

***Ćwiczenie “Formatowanie tekstu  
wielostronicowego”***

*Imię i Nazwisko*

## Spis Treści

<b>SPIS TREŚCI</b>	<b>2</b>
<b>1. WPROWADZENIE</b>	<b>3</b>
<b>2. PODSTAWOWE POJĘCIA NIEZAWODNOŚCI</b>	<b>4</b>
<b>3. MIARY NIEZAWODNOŚCI</b>	<b>5</b>
3.1. Wskaźniki charakteryzujące niezawodność nieodnawialnych obiektów	5
3.2. Wskaźniki charakteryzujące niezawodność odnawialnych obiektów	6
<b>4. STRUKTURY NIEZAWODNOŚCIOWE OBIEKTÓW</b>	<b>7</b>
4.1. Niezawodność obiektów szeregowych	7
4.2. Niezawodność obiektów równoległych	7
4.3. Niezawodność obiektów szeregowo-równoległych	8
4.4. Niezawodność obiektów równoległo-szeregowych	9
4.5. Zwiększanie niezawodności obiektów za pomocą rezerwowania	9
<b>5. BADANIE NIEZAWODNOŚCI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH</b>	<b>10</b>
5.1. Etapy prac w badaniu niezawodności obiektów technicznych	10
5.2. Metody badań niezawodności obiektów	10

## 1. Wprowadzenie

Problemy bezpieczeństwa są ściśle związane z niezawodnością systemów i dlatego stanowiły i stanowią jeszcze składową teorii niezawodności. Problemy te rozwiązywane były na ogół za pomocą metod teorii niezawodności. Niezależnie bowiem od przyczyny, zawodność części technicznej systemu i błędność działania operatora stanowi potencjalne zagrożenie bezpieczeństwa.

Przedmiotem badań i analiz niezawodności jest każde uszkodzenie, każdy błąd i zawodność operatora, natomiast przedmiotem zainteresowania problematyki bezpieczeństwa są takie uszkodzenia i takie błędy, które stwarzają sytuację szczególną, wymagającą dodatkowego wysiłku ludzi, w celu uniknięcia wypadku.

Z przedmiotu zainteresowań teorii niezawodności i teorii bezpieczeństwa widoczne jest ich pokrewieństwo, z tym, że teoria niezawodności kładzie akcent na zagadnienia uszkodzeń urządzeń technicznych i błędów operatora, natomiast teoria bezpieczeństwa na skutki uszkodzeń i błędów.

## 2. Podstawowe pojęcia niezawodności

*Niezawodność obiektu* - własność charakteryzująca zdolność urządzenia do poprawnego wykonywania założonych funkcji w określonym czasie i określonych warunkach eksploatacyjnych (użytkowania lub naprawy).

Pojęcie niezawodności jako zdolności obiektu do spełnienia wymagań najlepiej jest rozpatrywać w kontekście pojęcia: element (obiekt prosty) i system (obiekt złożony).

*Zdatność* - stan obiektu, w którym ma on zdolność wykonywania wyznaczonych mu funkcji (element w systemie) zgodnie z parametrami wyznaczonymi w dokumentacji technicznej.

Przez dokumentację techniczną będziemy rozumieli normy, warunki techniczne, dokumentację techniczno-ruchową i przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy stanowiące o bezpieczeństwie eksploatacji obiektu.

*Uszkodzenie* - zdarzenie polegające na utracie przez obiekt zdatności do pracy (w systemie).

*Niesprawność* jako zdarzenie - zdarzenie polegające na niekorzystnej zmianie wartości parametru obiektu osłabiającej jego zdolność do wypełniania zadanych funkcji zgodnie z wymaganiami (pracy systemu).

*Niesprawność* jako stan techniczny - stan obiektu, w którym nie spełnia on chociażby jednego z wymagań dokumentacji technicznej, lecz jest zdolny do wykonywania z ograniczeniem wyznaczonych mu funkcji.

*Trwałość* - właściwość obiektu polegająca na zachowaniu zdatności do stanu granicznego w ciągu określonego czasu bez wymuszonych przestojów.

