

Struktura niezawodnościowo-eksploatacyjna elektronicznego systemu bezpieczeństwa

Waldemar Szulc

Wydział Menedżerski i Nauk Technicznych, Wyższa Szkoła Menedżerska, 03-772 Warszawa, ul. Kawęczyńska 36

Streszczenie: W artykule przedstawiono istotne problemy niezawodnościowo-eksploatacyjne dotyczące układów elektronicznego systemu bezpieczeństwa (ESB). Zaprezentowano strukturę elektronicznego systemu bezpieczeństwa. Zawarto ogólne informacje dotyczące budowy i zasad działania ESB ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb ochrony obiektów o szczególnym charakterze. Podano także przykładowe rozwiązanie ESB spotykane w praktycznych rozwiązaniach. Omówiono wyniki przeprowadzonych badań długofalowych, które umożliwiły określenie istotnych wskaźników eksploatacyjnych i niezawodnościowych, tak ważnych dla prawidłowego funkcjonowania ESB (systemu).

Słowa kluczowe: Elektroniczny System Bezpieczeństwa, czujnik, niezawodność, sterowanie

1. Wprowadzenie

Omawiany sposób budowania struktury niezawodnościowej oraz modelowania niezawodności elektronicznego systemu bezpieczeństwa ESB wymaga wprowadzenia założeń upraszczających (takie uproszczenia wykonano). Wychodząc z koncepcji systemu ESB oraz wykorzystując własne doświadczenia w konstruowaniu podobnych systemów, zostaną przedstawione sposoby tworzenia struktury niezawodnościowej oraz wybrane modele niezawodnościowe tego systemu [8, 10]. Przyjęcie konkretnego modelu niezawodnościowego powinno być zweryfikowane badaniami eksploatacyjnymi. Tego typu badania eksploatacyjne były przez autora zrealizowane przez ponad 1 rok. Wyniki tych badań powinny pozwolić na uaktualnienie proponowanej struktury niezawodnościowej (zwiększenie lub zmniejszenie stopnia agregacji układów systemu), jak też określenie zbioru stanów niezawodnościowych systemu oraz rozkładów przejść między tymi stanami.

2. Budowa ESB do ochrony małego lub średniego obiektu

Elektroniczne systemy bezpieczeństwa [8, 4] do ochrony małych lub średnich obiektów mogą być budowane na bazie jednostki mikroprocesorowej typu INTEGRA 24 (rys. 1). Centrala ta ma

Autor korespondujący:

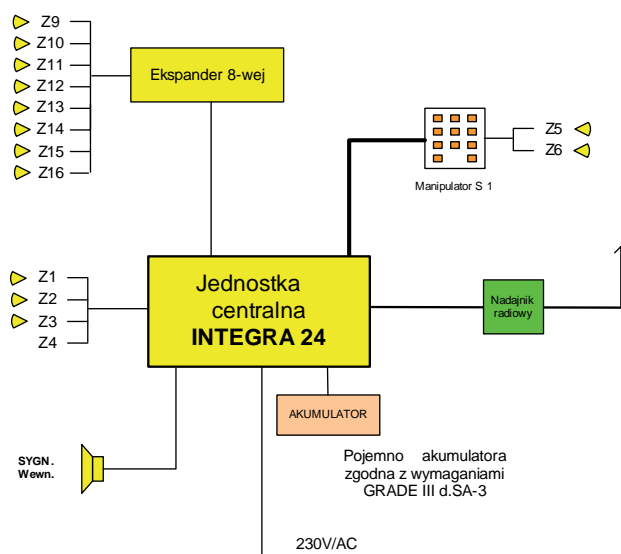
Waldemar Szulc, waldemar.szulc@mac.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 15.12.2014 r., przyjęty do druku 19.01.2015 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Uproszczony schemat rozproszonego elektronicznego systemu

Fig. 1. Distributed electronic security system – simplified system

maksymalnie 24 wejścia (linie dozоровe wejściowe). Na płycie głównej usytuowano 4 linie wejściowe, do których dołączono 3 czujki (Z1–Z3). Linia dozоровa Z4 została przewidziana dla dołączenia radiowego systemu napadowego. Pozostałe linie wejściowe (dozоровe) dostępne są w ekspanderach lub w manipulatorach LCD (każdy manipulator rozszerza liczbę wejść o kolejne 2). Dla uproszczenia analizy rzeczywistego układu (ESB) pozostawiono tylko jeden manipulator (S1). Pozostałe manipulatory (S2 i S3) zostały usunięte, by nie utrudniały analizy eksploatacyjno-niezawodnościową. Linie wejściowe w manipulatorze (S1) to (Z5 i Z6). Taka konfiguracja ESB ułatwia prowadzenie okablowania, np. montując manipulator przy drzwiach wejściowych, można bezpośrednio do niego podłączyć 2 czujki (podobnie w innych

