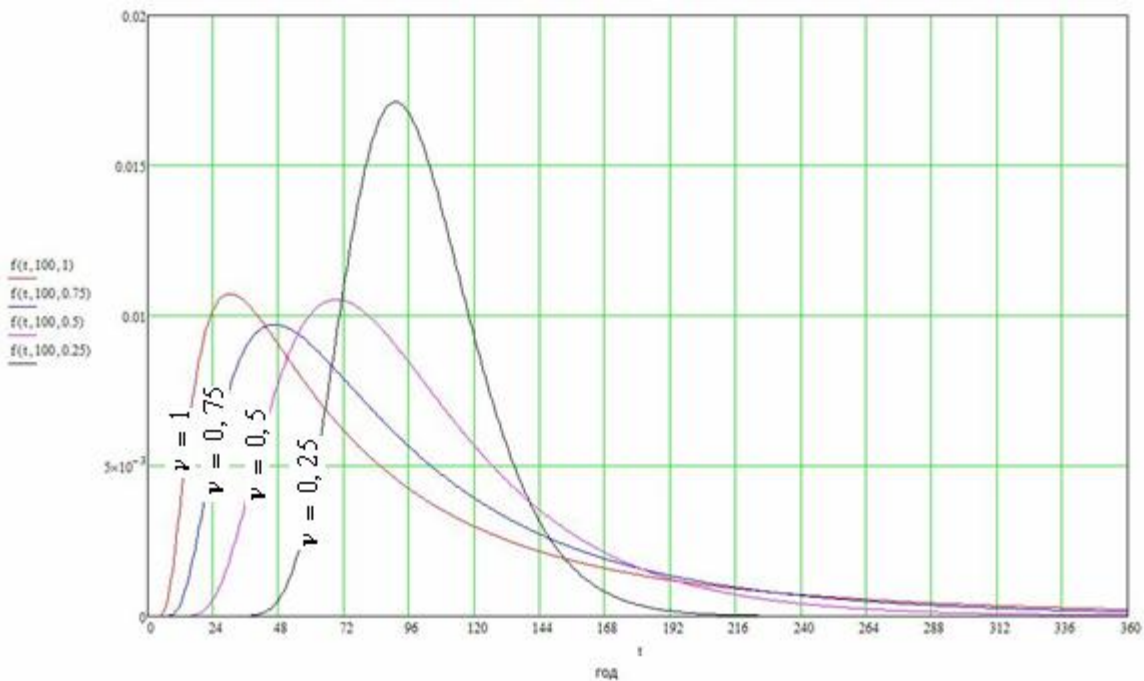
$$P(t, m, n) = \hat{O}\left(\frac{m-t}{n\sqrt{mt}}\right) - e^{2 \cdot v^{-2}} \hat{O}\left(-\frac{m+t}{n\sqrt{mt}}\right)$$



- щільності ймовірності відмов електротехнічних виробів:

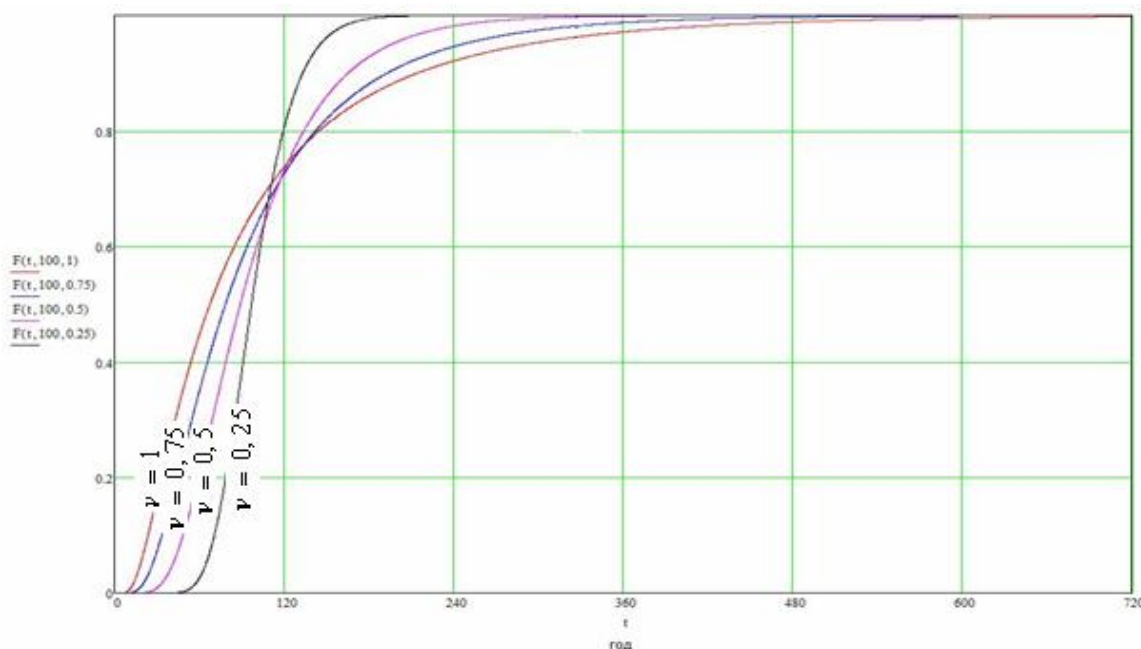
$$f(t, m, n) = \frac{d}{dt} F(t, m, n); dF(t, m, n) = \frac{\sqrt{m} \cdot e^{-\frac{(t-m)^2}{2n^2 mt}}}{nt\sqrt{2pt}}; f(t, m, n) = \frac{\sqrt{m} \cdot e^{-\frac{(t-m)^2}{2n^2 mt}}}{nt\sqrt{2pt}},$$