*Naprawialność* - właściwość obiektu polegająca na przystosowaniu go do odnowy stanu zdatności poprzez usuwanie niesprawności oraz uszkodzeń drogą obsług technicznych i napraw bez wymiany na nowy.

### 3. Miary niezawodności

Podstawowe miary niezawodności można podzielić na dwie grupy:

- wskaźniki charakteryzujące niezawodność nieodnawialnych obiektów,
- wskaźniki charakteryzujące niezawodność odnawialnych obiektów.

#### 3.1. Wskaźniki charakteryzujące niezawodność nieodnawialnych obiektów

Najczęściej stosowanymi wskaźnikami charakteryzującymi niezawodność nieodnawialnych obiektów są:

- prawdopodobieństwo poprawnej pracy  $R(t)$ ,
- wartość oczekiwana czasu pracy do pierwszego uszkodzenia  $T_0$ ,
- intensywność uszkodzeń  $\lambda(t)$ .

Funkcja niezawodności  $R(t)$  jest prawdopodobieństwem tego, że obiekt będzie pracował bez uszkodzenia co najmniej w przedziale  $(0, t)$ .

$$R(t) = P\{T > t\} \quad (3.1)$$

gdzie:

$t$  - czas, w ciągu którego określa się prawdopodobieństwo poprawnej pracy obiektu,

$T$  - zmienna losowa oznaczająca czas pracy obiektu.

Funkcja zawodności (dystrybuanta)  $F(t)$  jest prawdopodobieństwem powstania uszkodzenia do chwili  $t$ .

$$F(t) = P\{T \leq t\} \quad (3.2)$$

Zależność między  $R(t)$  i  $F(t)$  można wyrazić następującym wzorem:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.3)$$

Często wykorzystywanym wskaźnikiem niezawodności jest funkcja intensywności uszkodzeń, nazywana też funkcją ryzyka i zwykle oznaczana symbolem  $\lambda(t)$ . Wartość tę oblicza się z zależności:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.4)$$

gdzie:

$f(t)$  - funkcja gęstości poprawnej pracy obiektu.

### 3.2. Wskaźniki charakteryzujące niezawodność odnawialnych obiektów

Najczęściej stosowanymi wskaźnikami charakteryzującymi niezawodność odnawialnych obiektów są:

- wartość oczekiwana czasu pracy między uszkodzeniami  $T_1$ ,
- wartość oczekiwana czasu odnowy (naprawy)  $T_2$ ,
- intensywność uszkodzeń  $\lambda$ ,
- intensywność napraw  $\mu$ ,
- współczynnik gotowości  $K_g$ .

Wartość oczekiwaną  $T_1$  czasu pracy między uszkodzeniami określa się z zależności:

$$T_1 = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt \quad (3.5)$$

gdzie:

$F(t)$  - funkcja rozkładu czasu pracy obiektu między uszkodzeniami.

Wartość oczekiwaną  $T_2$  czasu odnowy (naprawy) oblicza się z zależności:

$$T_2 = \int_0^{\infty} [1 - G(t)] dt \quad (3.6)$$

gdzie:

$G(t)$  - funkcja rozkładu czasu odnowy obiektu.

Zależność określającą intensywność uszkodzeń można przedstawić następująco:

$$\lambda = \frac{1}{T_1} \quad (3.7)$$

Współczynnik gotowości  $K_g$  określa się zależnością:

$$K_g = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad (3.8)$$

## 4. Struktury niezawodnościowe obiektów

Najprostszym do opisu formalnego, a zarazem najczęściej spotykanymi w praktyce obiektami są obiekty proste, tj. obiekty mające szeregową, równoległą, szeregowo-równoległą lub równoległo-szeregową strukturę niezawodności.

### 4.1. Niezawodność obiektów szeregowych

Obiektem o strukturze szerekowej (rys. 3) albo - krótko - obiektem szeregowym przyjęto nazywać każdy obiekt, który funkcjonuje poprawnie jedynie wówczas, gdy funkcjonują poprawnie wszystkie jego elementy składowe, natomiast uszkodza się z chwilą uszkodzenia się któregośkolwiek elementu.

