

Komputerowa baza danych, zawierająca wyniki kontroli stanu technicznego sprzętu uzbrojenia

Computer database containing the results of the control of the technical condition of the armament equipment

DARIUSZ RODZIK
PAWEŁ KALINOWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.8-9.73>

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z monitorowaniem parametrów stanu technicznego uzbrojenia, zwłaszcza rakiet przeciwlotniczych. Omówiono postać matematyczną macierzy obserwacji parametrów pochodzących z kontroli okresowej stanu technicznego uzbrojenia. Szczególną uwagę zwrócono na opis przyjętych rozwiązań programowych opracowanej aplikacji bazodanowej.

SŁOWA KLUCZOWE: kontrola stanu technicznego, rakiety przeciwlotnicze, baza danych

The paper presents issues related to the performance and parameter monitoring of armament equipment, in particular anti-aircraft missiles. A mathematical model of parameter observation matrix from periodic inspections of technical condition of armament equipment is described. Particular attention was paid to the presentation of the assumed software solutions of the developed database.

KEYWORDS: condition based maintenance, anti-aircraft missiles, database

Wprowadzenie

Sprzęt uzbrojenia (SU) wykorzystywany na współczesnym polu walki powinien się charakteryzować wysoką gotowością do działania i skutecznością. Skuteczne działanie SU zależy przede wszystkim od jego właściwości i determinuje jego jakość.

Jednym z głównych czynników decydujących o jakości SU jest jego niezawodność, którą kształtuje się podczas projektowania i wytwarzania. W fazie eksploatacji SU wykorzystuje się nabyte wcześniej właściwości niezawodnościowe. W wyniku użytkowania SU właściwości niezawodnościowe pogarszają się i tym samym obniżają się gotowość oraz jakość działania SU.

Istnieje więc potrzeba okresowej kontroli stanu technicznego SU, ponieważ pozyskiwane w ten sposób informacje diagnostyczne dostarczają m.in. wiedzy na temat zmian niezawodnościowych w fazie eksploatacji.

Szczególny przykład SU stanowi n -elementowa populacja rakiet przeciwlotniczych, dla których dominującym stanem eksploatacyjnym jest *przechowywanie z okresową kontrolą stanu technicznego*. Średni czas przebywania rakiet w stanie przechowywania jest dużo dłuższy od sumy ich średnich czasów przebywania w pozostałych stanach procesu eksploatacji:

$$T_p \gg \sum_{i=1}^n T_i \quad \text{dla } i = \overline{1, n}$$

gdzie: T_p – średni czas przechowywania rakiet, T_i – średni czas trwania i -tego stanu eksploatacyjnego, n – liczba stanów eksploatacyjnych występujących w procesie eksploatacji rakiet (z wyłączeniem stanu przechowywania).

Celem artykułu jest zaprezentowanie koncepcji komputerowej bazy danych, opracowanej na potrzeby gromadzenia, przechowywania i przetwarzania wyników okresowej kontroli stanu technicznego rakiet przeciwlotniczych.

Prezentowana koncepcja wychodzi naprzeciw wyzwaniom stawianym współczesnym aplikacjom bazodanowym, które powinny się charakteryzować bezpieczeństwem gromadzenia i przechowywania danych, niezawodnością w działaniu, intuicyjnością obsługi itp. Dynamicznie rozwijające się obecnie technologie informatyczne oferują wiele możliwości i rozwiązań do tworzenia oraz użytkowania specjalistycznych i wydajnych baz danych.

Model matematyczny kontroli stanu technicznego

Do opisu procesu kontroli stanu technicznego SU wygodne jest przyjęcie metod analizy statystycznej w postaci macierzowej. Podczas każdej kontroli stanu technicznego SU pozyskuje się dane eksploatacyjne w postaci:

- liczby m mierzonych parametrów pracy SU;
- zbioru wartości mierzonych parametrów pracy SU $\Phi = \{X_1, \dots, X_m\}$, gdzie X_m – wartość m -tego parametru pracy SU;
- zbioru jednostek czasu $T = \{1, \dots, t\}$, w którym nastąpił pomiar wartości parametru.