manipulatorach), które zabezpieczają wejście do obiektu. Jeśli wszystkie przewody od czujek biegną do centrali alarmowej, to wykorzystując 2 żyły można przedłużyć wejścia klawiaturowe w okolicy centrali i tam podłączyć czujki. Do prawidłowej pracy ESB wymagany jest co najmniej jeden manipulator (S1 pozostawiony na rys. 1) z wyświetlaczem LCD. Maksymalna liczba manipulatorów LCD to 4 szt. Dla uproszczenia przedstawiony ESB zawiera jeden manipulator, co ułatwia zbudować model ESB do badań eksploatacyjno-niezawodnościowych. Jako dodatkowe sterowniki ESB można zastosować klawiatury strefowe (do sterowania tylko jedną strefą wskazaną na etapie programowania systemu). Omawiany system ESB może zostać podzielony na 4 strefy (wg potrzeb bezpieczeństwa obiektu). Jest to funkcja bardzo przydatna do realizowania czuwania częściowego (albo opuszczając obiekt, można włączyć czuwanie całości; w przypadku pozostawiania na noc w chronionym obiekcie, uruchamia się czuwanie z pominięciem części obiektu). Dzięki konfiguracji 4 stref, można jedną centralą zabezpieczyć kilka sąsiadujących ze sobą obiektów. Przy dzieleniu systemu na strefy istnieje możliwość przydzielenia dla każdej strefy inne kody użytkowników i w ten sposób ograniczyć możliwość sterowania daną strefą przez osoby do tego niepowołane. Ze względu na konfigurację chronionego obiektu, przewidziano 1 ekspander o 8 wejściach dołączony do centrali magistralą transmisyjną (ESB może być w prosty sposób rozbudowany o dodatkowe ekspandery 8 wejściowe. Jest to 4-drutowa linia, która może zawierać: 2 druty do transmisji danych i 2 druty zasilające ekspander, do którego za pośrednictwem 8 linii dozоровych (wejściowych) dołączono 8 czujek (Z9–Z16).

Komunikacja jest realizowana za pomocą zaawansowanego dialera telekomunikacyjnego przystosowanego do naziemnej analogowej linii telefonicznej. Może on wysyłać raporty do dwóch niezależnych stacji monitorowania. Jednocześnie możliwe jest również powiadomianie telefoniczne na maksymalnie zaprogramowane 4 numery telefoniczne. Do powiadomiania telefonicznego może zostać zainstalowany syntezer mowy. Może to być podstawowa wersja, tj. syntezer SM-2, który odtwarza jedną informację słowną (wcześniej nagraną) lub zalecany ekspander syntezerów mowy typu CA-64SM, który umożliwia zapis 16 komunikatów słownych i ich przydział do dowolnych zdarzeń w systemie. Dzięki modułowi CA-64SM można uzyskać precyzyjne informacje o alarmie (np. alarm włamania w obiekcie, który jest chroniony elektronicznie). Możliwe jest wysyłanie informacji o dowolnych innych ważnych zdarzeniach w systemie, np. o awarii zasilania sieciowego 230 V lub awarii zasilania rezerwowego w postaci akumulatora. Jeśli w obiekcie nie ma naziemnej linii telefonicznej, to można zastosować moduł GSM (np. Satel GSM-LT1), dzięki któremu – oprócz wiadomości głosowych – można również odbierać wiadomości SMS. Istnieje możliwość instalacji nadajnika radiowego celem monitorowania chronionego obiektu. Do płyty głównej centrali ESB został dołączony sygnalizator akustyczny wewnętrzny. Przedstawiony system ESB (rys. 1) umożliwia budowę modelu szeregowej struktury niezawodnościowo-eksploatacyjnej i dokonanie analizy, która umożliwi określenie wskaźnika gotowości K_g . W podobny sposób dokonano analizy urządzeń zasilających ESB.

3. Struktura niezawodnościowa – eksploatacyjna ESB na bazie procesów losowych

Podczas oceny przydatności proponowanych modeli należy wziąć pod uwagę możliwość opisanego funkcjonowania systemu za pomocą procesów losowych [1–3, 8].

Proponowane modele mogą być przydatne do oceny niezawodności nie tylko systemu ESB, ale również innych systemów realizujących funkcje podobne (jak inne elektroniczne systemy

bezpieczeństwa), ale zbudowane w innych konfiguracjach. Jeżeli pewien zbiór urządzeń (obiektów) ma wykonać określone zadanie, a niezawodność można rozpatrywać dla całego zbioru lub, jeżeli w danym obiekcie można wyróżnić części, których niezawodność rozpatrywana oddzielnie ma wpływ na niezawodność obiektu, mówi się wówczas o systemie i jego elementach.