Niezawodność  $R_S$  obiektu  $n$ -elementowego o strukturze szerekowej w przypadku, kiedy uszkodzenia jego elementów są uszkodzeniami wzajemnie niezależnymi, wyrażona jest wzorem:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i = R_1 \cdot \dots \cdot R_i \cdot \dots \cdot R_n \quad (4.1)$$

przy czym  $R_i (i=1, \dots, n)$  oznacza niezawodność  $i$ -tego elementu.

Często zamiast wyznaczać wartość  $R_S$  znacznie efektywniej jest wyznaczać wartość dystrybuanty  $F_S$  według wzoru

$$F_S = 1 - R_S = 1 - (1 - F)^n \quad (4.2)$$

przy czym  $F$  oznacza dystrybuantę elementu obiektu jednorodnego.

Obiekt o strukturze szerekowej można zdefiniować również w kategorii trwałości. Przyjmuje się wówczas, że obiektem o strukturze szerekowej jest każdy obiekt, którego trwałość  $T_S$  jest zdeterminowana trwałością najsłabszego (najmniej trwałego) elementu:

$$T_S = \min_i \{T_i\} = \min\{T_1, \dots, T_i, \dots, T_n\} \quad (4.3)$$

przy czym  $T_i$  oznacza trwałość  $i$ -tego elementu.

### 4.2. Niezawodność obiektów równoległych

Obiektem o strukturze równoległej (rys. 4) albo - krótko - obiektem równoległym przyjęto nazywać każdy obiekt, dla którego poprawnego funkcjonowania wystarczy

poprawne funkcjonowania chociażby jednego dowolnie wybranego elementu. Obiekty równoległe są obiektami strukturalnie dualnymi względem obiektów szeregowych.

Zgodnie z definicją obiektu równoległego, obiekt taki uznaje się za uszkodzony (niezdalny) jedynie wówczas, gdy ulegną uszkodzeniu wszystkie jego elementy składowe. Zatem dystrybuanta (zawodność)  $F_r$  n-elementowego obiektu równoległego w przypadku, kiedy uszkodzenia jego elementów składowych są uszkodzeniami wzajemnie niezależnymi, można wyrazić wzorem:

$$F_r = \prod_{i=1}^n F_i = F_1 \dots F_i \dots F_n \quad (4.4)$$

przy czym  $F_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) oznacza zawodność i-tego elementu.

Obiekt o strukturze równoległej można opisać również w kategoriach trwałości. Przyjmuje się wówczas, że jest to obiekt, którego trwałość  $T_r$  jest zdeterminowana trwałością najmocniejszego (najtrwalszego) elementu.

$$T_r = \max_i \{T_i\} = \max\{T_1, \dots, T_i, \dots, T_n\} \quad (4.5)$$

przy czym  $T_i$  oznacza trwałość i-tego elementu.

### 4.3. Niezawodność obiektów szeregowo-równoległych

Mając opisane obiekty szeregowo-równoległe można przystąpić do opisu i badania właściwości obiektów szeregowo-równoległych oraz równoległo-szeregowych. W tym celu potrzebne jest wprowadzenie pojęcia zespołu albo - inaczej - podsystemu rozumianego jako podzbiór pewnej liczby elementów o określonej strukturze niezawodnościowej.

Obiektem szeregowo-równoległym przyjęto nazywać każdy taki obiekt, który funkcjonuje poprawnie wówczas, gdy wszystkie jego n zespoły o równoległym połączeniu m elementów funkcjonują poprawnie (rys. 5).

Obiekt szeregowo-równoległy można również opisać w kategoriach trwałości. Przyjmuje się wówczas, że jest to taki obiekt, którego trwałość  $T_{sr}$  jest zdeterminowana trwałością  $T_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) najsłabszego zespołu (podsystemu).

$$T_{sr} = \min_j \{T_j\} = \min\{T_1, \dots, T_j, \dots, T_n\} \quad (4.6)$$



#### 4.4. Niezawodność obiektów równoległo-szeregowych

Obiekty równoległo-szeregowo są obiektami strukturalnie dualnymi względem szeregowo-równoległych.

