

Kazimierz KOWALSKI*

KSZTAŁTOWANIE NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW UZBROJENIA W ASPEKCIE POTRZEB UŻYTKOWNIKÓW

W referacie zwrócono uwagę na dalszą potrzebę kształtowania niezawodności systemów uzbrojenia. Przedstawiono cykl życia systemów technicznych w aspekcie istnienia materialnego i procesu nabywania. Zdefiniowano zasadnicze pojęcia związane z niezawodnością systemów technicznych. Scharakteryzowano etapy osiągania nieuszkodzalności, gotowości i obsługiwalności (NGO) systemów uzbrojenia. Opisano osiąganie NGO w kontekście szeroko rozumianych potrzeb użytkowników systemów uzbrojenia. Podano również zasady doboru i charakterystykę wskaźników opisujących NGO.

Słowa kluczowe: systemy uzbrojenia, nieuszkodzalność, gotowość, obsługiwalność

WSTĘP

Siły zbrojne w swojej działalności nabywczej dążą do pozyskania wyrobów obronnych o możliwie najwyższej jakości. Osiągnięcie satysfakcjonującej jakości wyrobów obronnych mają zapewnić uregulowania zawarte w dokumentach zarówno krajowych, jak i NATO.

Zasadniczymi dokumentami krajowymi regulującymi jakość wyrobów obronnych jest ustawa, z dn. 17.11.2006 r., o systemie oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa oraz odpowiednie do niej akty wykonawcze. Ponadto stosowne decyzje MON, w tym decyzja nr 106 Sekretarza Stanu 1 Zastępcy MON z dn. 06.09.2005 r., w sprawie wprowadzenia do stosowania w resorcie obrony narodowej (RON) procedur zapewnienia jakości, a także porozumienia techniczne dotyczące rządowego zapewnienia jakości (Government Quality Assurance – GQA) w Izraelu, Finlandii i USA.

Głównymi dokumentami NATO są: wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w projektowaniu, pracach rozwojowych i produkcji - AQAP 2110 (wydanie 1, 06.2003), dokument standaryzacyjny - STANAG 4174 oraz sojusznicze publikacje

* płk dr inż. Kazimierz KOWALSKI - Instytut Dowodzenia Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

z zakresu nieuszkodzalności i obsługiwalności (Allied Reliability and Maintainability Publication – ARMP).

Należy zauważyć, że w AQAP 2110:2003 stwierdza się: „jeśli będzie takie wymaganie w umowie, to system niezawodności dostawców, odpowiednio do projektu wyrobu, powinien zapewnić nadzór nad działaniami dotyczącymi niezawodności wyrobów i odnośnymi dokumentami (włącznie z dokumentami poddostawców)”. Z powyższego wynika, że dostawcy (poddostawcy) powinni posiadać system zarządzania niezawodnością w zakresie nieuszkodzalności, gotowości i obsługiwalności (NGO).

Kluczowymi elementami zdolności operacyjnych, które w głównej mierze odpowiadają za osiągnięcie sukcesu misji, są NGO zasadniczych systemów uzbrojenia wykorzystywanych w misji.

Pomimo, w ostatnich latach, znaczącej poprawy osiągnięć systemów uzbrojenia (siły ognia, zdolności do przetrwania, zasięgu, prędkości itp.) problemy z zapewnieniem satysfakcjonującego poziomu NGO występują nadal. To właśnie problemy z NGO wpływają na ograniczenia eksploatacji systemów uzbrojenia, a szczególnie na ich użytkowanie. Ponadto wpływają na zwiększenie całkowitych kosztów posiadania systemów uzbrojenia, zmniejszenie bezpieczeństwa, oraz obniżają gotowość operacyjną, a także wpływają na zwiększenie niepewności co do pomyślnego zakończenia misji. Problemy z NGO wpływają także na wielkość zaangażowania niezbędnych zasobów logistycznych.

Powyższa problematyka nie dotyczy tylko materialnej fazy istnienia systemów. Jest ona również wynikiem początkowego zdefiniowania wymagań, które te systemy powinny spełniać, a podstawę wymagań NGO powinny stanowić potrzeby użytkowników.