W pierwszym przypadku system tworzy zbiór urządzeń (obiektów), a jego elementami są poszczególne urządzenia (obiekty); w drugim przypadku systemem jest sam obiekt (urządzenie), zaś elementami są wyróżnione części. Jeżeli niezawodność elementów wyznacza jednoznacznie niezawodność systemu mówi się, że określona jest struktura niezawodnościowa systemu.

Strukturę niezawodnościową systemu ESB trzeba odróżnić od innych struktur tego systemu, np. od jego struktury funkcjonalnej, która określa sposób współdziałania elementów (układów) – na ogół są to inne elementy niż elementu systemu rozpatrywanego pod kątem niezawodności – przy wykonywaniu zadań nałożonych na system.

Modelem matematycznym systemu jest para uporządkowana (N, ϕ) nazwana krótko systemem, gdzie N – zbiór liczb naturalnych przyporządkowanych poszczególnym wyróżnionym elementom systemu, ϕ – funkcja określająca stan systemu w zależności od stanu jego elementów, zwana strukturą systemu.

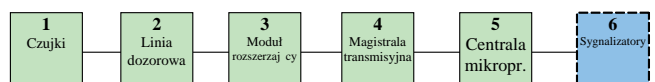
Znajomość struktury niezawodnościowej systemu jest niezbędna, m.in. do wyznaczenia jego niezawodności. Strukturę niezawodnościową systemu można przedstawić w jednej z trzech postaci:

- tablicy,
- schematu blokowego (najczęściej stosowany),
- analitycznej.

Uwzględniając schemat ESB zawierający wszystkie podstawowe bloki funkcjonalne i ich wzajemne powiązania, można przedstawić strukturę niezawodnościową systemu bezpieczeństwa. Dodając układy pomocnicze, otrzymuje się układ ESB złożony z 6 bloków (tak więc obliczenia należy wykonać dla $N = 6$):

- czujki (określone typy),
- linia dozоровa (przewodowa lub bezprzewodowa),
- moduł rozszerzający o 8 wejściach i 4 wyjściach,
- magistrala transmisyjna (RS-232 lub RS-485),
- centrala mikroprocesorowa (płyta główna),
- sygnalizatory akustyczne, optyczne, akustyczno-optyczne lub inne monitorujące urządzenie,

Otrzymana struktura systemu ESB jest strukturą szeregową z punktu widzenia niezawodności (rys. 2).



Rys. 2. Struktura niezawodnościowa – eksploatacyjna badanego ESB
Fig. 2. Reliability structure – operating the test ESS (Electronic Security System)

4. Model niezawodnościowy systemu ESB

Zmiany w czasie systemu nie zawsze mogą być opisane zmianami stanów jego elementów składowych. Prowadzi to do próby określenia stanu systemu w czasie za pomocą pewnego procesu wielowymiarowego. Ponieważ na system oddziałują zwykle czynniki losowe, więc proces ten będzie procesem stochastycznym [8–10]. Zakłada się, że proces opisujący zachowanie się systemu pozwala, aby w każdej chwili, znając stan procesu, można było jednocześnie powiedzieć czy system jest sprawny, czy też nie.

Niech opisany proces będzie oznaczony przez $\epsilon(t)$, a zbiór jego stanów symbolem E . Zbiór E rozkłada się na dwa rozłączne podzbiory:

$$E = sE_+ \cup E_-$$

Jeżeli $t \in E_+$, to system w chwili t jest sprawny, a jeżeli $t \in E_-$, to jest on w chwili t niesprawny.

Przejście procesu ze zbioru E_+ do zbioru E_- jest uszkodzeniem systemu, a odwrotne przejście z E_- do E_+ nazywa się odnową systemu.

W artykule opracowano model niezawodnościowy systemu ESB z wykorzystaniem teorii procesów semi-markowskich.

Podstawowe założenia przy konstrukcji tego modelu to:

1. System ESB jest systemem naprawialnym o szeregowej strukturze niezawodnościowej.
2. Uszkodzenie dowolnego elementu powoduje przejście systemu do stanu niezdatności, a uszkodzony element (blok funkcjonalny) poddawany jest naprawie lub wymianie.
3. Czas poprawnej pracy każdego z elementów tworzących strukturę systemu ESB jest nieujemną zmienną losową T_k opisaną rozkładem wykładniczym z parametrem

$$\lambda_k \quad (k = 1, \dots, 6). \quad (1)$$

Przyjęcie tego założenia jest podyktowane faktem, że elementy i układy systemu ESB są urządzeniami elektronicznymi.

4. Czas naprawy lub wymiany uszkodzonego k -tego elementu (bloku) jest nieujemną zmienną losową θ_k o dystrybucie wyrażonej zależnością (2):

$$G_k(t) = P\{\theta < t\} \quad (2)$$

oraz dodatniej wartości oczekiwanej, skończonej wariancji i dowolnym rozkładzie skoncentrowanym w nieujemnej przestrzeni liczb rzeczywistych.