Ze względu na prostotę zapisu wyniki pomiarów z kontroli stanu technicznego SU dobrze jest przedstawić w postaci macierzy obserwacji [1]:

$$X = [x_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, p}$$

gdzie: x_{ij} – wartość cechy X_j zanotowana dla i -tego badanego obiektu (i -tego elementu próby).

Jeżeli obserwacje są dokonywane w określonych momentach czasu, to macierz obserwacji X przyjmuje postać $X = [x_{ijl}]$, gdzie: $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, p}$; $l = \overline{1, t}$.

Stosowanie reprezentacji przestrzennej oznacza, że w przestrzeni p -wymiarowej wyróżnia się zbiór $\{X_1, \dots, X_n\}$. W ten sposób każdy obiekt P_i jest numerycznie opisany za pomocą wektora $x_i [1 \times p]$ o postaci $x_i = [x_{i1}, \dots, x_{ip}]$.

Zaproponowany sposób opisu procesu kontroli stanu technicznego SU ułatwia wnioskowanie na temat jakości wyników kontroli ze względu na numeryczną postać macierzy obserwacji.

* Ppłk dr inż. Dariusz Rodzik, dariusz.rodzik@wat.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-1697-8874> – Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Warszawa, Polska
Ppor. mgr inż. Paweł Kalinowski, pawel.kalinowski@onet.pl – 3 BR OP, Sochaczew, Polska

Opis przyjętych rozwiązań programowych

W trakcie opracowywania koncepcji bazy danych przyjęto następujące wymagania funkcjonalne wobec systemu [2]:

- automatyczne dodawanie rekordów wyników sprawdzeń;
- wykorzystanie funkcji CRUD (*create, read, update, delete*) na obiektach bazy danych;
- wykorzystanie funkcji wyszukiwania, sortowania i dowolnego przestawiania danych w tabeli wyszukanych wyników;
- wykorzystanie funkcji automatycznego uzupełniania wyników sprawdzeń na podstawie prawdopodobieństwa występowania wartości poszczególnych parametrów;
- system archiwizacji zmian w bazie danych oparty na technologii *blockchain*;
- maskowanie hasła podczas logowania oraz wielopoziomowa weryfikacja logowania przy użyciu hasła SMS;
- implementacja algorytmów wspomaganie podejmowania decyzji eksploatacyjnych;
- automatyzacja generowania raportów ze sprawdzeń oraz możliwość ich przesyłania do uprawnionych osób.

W wyniku realizacji tych założeń osiągnięto następujące cechy systemowe aplikacji bazodanowej:

- przejrzystość i intuicyjność – interfejs systemu jest czytelny i prosty w obsłudze. W aplikacji zadbano o odpowiednie rozmieszczenie obiektów, zgodnie z trendami wytyczonymi przez Roberta J.K. Jacobsa [3];
- funkcjonalność – system dostarcza użytecznych narzędzi, które ułatwiają użytkownikowi wykonywanie zadań i zwiększają efektywność pracy;
- bezpieczeństwo – system zapewnia bezpieczeństwo użytkownikowi bazy danych, jak również przechowywanym w niej informacjom. Bezpieczeństwo użytkownika uzyskano poprzez maskowanie hasła przy logowaniu oraz weryfikację dostępu za pomocą wiadomości SMS, natomiast bezpieczeństwo danych zapewniono dzięki szyfrowaniu przechowywanych haseł dostępu oraz wykorzystaniu mechanizmów technologii *blockchain* w podsystemie archiwizacji przechowywanej informacji;
- minimalizację możliwości popełnienia błędów lub informowanie użytkownika o tych błędach – komunikaty informujące o błędach wyświetlają się natychmiast po wprowadzeniu błędnego rekordu i wskazują na sposób rozwiązania powstałego problemu;
- jasną komunikację w relacji program–użytkownik. Wyświetlane są komunikaty informujące o stanie wykonania procesów zapoczątkowanych przez użytkownika;
- integralność systemu – wszystkie elementy systemu działają na tych samych zasobach. Wykluczona została możliwość wprowadzania zmian w danych za pomocą nieautoryzowanych funkcji;
- modułowość – system podzielono na moduły, które mogą pracować niezależnie od siebie; obowiązuje w nich zasada pojedynczej odpowiedzialności.