$t = 0,05 \dots 360$  аї ä.



- функції розподілу напрацювань (до відмови):

$$F(t, \mu, v) = \hat{O}\left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right) + e^{2v^2} \cdot \hat{O}\left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right), \quad t = 0,01 \dots 720 \text{ аї ä.}$$



Проаналізувавши графіки, приходимо до висновку, що застосування  $DN$ -розподілу найбільше відповідає фізичним уявленням про надійність електротехнічних виробів. Так використовуючи експоненціальний розподіл, дослідники приймали припущення про постійність інтенсивності відмов, а використання  $DN$ -розподілу показує, що реальне значення інтенсивності відмов за прийняті проміжки часу збільшується. Також високоєфективною характеристикою при дослідженні безвідмовної роботи електричних установок є щільність ймовірності відмов. І вона має чітко визначені межі при коефіцієнті варіації напрацювання до відмови, який співпадає з параметром форми – 0,25.

**Висновок.** Порівняльний аналіз параметрів відмов свідчить про те, що дифузійний немонотонний розподіл по ряду вимог (фізичності, адекватності, універсальності, статистичним і формальним властивостям) перевершує існуючі традиційні моделі надійності для електричних установок і є для них найбільш адекватним законом.

### Список літератури

1. Перротте А. И., Сторчак М. А. Вопросы надежности РЭА. – М.: Советское радио, 1976. – 185 с.
2. Сотсков Б. С. Физика отказов и определение интенсивности отказов // О надежности сложных технических систем. – М. : Советское радио, 1966. – С. 289–306.
3. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. – М. : Энергия, 1966. – 231 с.
4. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
5. Баронс П. П. Надежность и качество механических систем / П. П. Баронс, А. В. Звиедрис, Н. К. Салениекс. – Рига : Авотс, 1982. – 85 с.
6. Погребинский С. Б., Стрельников В. П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М. : Радио и связь, 1988. – 168 с.
7. Стрельников В. П., Федухин А. В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К. : Логос, 2002. – 486 с.
8. Стрельников В. П. Модели отказов механических объектов. – Киев, Общество «Знание УССР», 1982. – 20 с.
9. Стрельников В. П. Определение ожидаемой остаточной наработки при DM-распределении // Математичні машини і системи. – 2000. – № 1. – С. 94–100.
10. Стрельников В. П. Прогнозирование остаточного ресурса изделий электронной техники // Математичні машини і системи. – 2000. – № 2, 3. – С. 163–169.

11. Стрельников В. П. К оценке коэффициента вариации распределения отказов // Математичні машини і системи. – 2003. – № 1. – С. 142–146.
12. Стрельников В. П. Оценка остаточного ресурса на основе измерения диагностических параметров // Надежность. – 2003. – № 3 (6). – С. 43–48.
13. Стрельников В. П. Прогнозирование надежности электронных систем при отсутствии отказов с использованием дополнительной априорной информации // Математичні машини і системи. – 2003. – № 3, 4. – С. 226–231.
14. Стрельников В. П. Расчет надежности параллельных структур на основе аппарата функций случайных аргументов с использованием DN-распределения // Радиоэлектронные системы. – 2007. – № 2. – С. 21–25.
15. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 43 с.
16. ДСТУ 2862-94. Надежность техники. Методы расчета показателей надежности. Общие требования. – Введ. 01.01.96. – 39 с.
17. ДСТУ 2992-95. Изделия электронной техники. Методы расчета надежности. – Введ. 01.01.96. – 76 с.
18. ДСТУ 3004-95. Надежность техники. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – Введ. 01.01.96. – 122 с.
19. ДСТУ 3942-99. Надежность техники. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). – Ч. 2 : Диффузионное распределение. – Введ. 01.07.00. – 34 с.
20. ДСТУ 2504-94. Средства вычислительной техники. Отказоустойчивость и живучесть. Методы испытаний. – Введ. 01.07.95. – 45 с.