5. Zmienne losowe T_1, T_2, \dots, T_6 oraz $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6$ są wzajemnie niezależne.
6. Przyjmuje się następujące stany niezawodnościowe:
0 – stan zdatności systemu ESB,
 k – stan naprawy (wymiany) k -tego elementu
 $k = 1, 2, \dots, 6$

Możliwe zmiany stanów przedstawiono w postaci grafu (rys. 3).

Niech $0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n \dots$ oznaczają chwile, w których następuje zmiana stanów systemu. Chwile te są chwilami uszkodzeń systemu lub chwilami, w których rozpoczyna się użytkowanie zdadnego systemu. Ponieważ zmienne losowe T_k ($k = 1, 2, \dots, 6$) mają rozkład wykładniczy, więc w związku z tzw. „brakiem pamięci” rozkładu wykładniczego chwila zakończenia wymiany lub naprawy jest jednocześnie chwilą odnowy systemu.

Niech $\{X(t) : t \geq 0\}$ będzie procesem stochastycznym o zbiorze stanów $S = \{0, 1, \dots, 6\}$. Stan systemu w chwili τ_{n+1} oraz czasu trwania stanu osiągniętego w chwili τ_n nie zależy od stanów przyjętych w chwilach $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_{n-1}$ oraz czasów ich trwania. Zatem proces $\{x(t) : t \geq 0\}$ jest procesem semi-Markowa. Jak wynika z grafu, zmiany stanów niezawodnościowych systemu ESB jądro ma postać opisaną zależnością (3):

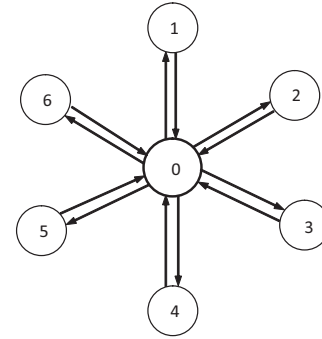
$$Q(t) = \begin{bmatrix} 0 & Q_{01}(t) & \dots & Q_{06}(t) \\ Q_{10}(t) & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{60}(t) & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Należy określić elementy $Q_{0k}(t)$, $k = 1-6$.

Zmiana stanu z 0 na k w czasie mniejszym niż t następuje tylko wtedy, gdy zachodzi zdarzenie:

$$\{T_k < t, T_1 > T_k, \dots, T_{k-1} > T_k, T_{k+1} > T_k, \dots, T_n > T_k\}$$

gdzie $k = 1, 2, \dots, n$



Rys. 3. Graf zmiany stanów niezawodnościowych systemu ESB

Fig. 3. Graf changes of the ESS system reliability

Z tego wynika równość (4):

$$Q_{0k} = P\{X(\tau_{n+1}) = k, \tau_{n+1} - \tau_n \langle X(\tau_n) = 0 \rangle = 0\} = \quad (4)$$

$$= P\{T_k \langle t, T_1 \rangle T_1, \dots, T_{k-1} \rangle T_k, T_{k+1} \rangle T_k, \dots, T_n \rangle T_k\}$$

Wykorzystując niezależność zmiennych losowych i po zmianie całki n -krotnej po obszarze D na całkę iterowaną, otrzymuje się równanie (5)

$$Q_{0k}(t) = \lambda_k \int_0^t \exp\left\{-\sum_{i=1}^n \lambda_i X_k\right\} dx_k = \quad (5)$$

$$= \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \left[1 - \exp\left\{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right\} \right]$$

przyjmując:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad i = 1-6 \quad (6)$$

otrzymujemy ostateczną zależność:

$$Q_{0k}(t) = \frac{\lambda_k}{\Lambda} (1 - e^{-\Lambda t}), \quad (7)$$

gdzie: $k = 1, 2, \dots, n$.

Zmiana stanu z k na 0 w czasie mniejszym niż t ma miejsce wtedy i tylko wtedy, gdy zachodzi zdarzenie:

$$\{Q_k < t\}.$$

Zatem:

$$Q_{k0} = P\{Q_k < t\} = G_k(t) \quad (8)$$

Jądro procesu SM, który stanowi model procesu zmian stanów niezawodnościowych systemu ESB, wyraża się macierzą (wzór 1.9):

$$Q(t) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\lambda_1}{\Lambda} (1 - e^{-\Lambda t}) & \dots & \frac{\lambda_6}{\Lambda} (1 - e^{-\Lambda t}) \\ G_1(t) & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_6(t) & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dodatkowo zakłada się, że stanem początkowym procesu jest stan zdadności, tj. stan 0:

$$P\{X(0) = 0\} = 1. \quad (10)$$

Tym sposobem skonstruowano model procesu zmian stanów niezawodnościowych. Model ten umożliwia wyznaczenie różnych (wybranych) charakterystyk niezawodnościowych systemu ESB.