Badania wybranych systemów uzbrojenia przeprowadzone w latach 1985-1990 i 1996-2000 wskazują, że procent spełnienia wymagań niezawodnościowych obniżył się z 41% do 20% [5]. W następnych latach powyższy trend uległ dalszemu pogorszeniu. Stosownie do uzyskanych wyników wyciągnięto wnioski, że stosowane procedury niezawodnościowe w stosunku do dostawców systemów uzbrojenia nie mogą być kopiami najlepszych komercyjnych praktyk (badania przyspieszone, testy symulacyjne, procesy certyfikacji i kontroli). Stwierdzono, że nie powinno być regułą stosowanie jako podstawowego podejścia do tematyki niezawodnościowej - fizyki uszkodzeń (eksploatacyjnych) z projektowaniem wspomaganym komputerowo. Ustalono również, że analiza rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń (FMECA) i system raportowania uszkodzeń, analizy i przedsięwzięć korekcyjnych (FRACAS) nie były zasadniczo efektywne w zastosowaniu do problemów wymagających podejścia korekcyjnego. Uznano, że FRACAS działa efektywnie tylko wtedy, gdy program analizy uszkodzeń został w pełni implementowany. Ponadto stwierdzono, że przeprowadzono nieodpowiednie testy na poziomie systemu i elementów (rzadko ukończone przyspieszone badania eksploatacyjne, zbyt mała liczba próbek, ograniczony czas testowania). Stwierdzono również, że brakowało stosownych programów prowadzących do osiągnięcia niezawodnościowych celów [3].

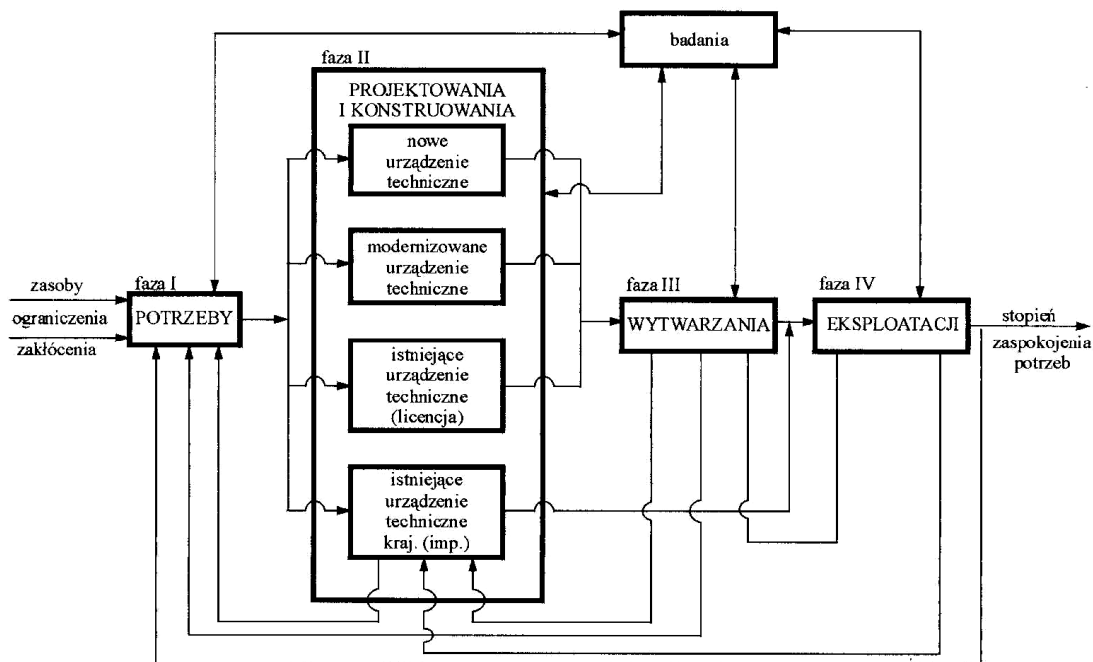
Niski wskaźnik gotowości i kosztowne problemy utrzymania, przyczyniają się do wzrostu całkowitych kosztów posiadania systemów uzbrojenia. Za główne przyczyny tego stanu rzeczy uważa się: skoncentrowanie, odnośnie wymagań w stosunku do

systemów uzbrojenia, na ich osiągnięciach technicznych z jednoczesnym małym zainteresowaniem co do ich środowiska użytkownika, kosztów wsparcia i gotowości. Ponadto, stosowanie niedojrzałych technologii w celu uzyskania zakładanych osiągnięć kosztem pogorszenia zdolności do projektowania systemów uzbrojenia charakteryzujących się wysoką gotowością. Również ograniczoną współpracą pomiędzy jednostkami ustalającymi wymagania, producentami i utrzymującymi systemy w ruchu [1], a także nieodpowiednie systemy gromadzenia i analizy danych [9].

Zasadniczym celem artykułu jest przedstawienie problematyki osiągnięcia satysfakcjonującego poziomu NGO w pierwszej fazie cyklu życia systemów uzbrojenia.