Obiektem równoległo-szeregowym przyjęto nazywać każdy taki obiekt, który funkcjonuje poprawnie wówczas, gdy przynajmniej jeden spośród  $n$  jego zespołów (podsystemów) funkcjonuje poprawnie (rys. 6).

Niezawodność  $R_{SR}$  obiektu równoległo-szeregowego mającego  $n$  zespołów o  $m$  szeregowo połączonych elementach można zapisać.

Obiekt równoległo-szeregowy można opisać również w kategoriach trwałości. Przyjmuje się wówczas, że jest to taki obiekt, którego trwałość  $Tr_s$  jest zdeterminowana trwałością najsłabszego elementu w najtrwalszym zespole.

#### 4.5. Zwiększanie niezawodności obiektów za pomocą rezerwowania

Rezerwowanie jest jedną z podstawowych metod zwiększania niezawodności, umożliwiającą przynajmniej w zasadzie w sposób nieograniczony zwiększanie niezawodności obiektów.

Rezerwowanie polega na tym, że do elementów systemu dołącza się jeden lub kilka elementów rezerwowych, które w miarę występowania kolejnych uszkodzeń są włączane na miejsce elementu podstawowego i spełniają jego funkcje.

W zależności od tego, w jakim stanie znajdują się elementy rezerwowe do chwili włączenia ich do pracy, rezerwowanie dzieli się na kilka typów.

*Rezerwa obciążona.* Elementy rezerwowe znajdują się w takim samym stanie jak element podstawowy; ich niezawodność nie zależy od tego, w jakiej chwili zostały włączone do pracy na miejsce elementu podstawowego.

*Rezerwa ulgowa (ciepła).* Elementy rezerwowe oczekują, będąc w stanie obciążenia jałowego (ulgowego) w stosunku do obciążenia podczas pracy, do chwili włączenia ich na miejsce elementu podstawowego. W czasie oczekiwania w rezerwie mogą one ulec uszkodzeniom ale z prawdopodobieństwem mniejszym niż prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia elementu podstawowego. Oczywiście rezerwa ulgowa jest najogólniejszym rodzajem rezerwowania, ponieważ pierwsze dwa są jego szczególnymi krańcowymi przypadkami.

## **5. Badanie niezawodności obiektów technicznych**

Problematyka badania niezawodności obiektów technicznych jest bardzo obszerna i obejmuje zarówno badania teoretyczne jak i eksperymentalne. Badania teoretyczne polegają głównie na matematycznym modelowaniu zmian niezawodności obiektu w czasie, opisie procesów prowadzących do uszkodzeń, poszukiwaniu ilościowych związków, charakterystyk funkcjonowania i warunków eksploatacji z niezawodnością obiektu itp. Badania eksperymentalne obejmują natomiast obserwację przebiegu eksploatacji, gromadzenia informacji o uszkodzeniach, obróbkę danych statystycznych, wyznaczanie ocen ilościowych charakterystyk niezawodności obiektu, identyfikację przyczyn uszkodzeń itp.

### **5.1. Etapy prac w badaniu niezawodności obiektów technicznych**

W badaniach niezawodności obiektów technicznych można wyróżnić następujące etapy:

- przygotowanie badań, które obejmuje przygotowanie metodyczne, techniczne, finansowe i organizacyjne, a także szkolenie personelu, wybór egzemplarzy obiektu do badań i przydzielenie ich do założonych zakresów i warunków eksploatacji,
- zbieranie danych statystycznych, które obejmują rejestrację odpowiednich charakterystyk zdarzeń, gromadzenie danych, weryfikację wiarygodności danych, znakowanie, zabezpieczenie, przechowywanie i gromadzenie uszkodzonych elementów maszyny,
- specjalne badania wytypowanych elementów maszyn tzw. "słabych ogniw",
- przekazanie wyników badań zainteresowanym odbiorcom,
- weryfikację metodyki prowadzenia badań.

### **5.2. Metody badań niezawodności obiektów**

Wśród metod badania niezawodności obiektów można wyróżnić:

- badania prototypów,
- badania eksploatacyjne,
- badania przyspieszone i skrócone,
- symulacyjne badania niezawodności.