a) prawdopodobieństwo poprawnej pracy systemu ESB

Prawdopodobieństwa zmian stanów określone są przez prawdopodobieństwa przejścia włożonego łańcucha Markowa w proces $\{X(t); t \geq 0\}$. Dokonując przekształceń, trzymuje się macierz prawdopodobieństw przejścia włożonego łańcucha Markowa (11):

$$P = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\lambda_1}{\Lambda} & \dots & \frac{\lambda_6}{\Lambda} \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Zmienna losowa T_0 o rozkładzie:

$$G_0(t) = P\{T_0 < t\} = P\{\tau_{n+1} - \tau_n < t / X(0) = 0\} \quad (12)$$

oznacza czas użytkowania zdadnego systemu ESB. Rozkład zmiennej losowej T_0 jest związany z elementami macierzy $Q(t)$ zależnością (13):

$$G_0(t) = \sum_{k=0}^6 Q_{0k}(t) \quad (13)$$

Z tej zależności oraz wzoru (1.7) otrzymuje się:

$$G_0(t) = 1 - e^{-\Lambda t} \quad t > 0 \quad (14)$$

Zatem prawdopodobieństwo poprawnej pracy systemu wynosi:

$$R(t) = 1 - G_0(t) = e^{-\Lambda t} \quad t > 0 \quad (15)$$

b) wartość oczekiwana czasu zdadności systemu ESB

Ponieważ $\Lambda = \sum_{k=0}^n \lambda_k$, zatem uwzględniając założenie 3, czas poprawnej pracy systemu ESB, przy tak przedstawionym modelu, ma również rozkład wykładniczy. Wartość oczekiwana zdadności wyraża się zależnością:

$$E(T_0) = \frac{1}{\Lambda} \quad (16)$$

c) stacjonarne prawdopodobieństwa przebywania systemu ESB w różnych stanach

Wykorzystując twierdzenie o rozkładzie granicznym można wyznaczyć stacjonarne prawdopodobieństwa P_j przebywania systemu ESB w wyróżnionych stanach niezawodnościowych:

$$P_j = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{X(t) = j\} \quad j \in S \quad (17)$$

Rozwiązując układ równań:

$$\begin{bmatrix} \Pi_0 & \Pi_1 & \dots & \Pi_6 \end{bmatrix} \times P = \begin{bmatrix} \Pi_0 & \Pi_1 & \dots & \Pi_6 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\sum_{k=0}^6 \Pi_k = 1$$

otrzymuje się rozkład graniczny włożonego łańcucha Markowa

$$\Pi_0 = \frac{1}{2}, \Pi_k = \frac{\lambda_k}{2\Lambda} \quad (19)$$

Ponieważ $\Lambda = \sum_{k=0}^n \lambda_k$, zatem uwzględniając założenie 3, czas poprawnej pracy systemu ESB, przy tak przedstawionym modelu, ma również rozkład wykładniczy, a wartość oczekiwana zdadności wyraża się zależnością:

$$E(T_0) = \frac{1}{\Lambda}$$

oraz wykorzystując twierdzenie o rozkładzie granicznym można wyznaczyć stacjonarne prawdopodobieństwa P_j przebywania systemu ESB w wyróżnionych stanach niezawodnościowych:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \lambda_1 E(\theta_1) + \dots + \lambda_6 E(\theta_6)} \quad (20)$$

$$P_k = \frac{\lambda_k E(\theta_k)}{1 + \lambda_1 E(\theta_1) + \dots + \lambda_6 E(\theta_6)} \quad k = 1, \dots, 6 \quad (21)$$

Prawdopodobieństwo P_0 wyrażone równaniem (20) oznacza współczynnik gotowości systemu ESB. Z kolei prawdopodobieństwo P_k dla ustalonego k oznacza graniczne prawdopodobieństwo naprawy k -tego elementu systemu.

Przedstawiony model niezawodnościowy ocenianego systemu ESB pozwala na wyznaczenie podstawowych wskaźników niezawodnościowych ocenianego systemu ESB. W celu wyznaczenia ich wartości liczbowych należy posiadać informacje o zachowaniu się systemu oraz jego elementów w czasie rzeczywistej eksploatacji. Dotyczy to głównie rozkładów zmiennych losowych czasu zdadności, jak też czasu napraw. Założony w modelu wykładniczy rozkład czasu pracy poszczególnych elementów systemu ESB został potwierdzony w praktyce jako rozkład trwałości większości urządzeń elektronicznych.

Gdyby to założenie się nie potwierdziło w badaniach praktycznych, model pozwala na obliczenie przedstawionych charakterystyk niezawodnościowych przy innym określeniu macierzy $Q(t)$, będącej jądrem procesu semi-markowskiego.