Model struktury systemu

Dokładny opis procesu pozyskiwania, gromadzenia i przetwarzania informacji zamieszczono w pracach [4, 5]. Na rys. 1 przedstawiono koncepcję systemu gromadzenia i analizy wyników okresowej kontroli stanu technicznego rakiet przeciwlotniczych.

W procesie akwizycji i przetwarzania danych z kontroli okresowej rakiet należy wyróżnić trzy główne etapy:

- etap pierwszy – pozyskiwanie danych; istotne informacje o stanie technicznym badanych obiektów są pozyskiwane za pomocą Automatem Ruchomej Stacji Kontrolno-Pomiarowej (ARSKP);
- etap drugi – gromadzenie danych; personel techniczny wstępnie przetwarza pozyskaną informację i może wprowadzić ją poprzez Stanowisko Pozyskiwania Danych (SPD) do Komputerowej Bazy Danych (KBD). Komunikacja między SPD a KBD jest oparta na protokole wymiany danych za pomocą internetu;
- etap trzeci – analiza danych, obejmująca operacje wykonywane na danych w celu wygenerowania informacji niezbędnych do wypracowania decyzji w procesie sterowania eksploatacją rakiet przeciwlotniczych.



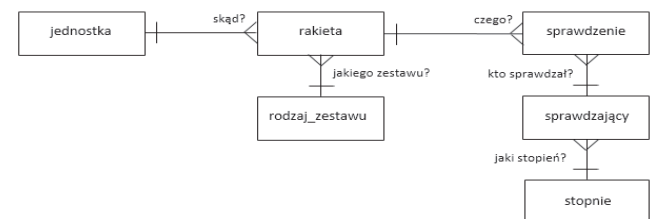
Rys. 1. Schemat blokowy systemu akwizycji i przetwarzania wyników okresowej kontroli stanu technicznego rakiet przeciwlotniczych [2]

Komputerowa Baza Danych

Rezultatem końcowym kontroli stanu technicznego rakiet są wyniki pomiarów parametrów rakiet (odchyłki od wartości nominalnej) w postaci analogowej. Tak przygotowane dane zostają wprowadzone do KBD w zakodowanej postaci cyfrowej, umożliwiającą ich zapisanie i dalszą obróbkę (analizę). Zapisane w KBD informacje uzupełniają się danymi dodatkowymi, takimi jak: numer i partia rakiety, data wykonania badania czy dane sprawdzającego.

Diagramy związków encji

W opracowanej aplikacji bazodanowej wykorzystano notację Barkera [6, 7] bez atrybutów encji. Występują tu związki binarne oraz jeden ternarny (rys. 2). Użyte typy asocjacji w związkach to jeden-do-wielu – ich istnienie jest obowiązkowe.



Rys. 2. Schemat przyjętych związków encji w aplikacji bazodanowej [2]

Model relacyjny

Na rys. 3 przedstawiono przyjętą strukturę zbioru tabel z kolumnami oraz typami wprowadzanych zmiennych.

rakiety_test2.rodzaj_zestawu	rakiety_test2.rakieta	rakiety_test2.jednostka	rakiety_test2.sprawdzenie
<ul style="list-style-type: none"> Id_rodzaju_zestawu : int(11) Nazwa_zestawu : text 	<ul style="list-style-type: none"> Id_rakiety : int(11) Id_jednostki : int(11) Numer_rakiety : varchar(10) Id_rodzaju_zestawu : int(11) czy_sprawna : int(1) 	<ul style="list-style-type: none"> Id_jednostki : int(11) Numer_jednostki : text Miejscowosc : text 	<ul style="list-style-type: none"> Id_sprawdzenia : int(11) Id_sprawdzajacego : int(11) Id_rakiety : int(10) Data_sprawdzenia : date Data_konca_resursu : date S1 : int(2) (...) S45 : int(11) SUM_CZAS : int(11) S_O : int(11)
<ul style="list-style-type: none"> rakiety_test2.sprawdzajacy Id_sprawdzajacego : int(11) Imie : text Nazwisko : text Id_stopnia : int(11) 		<ul style="list-style-type: none"> rakiety_test2.stopnie Id_stopnia : int(11) Nazwa_stopnia : text 	