1. CYKL ŻYCIA SYSTEMÓW TECHNICZNYCH

W publikacjach można spotkać pojęcie „faz istnienia” lub „cyklu życia”, w którym wyróżnia się „fazy cyklu życia”, obiektów (systemów) technicznych. Niektóre z nich wymieniają trzy fazy lub etapy (bazując na cyklu życia systemów naturalnych): projektowania i konstruowania, wytwarzania oraz eksploatacji [7, 2]. Uważa się, że takie ujęcie jest niepełne, ponieważ pomija fazę, z której wypływają trzy wcześniej wspomniane – fazę potrzeby (rys. 1). Należy zauważyć, że w fazie „potrzeby” system techniczny nie istnieje materialnie. Jest on jedynie abstrakcyjnym wyobrażeniem, któremu przypisuje się określone (w sposób życzeniowy) zdolności i funkcje [11]. Podobnie w fazie „projektowania i konstruowania” nie mamy do czynienia z istnieniem kompletnego systemu technicznego. Jednak w tej fazie system techniczny jest już widoczny w postaci rysunków, modeli czy prototypów.

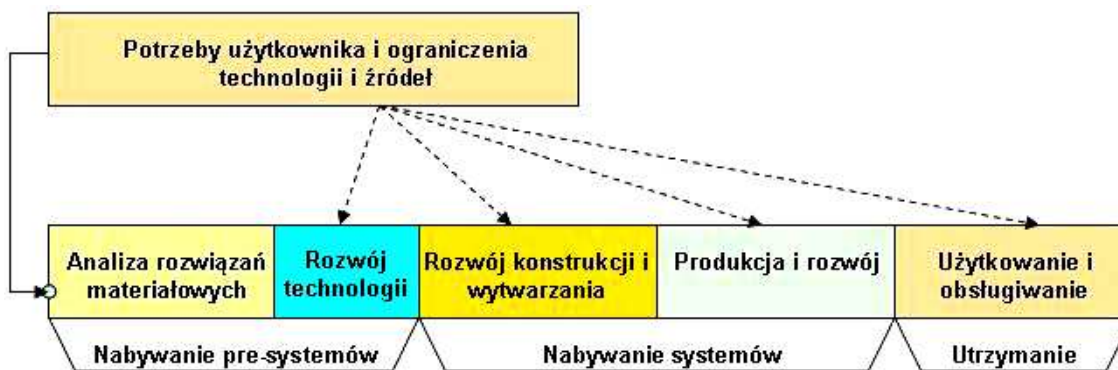


Rys. 1. Fazy istnienia obiektów technicznych [10]

W cyklu życia systemów uzbrojenia można wyróżnić trzy etapy związane z ich nabywaniem. Do tych etapów zaliczamy nabywanie presystemów, nabywanie systemów oraz etap ich utrzymania. Każdy z etapów zawiera charakterystyczne dla niego fazy. W etapie nabywania presystemów wyróżniamy fazy analizy rozwiązań

materiałowych i rozwoju technologii. W etapie nabywania systemów wyróżniamy fazę rozwoju konstrukcji i wytwarzania oraz fazę produkcji i rozwoju. W ostatnim etapie wyróżniamy fazę użytkowania i obsługi (rys. 2) [6].

W cyklu życia systemów tworzonych przez człowieka (sztucznych – technicznych, antropotechnicznych, socjologicznych, symbolicznych) w celu zaspokojenia jego potrzeb, zasadniczym etapem jest etap potrzeb użytkownika tego systemu ze świadomością ograniczeń w zakresie dostępnych technologii i źródeł. Etap ten ma kluczowy wpływ na cały system pozyskiwania, a szczególnie jego pierwszą fazę.



Rys. 2. Cykl życia systemów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6]

2. OSIĄGANIE SATYSFAKCUJĄCEGO POZIOMU NGO

2.1. Definicje związane z NGO

Termin niezawodność (ang. - dependability) jest używany tylko do ogólnego nieliczbowego opisu właściwości obiektu technicznego. Niezawodność oznacza zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: nieuszkodzalność (ang. – reliability), obsługiwalność (ang. – maintainability) i zapewnienie środków obsługi (ang. – maintenance support) [13].

Niezawodność utożsamiana jest z **gotowością** - zdolnością obiektu do utrzymania się w stanie umożliwiającym wypełnianie wymaganych funkcji w danych warunkach, w danej chwili lub w danym przedziale czasu, przy założeniu, że są dostarczone wymagane środki zewnętrzne. Podstawową miarą gotowości jest funkcja gotowości $K_g(t)$ – prawdopodobieństwo, że dany obiekt jest w stanie spełniać wymaganą funkcję w danych warunkach, w danej chwili przy założeniu, że zostały dostarczone wymagane środki zewnętrzne [14]. Gotowość jest miarą stopnia określającego przebywanie obiektu w stanie zdatości funkcjonalnej i możliwości rozpoczęcia misji, której to czas rozpoczęcia jest zmienną losową. Z punktu widzenia użytkownika, gotowość jest funkcją częstotliwości występowania uszkodzeń i związanej z nimi koniecznością wykonywania obsługi korekcyjnych (napraw), częstotliwości przeprowadzania obsługi prewencyjnych, przedziału czasu wykonywania obsługi prewencyjnych i przedziału czasu opóźnienia logistycznego wpływającego na przestój obiektu.