Zaproponowane wskaźniki pozwalają w dość łatwy sposób wyznaczać ich wartości liczbowe, a badania mające na celu uzyskanie wartości tych wskaźników, są jednymi z podstawowych badań niezawodnościowych (rejestracja czasów poprawnej pracy i czasów napraw).

5. Wybór miar oceny niezawodności systemu ESB

Wskaźniki niezawodności obiektów odnawialnych mogą być podzielone na następujące klasy [7, 9, 10]:

- wskaźniki niezawodnościowe opisujące stan obiektu. W obiekcie rozróżnia się stan pracy i stan odnowy. Do wskaźników niezawodności związanych ze stanem pracy zaliczamy dystrybucję czasu poprawnej pracy obiektu, funkcje gęstości prawdopodobieństwa rozkładu czasu poprawnej pracy. Do wskaźników niezawodnościowych związanych ze stanem odnowy można zaliczyć dystrybucję czasu pracy obiektu do wystąpienia n -tej odnowy;
- wskaźniki czasowe, określane dla stanów pracy i stanów odnowy, dotyczące alternatywnego strumienia odnowy;
- wskaźniki wyznaczające prawdopodobieństwo przebywania obiektu w stanie gotowości lub niezdatności. Do tego typu wskaźników zaliczamy współczynnik gotowości i współczynnik gotowości operacyjnej;
- wskaźniki charakteryzujące liczbę przejść obiektu do poszczególnych stanów. Do tej klasy wskaźników zaliczamy funkcję odnowy i gęstość odnowy.

Najczęściej stosowane wskaźniki niezawodności zostały zebrane w normach. Oprócz nich istnieją wskaźniki uwzględ-

niające specyfikę różnych dziedzin techniki, np. wskaźniki stosowane w elektronice, elektrotechnice czy w ESB (elektronicznych systemach bezpieczeństwa).

Bardzo ważny jest trafny wybór odpowiedniego zbioru wskaźników dla oceny niezawodności danego obiektu. Wymagana jest szczegółowa znajomość zagadnień związanych z pracą obiektu. Każda dziedzina musi dobrać wskaźniki najlepiej uwzględniające jej specyfikę.

Po przeprowadzeniu analizy wskaźników niezawodności wybrano te, które posłużą do oceny niezawodności opisywanego systemu ESB (elektroniczny system bezpieczeństwa). Dysponując wielką liczbą danych o uszkodzeniach wskaźnikami tymi będą:

- średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami T_m ,
- średni czas naprawy T_n ,
- współczynnik gotowości K_g .

a) średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami T_m systemu ESB

Czas poprawnej pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami obiektu, jakim jest system ESB, jest to okres pracy obiektu naprawialnego, upływający od końca naprawy do początku następnego uszkodzenia tego obiektu. Średni czas poprawnej pracy między uszkodzeniami jest wartością oczekiwaną czasu poprawnej pracy, a więc:

$$T_m = E[\tau'] \quad (22)$$

Można go również określić zależnością:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_i'}{k} \quad (23)$$

gdzie: k – liczba uszkodzeń obiektu w rozpatrywanym okresie, τ_i' – czas poprawnej pracy obiektu między $i = 1$, a i -tym uszkodzeniem.

Posługiwanie się tą zależnością wymaga określenia chwil uszkodzeń wszystkich badanych obiektów.

Jeśli badaniom poddaje się nie jeden, a n obiektów jednocześnie, wówczas:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \Delta\tau_{ij}'}{k_n} \quad (24)$$

gdzie:

$$k_n = \sum_{j=1}^n k_j \quad (25)$$

$\Delta\tau_{ij}'$ – czasu pracy j -tego obiektu między $i = 1$, a i -tym uszkodzeniem, k_{ij} – liczba uszkodzeń j -tego obiektu, $i = 1, 2, \dots, k$, $j = 1, 2, \dots, n$.

b) średni czas naprawy T_n systemu ESB

Czas naprawy obiektu jest to okres, który upływa od początku uszkodzenia do chwili zakończenia naprawy i przywrócenia stanu zdadności. Średni czas naprawy, który jest wartością oczekiwaną czasu naprawy uszkodzonego obiektu wyraża się (26):

$$T_n = E[\tau'] \quad (26)$$

Czas ten można również określić zależnością (1.27):

$$T_n = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_i''}{k} \quad (27)$$

gdzie: k – liczba uszkodzeń obiektu w rozpatrywanym okresie, τ_i'' – okres naprawy między $i-1$, a i -tym uszkodzeniem.