#### References

1. Perrote A. I., Storchak M. A. Voprosy nadezhnosti RJeA. – M. : Sovetskoe radio, 1976. – 185 p.
2. Sotskov B. S. Fizika otkazov i opredelenie intensivnosti otkazov // O nadezhnosti slozhnyh tehnikeskikh sistem. – M.: Sovetskoe radio, 1966. – P. 289–306.
3. Nevilend R. Inzhenernaja nadezhnost' i raschet na dolgovechnost' / Per. s angl. – M.: Jenergija, 1966. – 231 p.
4. Druzhinin G. V. Nadezhnost' avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem. – M. : Jenergoatomizdat, 1986. – 480 p.
5. Barons P. P. Nadezhnost' i kachestvo mehanicheskikh sistem / P .P. Barons, A. V. Zviedris, N. K. Salenieks. – Riga : Avots, 1982. – 85 p.
6. Pogrebinskij S. B., Strel'nikov V. P. Proektirovanie i nadezhnost' mnogoprocessornyh JeVM. – M. : Radio i svjaz', 1988. – 168 p.
7. Strel'nikov V. P., Feduhin A. V. Ocenka i prognozirovanie nadezhnosti jelektronnyh jelementov i sistem. – K. : Logos, 2002. – 486 p.
8. Strel'nikov V. P. Modeli otkazov mehanicheskikh obektov. – Kiev, Obshestvo «Znanie USSR», 1982. – 20 p.
9. Strel'nikov V. P. Opredelenie ozhidaemoj ostatocnoj narabotki pri DM-raspredelenii // Matematichni mashini i sistemi, 2000, № 1. – P. 94–100.
10. Strel'nikov V. P. Prognozirovanie ostatocnogo resursa izdelij jelektronnoj tehniki // Matematichni mashini i sistemi, 2000, № 2, 3. – P. 163–169.
11. Strel'nikov V. P. K ocenke kojefficienta variacii raspredelenija otkazov // Matematichni mashini i sistemi, 2003, № 1. – P. 142–146.
12. Strel'nikov V. P. Ocenka ostatocnogo resursa na osnove izmerenija diagnosticheskikh parametrov // Nadezhnost', 2003, № 3 (6). – P. 43–48.
13. Strel'nikov V. P. Prognozirovanie nadezhnosti jelektronnyh sistem pri otsutstvii otkazov s ispol'zovaniem dopolnitel'noj apriornoj informacii // Matematichni mashini i sistemi, 2003, № 3,4. – P. 226–231.

14. Strel'nikov V. P. Raschet nadezhnosti paralel'nyh struktur na osnove apparata funkcij sluchajnyh argumentov s ispol'zovaniem DN – raspredelenija // Radioelektronnye sistemy, 2007, № 2. – P. 21–25.
15. GOST 27.005-97. Nadezhnost' v tehnikе. Modeli otkazov. Osnovnye polozhenija. Vved. 01.01.99. – 43 p.
16. DSTU 2862-94. Nadezhnost' tehnikі. Metody rascheta pokazatelej nadezhnosti. Obshhie trebovanija. Vved. 01.01.96. – 39 p.
17. DSTU 2992-95. Izdelija jelektronnoj tehnikі. Metody rascheta nadezhnosti. Vved. 01.01.96. – 76 p.
18. DSTU 3004-95. Nadezhnost' tehnikі. Metody ocenki pokazatelej nadezhnosti po jeksperimental'nym dannym. Vved. 01.01.96. – 122 p.
19. DSTU 3942-99. Nadezhnost' tehnikі. Plany ispytanij dlja kontrolja srednej narabotki do otkaza (na otkaz), Ch. 2: Diffuzionnoe raspredelenie. Vved. 01.07.00. – 34 p.
20. DSTU 2504-94. Sredstva vychislitel'noj tehnikі. Otkazoustojchivost' i zhivuchest'. Metody ispytanij. Vved. 01.07.95. – 45 p.

*Стаття надійшла до редакції 15.04.2013.*

---

***Відомості про авторів:***

**Петренко А.М.**, асистент кафедри електротехнічних систем, Черкаський державний технологічний університет