Nieuszkodzalność – charakteryzuje zdolność obiektu do wypełnienia wymaganych funkcji (do poprawnego działania nieprzerwanego uszkodzeniem) w danych wa-

runkach w danym przedziale czasu. Rozróżnia się nieuszkodzalność operacyjną (misyjną) i logistyczną.

Obsługiwalność określa zdolność obiektu do utrzymania lub odtwarzania w danych warunkach eksploatacji stanu, w którym może on wypełniać wymagane funkcje przy założeniu, że obsługa jest wykonywana w przyjętych warunkach z zachowaniem ustalonych procedur i środków na każdym poziomie obsługi.

Zapewnienie środków obsługi charakteryzuje zdolność organizacji zajmującej się obsługą do zapewnienia w danych warunkach, na żądanie, środków potrzebnych do obsługi obiektu przy określonej polityce obsługi.

Podstawową miarą obsługiwalności i zapewnienia środków obsługi jest prawdopodobieństwo obsługi $M(t)$ – prawdopodobieństwo wykonania w ustalonym przedziale czasu aktywnej obsługi obiektu eksploatowanego w określonych warunkach przy założeniu, że obsługa jest wykonana w ustalonych warunkach z zastosowaniem określonych metod i środków [12].

2.2. Etapy w osiągnięciu satysfakcjonującego poziomu NGO

Można wyróżnić cztery grupy przedsięwzięć, które prowadzą do osiągnięcia satysfakcjonującego poziomu NGO systemów uzbrojenia (rys. 3). Przedsięwzięcia te, w przeciwieństwie do ściśle określonych etapów nabywania, charakteryzują się zmiennym czasem trwania, elastycznie dostosowując się do specyfiki każdego nabywanego systemu.

Wyżej wymienione przedsięwzięcia obejmują:

- zrozumienie oraz przyjęcie potrzeb użytkowników i ograniczeń spowodowanych brakiem odpowiednich technologii oraz źródeł;
- projektowanie oraz przeprojektowywanie systemów w aspekcie osiągnięcia planowanego poziomu NGO;
- wytwarzanie „trudno” uszkodzonych i podatnych na obsługę systemów;
- monitorowanie wybranych wskaźników techniczno–ekonomicznych eksploatowanych systemów.

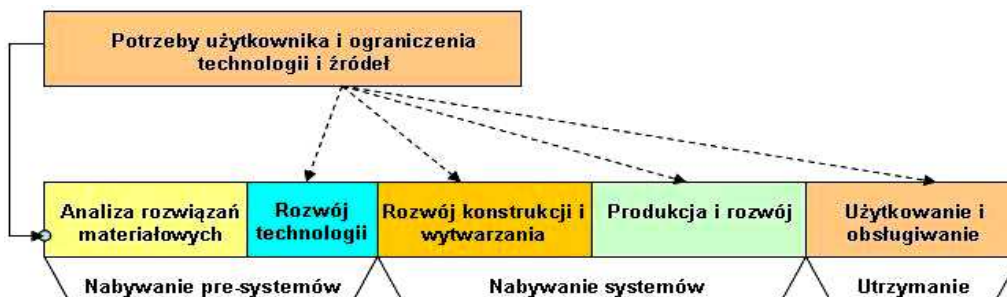
Celem pierwszego z wyżej wymienionych punktów jest określenie i zrozumienie potrzeb w stosunku do danego systemu (w zakresie jego zdolności) po to, ażeby poprzez proces nabywania te potrzeby wypełnić.

3. POTRZEBY UŻYTKOWNIKA W OSIĄGANIU NGO

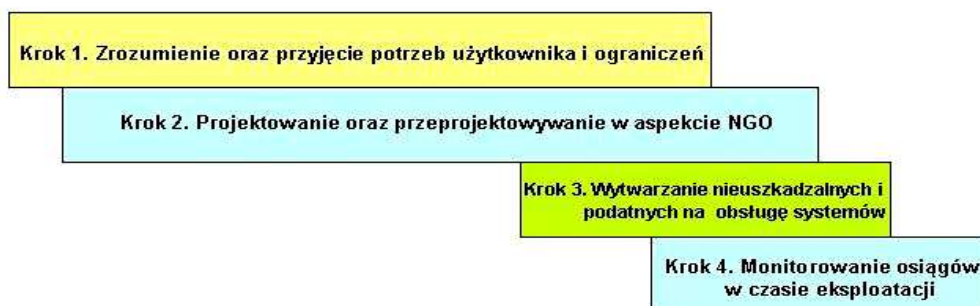
Bardzo ważnym działaniem podczas pozyskiwania nowego systemu (lub jego przeprojektowywania) jest dogłębne zrozumienie potrzeb i oczekiwań użytkowników. W tym miejscu należy podkreślić, że pod pojęciem użytkowników systemu mamy na myśli użytkowników bezpośrednich (kierowca, operator, pilot, ...) i pośrednich (obsługujący, dowódcy, kierownicy, ...) [8]. Krok pierwszy (rys. 3) obejmuje:

- współpracę użytkowników i nabywców w zakresie definiowania pożądanych zdolności systemu. Definicja zdolności systemu obejmuje misję, osiągi systemu, strukturę bojową, gotowość i przeżywalność oraz ograniczenia takie, jak logistyczne potrzeby i możliwości;

- zdolności systemu, określające potrzeby użytkowników w aspekcie nieuszkodzalności, gotowości i obsługiwalności, wyrażone w kategoriach operacyjnych zgodnie z przyjętą koncepcją działania w spodziewanym środowisku i warunkach, biorąc pod uwagę zarówno czas pokoju, kryzysu, jak i wojny;
- ustanowienie przez multidyscyplinarny zespół (użytkowników, projektantów, inżynierów produkcji, osoby testujące, osoby obsługujące) obszarów granicznych w celu osiągnięcia racjonalnego poziomu NGO;
- dokonanie porównania pomiędzy pożądanym poziomem NGO dla nowego systemu, a wartością NGO osiąganą dla aktualnie eksploatowanych systemów i oszacowanie możliwości osiągnięcia pożądanego poziomu NGO w oparciu o dostępne technologie (studium wykonalności);
- opracowanie arkusza zapytań odnoszącego się do wszystkich aspektów osiągnięć systemu, który jasno powinien identyfikować wszelkie ograniczenia, założenia i określenia wymagane przez dostawcę w celu osiągnięcia własnego (wewnętrznego) poziomu NGO systemu (zdeteminowanego przez projekt i produkcję);
- określenie potrzeb wymagań misyjnej (operacyjnej) i logistycznej niezawodności, a także obsługiwalności i zintegrowanej diagnostyki. Określenie potrzeb wymaga konwersji NGO wyrażonych w parametrach operacyjnych na równoważne miary zawarte w kontrakcie;
- zapewnienie, ażeby postulowane aspekty NGO zostały uwzględnione (zapisane) w kontrakcie.



Cztery kroki osiągnięcia NDO



Rys. 3. Cztery kroki osiągnięcia NGO w kontekście czasowym nabywania systemów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4]

Zdecydowana większość informacji, wymaganych w celu wykonania analiz w pierwszym kroku, jest pozyskiwana z całego cyklu życia (CCŻ) aktualnie eksploatowanych systemów o podobnych (zbliżonych) osiąгах. Te informacje zawierają doświadczenia wpływające z misyjnego wykorzystania systemów, bieżących wymagań logistycznego wsparcia i obsady etatowej, bieżącej „listy życzeniowej” użytkowników, w tym potrzeb technicznej poprawy aktualnie eksploatowanych systemów.

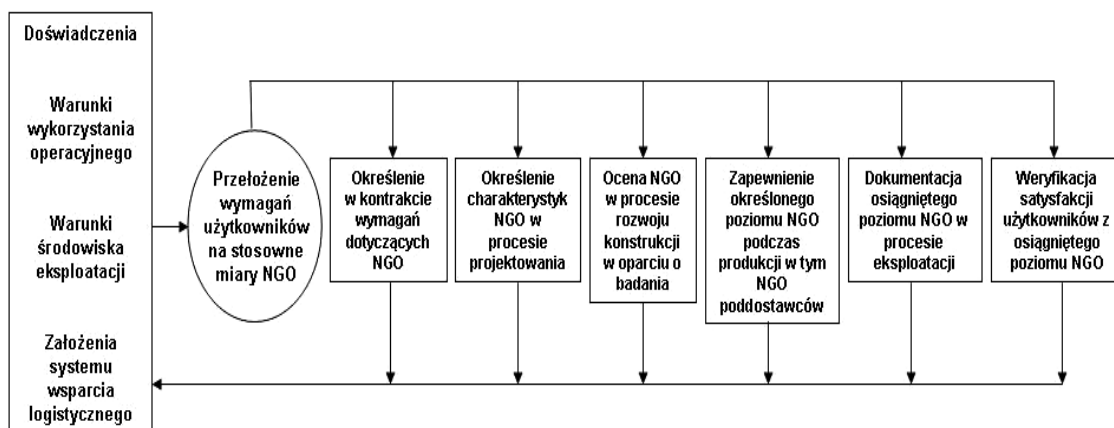
Równie ważne, na tym etapie, jest scharakteryzowanie środowiska CCŻ, w którym planuje się eksploatować system. Polega ono na identyfikacji istotnych parametrów (wilgotność, temperatura, ciśnienie, drgania, itp.) wpływających na NGO systemu i realną zmianę ich wartości i czasu trwania.