Rys. 3. Tabele występujące w aplikacji bazodanowej [2]

Stanowisko Analizy Danych

Głównym elementem użytkowym opracowanej aplikacji jest tzw. Stanowisko Analizy Danych (SAD), w skład którego wchodzi następujące moduły:

- **Moduł Zarządzania Bazą Danych (MZBD)**, który służy do wykonywania podstawowych operacji na rekordach, tj. do dodawania, usuwania, edycji, wyszukiwania czy sortowania rekordów po zdefiniowanych kategoriach;
- **Moduł Odkrywania Wiedzy (MOW)**, który służy do pozyskiwania informacji za pomocą metod analizy statystycznej danych zawartych w KBD. Wykorzystuje się tu m.in.:

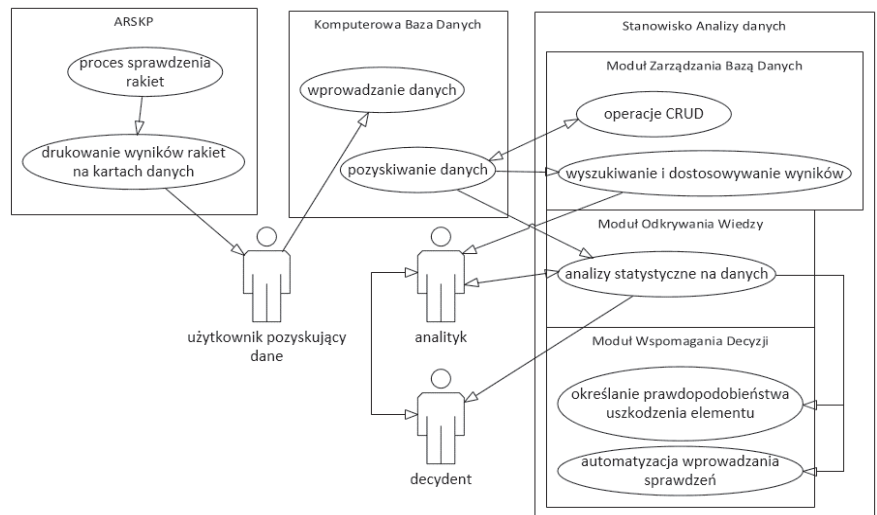
- metody ilościowe – pozwalają wnioskować o trendach zmian kontrolowanych parametrów SU;
- macierze korelacji – umożliwiają badanie korelacji kontrolowanych parametrów SU i ich rozrzutu;
- metody analizy skupień (w tym procedury aglomeracji i grupowania danych) – pozwalają wykrywać zależności parametrów pracy podzespołów SU;
- metody grupowania obiektów i ich cech – wynikiem grupowania danych jest mapa jakości działania, która obrazuje charakter zmian kontrolowanych parametrów dla partii rakiet;
- metody szeregów czasowych – pozwalają na obserwację zmian kontrolowanych parametrów SU w czasie;
- **Moduł Wspomagania Decyzji (MWD)**, który jest wyposażony w szereg funkcjonalności (wykorzystujących m.in. wyniki analiz MOW), takich jak:
 - wskazywanie rakiet, które należy zużyć w pierwszej kolejności;
 - mechanizmy automatyzacji wprowadzania wyników sprawdzeń;
 - narzędzia identyfikacji zależności pomiędzy uszkodzeniami podzespołów i zespołów SU;
 - narzędzia wspomagające sposób prowadzenia analiz i raportowania.