c) współczynnik gotowości K_g systemu ESB

Współczynnik gotowości jest stosunkiem wartości oczekiwanej czasu pracy do sumy wartości oczekiwanej czasu poprawnej pracy i czasu naprawy. Wyraża się on następującą zależnością (28):

$$K_g = \frac{E[\tau]}{E[\tau'] + E[\tau'']} \quad (28)$$

Współczynnik gotowości praktycznie rzecz biorąc jest to prawdopodobieństwo tego, że w określonej chwili t obiekt (system ESB) będzie się znajdował w stanie gotowości. Współczynnik gotowości jest więc stosunkiem całkowitego czasu poprawnej pracy i czasu naprawy, wziętych za jeden i ten sam czas okresu eksploatacji. Można go wyrazić następującą zależnością (29):

$$K_g = \frac{T_m}{T_m + T_n} \quad (29)$$

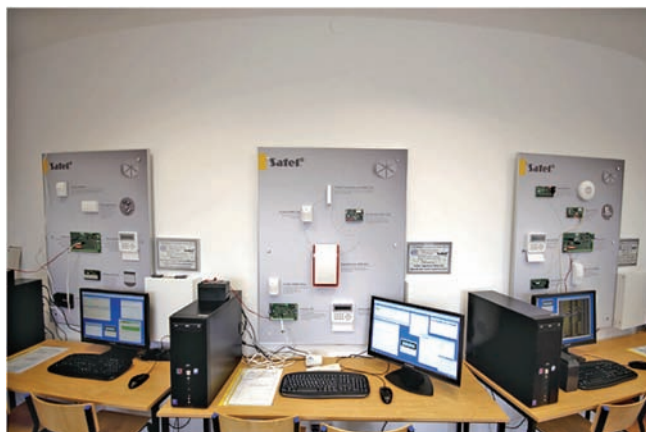
gdzie: K_g – to wskaźnik gotowości, który jest stosunkiem wartości oczekiwanej czasu pracy układu ESB T_m do sumy wartości oczekiwanej: czasu poprawnej pracy układu ESB T_m i czasu naprawy układu ESB T_n (także jego wymiany). Współczynnik gotowości K_g to prawdopodobieństwo tego, że w określonej chwili t obiekt będzie znajdował się w stanie gotowości. Wskaźnik gotowości K_g (wskaźnik jakości systemu ESB) opisany równaniem (29).

Na podstawie uzyskanych liczbowych wartości wskaźników niezawodności, dla poszczególnych elementów (bloków), dokonana zostanie ocena niezawodności systemu ESB (elektroniczny system bezpieczeństwa) jako całego systemu oraz ocena prawidłowości jego funkcjonowania.

Podczas badań niezawodnościowo-eksploatacyjnych trwających $T_m = 12$ miesięcy (8760 h), po ustaleniu czasu naprawy pojedynczego uszkodzenia $T_n = 1$ h, określono wskaźnik gotowości $K_g = 0,9998859$ (zgodnie z równaniem 29). Badania dotyczyły systemu typu INTEGRA 24. Należy wyraźnie podkreślić, że badane ESB były wykonane na systemie INTEGRA 24, który został bardzo starannie opracowany przez renomowaną polską firmę specjalizującą się w budowie tego typu urządzeń. Nie wygląda to tak optymistycznie z tanimi ESB importowanymi z dalekiego wschodu. Badania takich systemów ESB były przez autora także wykonane, a wskaźnik K_g wahał się w granicach: $0,44 \leq K_g \leq 0,7$ (wykonano takie badania w warunkach rzeczywistych). Autor przeprowadził takie badania na zaprojektowanym i zrealizowanym obiekcie rzeczywistym, a wcześniej na stanowiskach laboratoryjnych. Wykonane badania dotyczyły systemu INTEGRA 24 (rys. 1). Wskaźnik K_g , którego wartość spada poniżej 0,9, stanowi bardzo poważne zagrożenie dla poprawnej pracy ESB, szczególnie tych chroniących obiekty o charakterze specjalnym. W badaniach nie uwzględniono układów zasilających, które stanowią zupełnie odrębny problem badawczy. Badania niezawodnościowo-eksploatacyjne dotyczące układów zasilających ESB były prowadzone przez autora [10]. Stanowią one kanwę niezawodnej pracy systemów alarmowych.

6. Podsumowanie

Problematyka niezawodności eksploatacyjnej ESB to poważne wyzwanie, zważywszy na warunki pracy tych urządzeń – warunki klimatyczne, środowiskowe, zakłócenia elektromagnetyczne oraz wpływ tych zakłóceń na urządzenia nadzorujące bezpieczeństwo obiektów. Dla uproszczenia omawianych układów elektronicznych systemów bezpieczeństwa nie uwzględniono zintegrowanych systemów ESB. Realizacja systemów ESB wymaga sporej wiedzy z zakresu przepisów normatywnych i prawidłowego eksploataowania tych systemów, ze względu na ich różnorodność oraz ich zdadność lub niezadadność [5, 6, 8].