Potrzeby użytkowników w aspekcie osiągnięcia określonego poziomu NGO dla nowych systemów formułowane są na podstawie doświadczeń (lesson learned), analizy warunków wykorzystania operacyjnego (misyjnego), charakterystyki warunków środowiska eksploatacji (naturalnego i sztucznego), założeń działania systemu wsparcia logistycznego (rys. 4). Wyżej wymienione działania powinny zawierać szczegółowe analizy dotyczące:

- a) przewidywanych działań operacyjnych z uwzględnieniem wykorzystania krytycznych systemów uzbrojenia:
 - relacji w układzie pionowym i poziomym;
 - charakterystyki obciążeń (w tym maksymalnych) podczas wykonywania oczekiwanych funkcji i zadań;
 - cykli użytkowania (czas kalendarzowy, czas działania, włączenia i wyłączenia);
- b) rodzajów niezdatności (w tym kryteria) systemów technicznych, mechanizmów uszkodzeń, objawów i skutków niezdatności;
- c) warunków środowiska naturalnego (wilgotność, temperatura, drgania, ciśnienie itp.) i czasu ich trwania, w których przewidywane są określone fazy eksploatacji (przechowywanie, przeładunek, wprowadzanie, transport, użytkowanie i obsługa w warunkach garnizonowych i operacyjnych);
- d) warunków organizacji i działania systemu technicznego w środowisku utrzymania (w systemie utrzymania):
 - struktur oraz poziomów systemu utrzymania;
 - infrastruktury i wyposażenia systemu utrzymania;
 - zdolności personelu serwisowego;
 - wsparcia logistycznego.

Potrzeby użytkowników wyrażane w pierwszej fazie pętli zarządzania (rys. 4) muszą być przetworzone, w pierwszym kroku, na stosowne zapisy dotyczące określonego poziomu NGO w kontrakcie. W tym celu można wykorzystać następujące metody:

- formalne translatory, które wykorzystują ściśle określone zależności w celu przekształcenia „żargonu operacyjnego” na zapisy kontraktowe¹;
- inżynierię systemów, która może być zastosowana do wyznaczenia wartości „kontraktowej” średniego czasu pomiędzy uszkodzeniami (MTBF) tak, aby określona wartość wyrażała, wymagany przez użytkownika, średni czas pomiędzy obsługami (MTBM). Powyższe wyznaczenie wymaga ścisłego zdefiniowania pojęcia czasu i uszkodzenia, które będą zawarte w kontrakcie;
- koszty, harmonogramy i inne ograniczenia umożliwiają przekształcenie wymagań operacyjnych na wymagania zawarte w kontrakcie, bazujące na określonym dyspozycyjnym budżecie lub określonym przedziale czasu (np. jaką część dyspozycyjnego budżetu pochłonie przyjęcie określonego MTBF);
- przełożenie wymagań operacyjnych na zapisy kontraktowe na podstawie możliwości wypełnienia przez dostawcę potrzeb użytkowników (wraz z ograniczeniami) wyrażonych w „żargonie operacyjnym”;
- stosowanie się do obowiązującej w Ministerstwie Obrony Narodowej polityki odnośnie NGO² i przekształcenie jej założeń w zapisy kontraktowe.



Rys. 4. Pętla zarządzania NGO w cyklu życia systemu technicznego

Źródło: Opracowanie własne

Reasumując można powiedzieć, że zrozumienie potrzeb użytkowników obejmuje trzy następujące obszary:

- W jaki sposób użytkownicy określonego poziomu opisują NGO.
- Warunki eksploatacji do których będą się odnosiły wyznaczone poziomy NGO.
- Ograniczenia, jakimi jest poddany użytkownik podczas działań operacyjnych w zakresie możliwości osiągnięcia NGO.

Powyższe „zrozumienie potrzeb” jest wyrażane stosownymi wskaźnikami.

¹ Ministerstwo Obrony US wykorzystuje w tym celu, między innymi, Reliability Toolkit: Commercial Practices Edition.

² Np. Decyzja nr 25/MON z dn. 4 lutego 2003 r. w sprawie funkcjonowania w resorcie obrony narodowej systemu zapewnienia jakości wyrobów obronnych.

4. DOBÓR WSKAŹNIKÓW NGO

Dokonując wyboru wskaźników NGO, należy wziąć pod uwagę: rodzaj systemu technicznego (naprawialny, nienaprawialny), koncepcję użycia i wsparcia systemu. Należy również ściśle zdefiniować pojęcie uszkodzenia, pamiętając o tym, że dla złożonych systemów działanie z powodzeniem nie możemy łatwo określić w kategoriach „wszystko lub nic”. Uszkodzenie musi jednoznacznie określać przejście systemu ze stanu zdadności do stanu niezdatności, poprzez dający się zmierzyć parametr lub czytelne oznaki.