Model zachowania użytkowników systemu

W aplikacji wyodrębniono cztery typy użytkowników o różnym poziomie interakcji użytkownik–system. Są to:

- **administrator** – osoba odpowiedzialna za nadzorowanie i utrzymanie działania systemu, która reaguje na występujące problemy i wprowadza aktualizacje programowe;
- **użytkownik pozyskujący dane** – osoba odpowiedzialna za prawidłowość przebiegu kontroli stanu technicznego SU i wprowadzania danych do systemu bazodanowego;
- **analityk** – osoba odpowiedzialna za generowanie raportów, monitorowanie pojawiających się trendów oraz wyszukiwanie zależności pomiędzy danymi, które mogą być istotne w procesie wypracowywania decyzji dotyczących eksploatacji rakiet (otrzymuje zadania od decydenta oraz konsultuje z nim zestawiane raporty okresowe);
- **decydent** – osoba, która stawia zadania pozostałym użytkownikom systemu (zwłaszcza analitykowi), np. zadania dotyczące przygotowania formy lub zakresu generowanego raportu okresowego.

Przyjęty model zachowania użytkowników systemu przedstawiono symbolicznie, w formie diagramu przypadków użycia, na rys. 4. Na diagramie zamieszczono tylko wybrane funkcje i relacje potencjalnych użytkowników



Rys. 4. Diagram przypadków użycia dla aplikacji bazodanowej [2]

systemu. Celowo pominięto rolę administratora, gdyż ma on uprawnienia oddziaływania na niemal wszystkie elementy systemu.

Interpretacja diagramu przypadków rozpoczyna się od relacji pomiędzy ARSKP a KBD. Relacji tej pośredniczy użytkownik pozyskujący dane, który na SPD wprowadza wyniki kontroli stanu technicznego rakiet i zapisuje je w KBD. Za pomocą zapytań SQL dane zapisane w KBD mogą być przetwarzane przez pozostałych użytkowników posiadających dostęp do poszczególnych modułów aplikacji. Na szczególną uwagę zasługuje relacja pomiędzy modułami MOW i MWD. Może ona bazować na wynikach analiz, uzyskiwanych za pomocą zewnętrznych aplikacji obliczeniowych „podpinanych” przez analityka.

Podsumowanie

Podjęcie tematu opracowania komputerowej bazy danych wyników kontroli stanu technicznego rakiet jest związane z potrzebą przedłużania ich resursu. Prace realizowano dwuetapowo. Najpierw zajęto się opracowaniem metody oceny jakości działania SU, pozwalającej na wskazanie rakiet do zużycia w pierwszej kolejności, a następnie – na opracowaniu projektu systemu informatycznego, czego efektem są zaprezentowane w artykule rozwiązania.

Wyniki analiz z wykorzystaniem opracowanej metody pozwoliły na określenie zależności pomiędzy zmianami własności niezawodnościowych rakiet a ich rozwiązaniem konstrukcyjnym. Rezultatem prac w zakresie systemu bazodanowego są zidentyfikowane wymagania i funkcjonalności aplikacji.

LITERATURA

- [1] Rodzik D., Sawicki G. „Ocena jakości cyklu «życia» sprzętu uzbrojenia na podstawie wyników kontroli stanu technicznego”. *Biuletyn WAT*. LII (2) (2003): 5–15.
- [2] Kalinowski P. „Automatyzacja oceny stanu technicznego rakiet przeciwlotniczych na podstawie danych z kontroli okresowych”. Praca magisterska. Warszawa: WAT, 2019.
- [3] Jacobs R.J.K. „Eye Tracking in Advanced Interface Design”. *Virtual Environments and Advanced Interface Design* (eds: W. Barfield, T.A. Furness). New York: Oxford University Press, 1995, 258–290.
- [4] Rodzik D. „Komputerowy system gromadzenia i analizy danych eksploatacyjnych sprzętu wojskowego”. *Materiały VI Szkoły KWPWiE*, Jurata 2002, 259–270.
- [5] Rodzik D. „Nieklasyczna metoda wnioskowania o stanie technicznym układów elektronicznych sprzętu uzbrojenia”. *Materiały konferencyjne, SECON 2001*.
- [6] Barker R. „Case Method: Entity Relationship Modeling”. Vols 1 and 2. Boston: Adison Wesley, 1990.
- [7] Chen P. „Entity-Relationship Modeling: Historical Events, Future Trends, and Lessons Learned”, http://bit.csc.lsu.edu/~chen/pdf/Chen_Pioneers.pdf, 2012.05.25.