Rys. 4. Stanowisko do badań laboratoryjnych central INTEGRA (opracowanie własne)

Fig. 4. The position of the laboratory of the INTEGRA

Na rys. 4 przedstawiono stanowisko do badań laboratoryjnych central typu INTEGRA. Stanowiska typu INTEGRA umożliwiają programowanie różnych central typu INTEGRA pod kątem potrzeb chronionego obiektu. Wszystkie zdarzenia występujące w ESB są edytowane na ekranie monitora komputera i umożliwiają ich analizę poprawności pracy. Badania laboratoryjne systemu ESB (rys. 1) zostały wykonane na stanowiskach przedstawionych na rys. 4.

Niezmiernie istotnym problemem jest ciągła kontrola systemów ESB szczególnie tych, które chronią obiekty specjalnego znaczenia, aby w wyniku wadliwej eksploatacji nie doszło do ich trwałego uszkodzenia. Elektroniczne systemy bezpieczeństwa przeznaczone dla potrzeb obiektów specjalnego przeznaczenia w tym np. transportowe, powinny charakteryzować się bezawaryjną pracą w procesach eksploatacyjnych. Nie powinny również stanowić zagrożenia dla innych układów elektronicznych zlokalizowanych w danym obiekcie. Warto również mieć wiedzę, jak powinny być dobrane systemy ESB zgodnie z obowiązującymi przepisami, aby spełnić wymagania normatywne w zależności od klasy zabezpieczenia Grade I do IV).

Bibliografia

1. Dunstone T., Yager N., *Biometric System and Data Analysis*, Springer, 2009. DOI: 10.1007/978-0-387-77627-9.
2. Dąbrowski T., Będkowski L., *Podstawy Eksploatacji, cz. II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, WAT, Warszawa 2006.
3. Harwood E., *DIGITAL CCTV. A Security Professional's Guide*, Butterworth Heinemann, 2007.
4. Hołyst B., *Terroryzm*, tom 1 i 2. Wydawnictwa Prawnicze LexisNexis, Warszawa 2009.
5. Szulc W., Rosiński A., *Informatyczny sposób nadzoru i zarządzania zintegrowanym elektronicznym systemem bezpieczeństwa dla wybranego obiektu specjalnego znaczenia* [w:] Hołyst B., Pomykała J., Patejko P. *Nowe techniki badań kryminalistycznych a bezpieczeństwo informacji*, PWN Warszawa 2014.
6. Norma PN-EN 50132-7:2003: Systemy alarmowe – Systemy dozoru CCTV stosowane w zabezpieczeniach – Część 7: Wytyczne stosowania.
7. Norman T., *Integrated security systems design*, Butterworth Heinemann, 2007.
8. Szulc W., Rosiński A., *Problemy eksploatacyjno-niezawodnościowe rozproszonego systemu bezpieczeństwa*, „Zabezpieczenia”, Nr 1 (47)/2006, wyd. AAT, Warszawa 2006.

9. Tistarelli M., Li S.Z., Chellappa R., *Handbook of Remote Biometrics for Surveillance and Security*, Springer-Verlag 2009.
10. Szulc W., *Problemy niezawodnościowo-eksploatacyjne układów zasilających elektroniczne systemy bezpieczeństwa*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 1/2012, 54–63.

Reliability and Operation Aspects of Structure of Electronic Security System

Abstract: The paper presents important reliability and operation aspects of Electronic Security System units, as well as their structure. As the result of the extensive long-term research done by the author, the reliability and operation indicators important for the proper functioning of electronic safety systems have been identified. Particular attention was paid to the needs of the objects of special character.

Keywords: reliability, operation aspects, electronic security system, indicator

doc. dr inż. Waldemar Szulc

waldemar.szulc@mac.edu.pl

Od 1965 r. pracownik naukowy Politechniki Warszawskiej na Wydziałach: Komunikacji, Elektroniki, Instytutu Transportu oraz na Wydziale Transportu. Zajmował się problematyką: Telekomunikacji, Radiokomunikacji, Radiolokacji, Podstaw Elektroniki i Elektroniki ze szczególnym uwzględnieniem układów dla potrzeb transportu oraz elektronicznymi systemami bezpieczeństwa obiektów. Od 2011 r. jest kierownikiem Katedry Technik Bezpieczeństwa. Jest autorem lub współautorem ponad 10 patentów oraz autorem lub współautorem ponad 52 wdrożeń urządzeń elektronicznych dla potrzeb PKP. Jest autorem lub współautorem ponad 150 publikacji. Brał udział w ponad 35 pracach o charakterze naukowo-badawczym. Był dziekanem i prodziekanem Wydziału Informatyki Stosowanej i Technik Bezpieczeństwa w Wyższej Szkole Menedżerskiej w Warszawie. Jest autorem lub współautorem wielu unikalnych rozwiązań z dziedziny Bezpieczeństwa Obiektów o charakterze specjalnym. Współautor koncepcji projektu i wdrożenia Zespołu Laboratorium Systemów Bezpieczeństwa w Wyższej Szkole Menedżerskiej w Warszawie.