Należy również wziąć pod uwagę fakt, że naprawa może być dokonana całkowicie („tak dobry jak nowy”) lub niecałkowicie - tymczasowo („tak dobry jak stary”). Należy również dokładnie określić (we wszystkich przypadkach) naturę mechanizmu uszkodzeń, która wpływa na wiarygodne charakteryzowanie nieuszkodzalności.

Nieuszkodzalność jest wskaźnikiem dającym wiedzę o tym, czy system techniczny będzie funkcjonował poprawnie, wówczas gdy jest wykorzystywany przez „typowego” użytkownika w założonym środowisku operacyjnym. W określaniu nieuszkodzalności systemu technicznego wymagana jest identyfikacja warunków wykorzystania i jasne zdefiniowanie jego właściwego funkcjonowania (kiedy uszkodzenie jest traktowane jako uszkodzenie – niezdatność systemu). Powtarzające się stany zdadności i niezdatności systemów naprawialnych oraz występowanie stanów niezdatności systemów nienaprawialnych wymagają stosowania różnych modeli statystycznych i analitycznych. Nieuszkodzalność jest funkcją środowiska i obciążenia skorelowanego z realizowaną misją. Do najczęściej stosowanych wskaźników nieuszkodzalności możemy zaliczyć: λ - intensywność uszkodzeń, średni czas pomiędzy uszkodzeniami MTBF, średni czas pomiędzy obsługami (MTBM), średni czas pomiędzy naprawami (MTBR), średni czas pomiędzy uszkodzeniami krytycznymi (MTBCF), średni czas pomiędzy operacyjnymi misyjnymi niepowodzeniami (MTBOMF), średni czas do uszkodzenia – dla systemów, elementów nienaprawialnych (MTTF).

Obsługiwalność charakteryzowana jest przez szereg wskaźników ilościowych takich jak: μ - intensywność napraw, średni czas do naprawy (MTTR) – średni wymagany czas do naprawy uszkodzenia od chwili wystąpienia uszkodzenia, maksymalny (aktywny) czas realizacji obsługi korekcyjnych (MACMT - M_{max}), średni czas obsługi prewencyjnych (MPMT), średni czas wyłączenia z użytkowania (MDT). Obsługiwalność jest również funkcją identyfikacji uszkodzeń. Dlatego też wyznaczane są wskaźniki charakteryzujące procesy diagnostyczne takie, jak: efektywność pokładowych systemów diagnostycznych (procent wykrycia przez te systemy defektów) czy efektywność wykrywania defektów. W ostatnim czasie klasyczny wskaźnik fałszywych alarmów o wystąpieniu defektu (Pfa) został zastąpiony wskaźnikiem określającym średni czas działania operacyjnego pomiędzy wykrywaniem (detekcją) fałszywych alarmów o wystąpieniu defektu (MOHBFA). Obsługiwalność jest rozważana również w kategoriach ekonomicznych i dogodności (łatwości) wykonywania obsługi. Dogodność wykonywania obsługi jest pośrednio określana przy pomocy dostępności (podatności obsługowej), dokładności diagnostycznej, stopnia standaryzacji i czynnikami ludzkimi.

Gotowość możemy rozpatrywać jako funkcję częstotliwości występowania uszkodzeń lub konieczności wykonania obsług prewencyjnych i korekcyjnych (nieuszkodzalność) i czasu niezbędnego od zasygnalizowania uszkodzenia i jego potwierdzenia do czasu naprawienia uszkodzenia lub wykonania obsługi prewencyjnej (obsługiwalność). Na gotowość wpływa również zapewnienie środków obsługi. Wyróżniamy gotowość własną systemu (A_i) i gotowość operacyjną (A_o).

Wiarygodną miarę gotowości własnej systemu technicznego uzyskujemy wtedy gdy system osiągnie stan ustalony (po długim przedziale czasu użytkowania). Gotowość własną opisuje następująca zależność:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \tag{1}$$

gdzie:

$MTBF$ – średni czas pomiędzy uszkodzeniami,
 $MTTR$ – średni czas do naprawy.

Gotowość operacyjną możemy opisać w kategoriach wpływu konstrukcji i systemu wsparcia (2) oraz w kategoriach czasu zdatności i niezdatności (3).

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \tag{2}$$

gdzie:

$MTBM$ – średni czas pomiędzy obsługami,
 MDT – średni czas wyłączenia systemu z użytkowania.

$$A_o = \frac{T_0}{T_0 + MDT} \tag{3}$$

gdzie:

T_0 – średni czas poprawnej pracy systemu,
 MDT – średni czas wyłączenia systemu z użytkowania.

W tabeli 1 przedstawiono wpływ nieuszkodzalności (wskaźnika charakteryzującego średni czas pracy pomiędzy uszkodzeniami – $MTBF$) i obsługiwalności (średni czas do naprawy – $MTTR$) na gotowość operacyjną.

Tabela 1. Wpływ wybranych wskaźników nieuszkodzalności ($MTBF$) i obsługiwalności ($MTTR$) na gotowość operacyjną systemu technicznego

Nieuszkodzalność Wskaźnik $MTBF$	Obsługiwalność Wskaźnik $MTTR$	Wpływ na Gotowość Operacyjną, A_o
↑	→	↑
↓	→	↓
→	↑	↓
→	↓	↑

Gdzie: ↑ - wzrost, → - bez zmian, ↓ - spadek

Źródło: Opracowanie własne

WNIOSKI

Wymagania dotyczące NGO dla systemów uzbrojenia powinny być określone z niezwykłą starannością. Zbyt wysokie wymagania powodują niepotrzebny wzrost kosztów i niewłaściwe ukierunkowanie całego programu rozwoju systemu. Z drugiej strony ustanowienie zbyt niskich wymagań może doprowadzić do „kiepskich” osiągnięć operacyjnych oraz przyczynić się do znaczącego wzrostu kosztów operacji i jej wsparcia.

Wymagania w stosunku do NGO muszą być starannie wyważone pomiędzy technologiczną wykonalnością i rzeczywistymi operacyjnymi potrzebami (a nie chęciami).

Na podstawie dogłębnej analizy potrzeb użytkowników (im większy krąg użytkowników ma możliwość wyrażenia swojej opinii w zakresie oczekiwanego przez nich poziomu NGO, tym wyniki analizy są bardziej wiarygodne) powinien zostać opracowany dokument określający racjonalny poziom NGO dla danego systemu.

Wydaje się, że kluczem do rozwoju nowo wprowadzanych do użytkowania systemów uzbrojenia, charakteryzujących się satysfakcjonującym poziomem NGO, jest potraktowanie NGO jako integralnej części inżynierii systemów technicznych i permanentne eliminowanie uszkodzeń i rodzajów uszkodzeń poprzez ich identyfikację, klasyfikację, analizę lub łagodzenie ich skutków. Powyższe działania powinny rozpoczynać się w fazie pozyskiwania presystemów i być kontynuowane poprzez następne fazy cyklu życia systemów uzbrojenia (rozwoju konstrukcji, produkcji, eksploatacji).

LITERATURA

- [1] *Best Practices: Setting Requirements Differently Could Reduce Weapon Systems' Total Ownership Costs*, GOA final report, 2003.
- [2] Cempel C., *Teoria i inżynieria systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego*, ITE-PIB, Radom 2008.
- [3] David E. Mortin, Stephen P. Yukas, Michael J. Cushing, *Five Key Ways to Improve Reliability*, RAC Journal 2Q 2003.
- [4] *DoD Guide for achieving Reliability, Availability, and Maintainability*, 2005.
- [5] *Reliability Performance Today*, ATEC/PEO C3T Day, AEC R&M Directorate, 27 July 2010.
- [6] *DoD Instruction No 500.02, Operation of the Defense Acquisition System*, 2008.
- [7] Hebda M. Mazur T., *Podstawy eksploatacji pojazdów samochodowych*, WKiŁ, Warszawa 1980.
- [8] *Eksploatacja wojskowych pojazdów mechanicznych, część 2*, pod red. Kowalski K., WSOWL, Wrocław 2007.
- [9] Michael L. Cohen, John B. Rolph, and Duane L. Steffey, *Statistics, Testing, and Defense Acquisition - New Approaches and Methodological Improvements*, National Academy Press, Washington D.C., 1998.
- [10] Niziński S., *Eksploatacja obiektów technicznych*, ITE, Radom 2002.

- [11] Niziński S., Michalski R., *Utrzymanie pojazdów i maszyn*, ITE-PIB, Radom 2007.
- [12] Nowakowski T., *Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych*, PW, Wrocław 1999.
- [13] PN-93/N50191, *Słownik terminologiczny elektryki. niezawodność; jakość usługi*.
- [14] Villemeur A., *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment*, Wiley 1992.

DEPENDABILITY DEVELOPMENT OF WEAPONS SYSTEMS IN ASPECT OF USERS NEEDS

Summary

Further needs of weapons systems dependability development have been noticed. The life cycle of technical systems with respect to material existence and acquisition process are presented. The main concepts related to dependability are defined. The stages of achieving reliability, availability and maintainability (RAM) of weapons systems are described. RAM achievement in the context of widely understood users' needs are depicted. The principles of selecting and characterising RAM metrics are given.

Key words: *reliability, availability, maintainability, weapons systems*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. inż. Andrzej NIEWCZAS