

doc.dr inż. HENRYK ORŁOWSKI
Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP
W a r s z a w a

METODYKA BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH UKŁADÓW AUTOMATYKI Z KOMPUTERAMI (Artykuł dyskusyjny)

Artykuł stanowi próbę usystematyzowania pojęć występujących w dziedzinie badań układów automatyki z komputerami oraz propozycję metody badań eksploatacyjnych tych układów.

1. Wstęp

Z punktu widzenia dostawcy wyrobów, działającego w warunkach gospodarki rynkowej, zwłaszcza otwartej, jest rzeczą bardzo istotną określenie w jakim stopniu wyrób spełnia potrzeby odbiorcy. Twierdzenie to ma pełne zastosowanie przede wszystkim w przypadku tak złożonych wyrobów jakimi są układy automatyki z komputerami, składające się, jak wiadomo, zarówno ze sprzętu jak i z oprogramowania, oraz w przypadku dostawcy, którym jest WOG Zjednoczenie Przemysłu Automatyki i Aparatury Pomiarowej MERA.

Znajomość stopnia potrzeb odbiorców umożliwia przedsięwzięcie lub ukierunkowanie całego szeregu działań, jak np.: wprowadzenie zmian konstrukcyjnych dla polepszenia niezawodności sprzętu, opracowanie języka programowania ułatwiającego wprowadzenie zmian do programów w przypadku zmian procesu technologicznego i inne. Kierunku szeregu z tych działań nie można z góry przewidzieć, nawet jeżeli sam problem jest znany i pozornie oczywisty. Na przykład jest rzeczą znaną, że zarówno zwiększanie ilości zapasów części zamiennych jak i zwiększanie personelu służb konserwatorskich zwiększa wykorzystanie techniczne sprzętu. Jednak dopiero wyniki badań ilościowych, dla konkretnej klasy układów mogą dać podstawy kierownictwu WOG-u do podjęcia decyzji o tym co należy zwiększać w większym stopniu. Odpowiednie badania służą również nabywcy,

który dany układ eksploatuje, umożliwiają bowiem zwiększenie efektów z wykorzystania układu. Aby tak się stało w rzeczywistości, to znaczy, aby badania zamiast przysporzyć kłopotów użytkownikowi, przyniosły mu korzyści, muszą być odpowiednio przeprowadzone. Będzie o tym mowa w dalszej części artykułu.

Rozpatrując badania układów automatyki z komputerami, należy zwrócić uwagę na specyfikę badań wynikającą z wielkości przedmiotów badań. Wynika z tego po pierwsze brak możliwości badań niszczących, lub długotrwałych w nienormalnych warunkach pracy, z uwagi na kosztowność układu, a po drugie brak możliwości bezpośredniego wyciągania wniosków, spowodowany tym, że duże układy automatyki z komputerami są na ogół niepowtarzalne (tak z uwagi na różnicę obiektów, jak i na zmiany z roku na rok poszczególnych elementów sprzętu i oprogramowania, z których układ się składa).

Artykuł niniejszy stanowi próbę usystematyzowania pojęć występujących w dziedzinie badań układów automatyki z komputerami oraz pewną propozycję metody badań eksploatacyjnych tych układów.

2. Klasyfikacja badań

Z punktu widzenia przedmiotu badań, badania układów z komputerami można podzielić na badania: sprzętu, oprogramowania, efektywności.

Pod pojęciem badań efektywności będziemy rozumieli te badania, które będą służyć wyjaśnieniu w jakim stopniu układ służy użytkownikowi, tzn. jaka jest efektywność jego działania. Do badań efektywności również będziemy zaliczać badania na zgodność działania układu z danymi zawartymi w założeniach techniczno-ekonomicznych lub wymaganiach zatwierdzonych przez zamawiającego układ. To ostatnie stwierdzenie jest istotne dla przypadków, gdy układ wykonany według życzeń zamawiającego, bez winy dostawcy, nie przynosi spodziewanych efektów.

Z punktu widzenia fazy badań, badania układów z komputerami można podzielić na badania: produkcyjne, makietowe, uruchomieniowe, eksploatacyjne.

Badania produkcyjne służą przebadaniu poszczególnych elementów układu oraz współpracy poszczególnych elementów z elementami sąsiednimi. Badania produkcyjne kończą fazę produkcji każdego elementu, są realizowane przez producenta, a dowodem ich zrealizowania jest atest, którego należy wymagać dla każdego składowego urządzenia komputerowego układu automatyki.

Istotnym zagadnieniem w badaniach produkcyjnych jest badanie zdolności współpracy konkretnego urządzenia z urządzeniami sąsiednimi. Są stosowane dwa sposoby przeprowadzenia tych badań: przez zastosowanie danego urządzenia, lub przez zastosowanie symulatora. Uważam, że lepsze jest zastosowanie symulatora, pod warunkiem, że jest to dobry symulator. Przez dobry symulator rozumiem symulator, który nie tylko w pełni i wiernie symuluje działanie rzeczywistego urządzenia, ale również umożliwia wytwarzanie sygnałów odchylnych od normy, np. o obniżonej amplitudzie, zakłóconych.

Badania makietowe, zwane w części literatury zagranicznej badaniami na platformie, służą przebadaniu pracy elementów w całym układzie i współpracy układu z makietą obiektu. W ramach badań makietowych można i należy przebadać znaczną część oprogramowania. Na ogół badania makietowe umożliwiają przebadanie całości oprogramowania, bez programów optymalizacyjnych. Badania makietowe przeprowadza kompletator układu i stanowią one zakończenie fazy kompletacji. Należy zdawać sobie sprawę z tego, że badania makietowe wymagają dużych powierzchni oraz symulatorów obiektów, dlatego prowadzenie ich, zwłaszcza jednocześnie dla dużej liczby układów jest kosztowne i kłopotliwe. Z drugiej strony, właściwe przeprowadzenie badań makietowych skraca cykl generalnej dostawy, ponieważ badania w siedzibie dostawcy wymagają mniejszej pracochłonności i umożliwiają bardziej intensywne wykorzystanie personelu wysoko kwalifikowanego.

Badania uruchomieniowe, przebiegają w trakcie rozruchu komputerowego układu automatyki na obiekcie, a ich uwieńczeniem jest próba wielogodzinnej pracy układu, w przypadku pracy prawidłowej stanowiąca podstawę do odbioru układu przez zleceniodawcę. Dla obiektów o ruchu ciągłym proponu-

je się czas próby 72 godz., dla obiektów o pracy 1 i 2 zmianowej proponuje się próbę w pełnym czasie pracy, w 3 kolejnych dobach.

Przez pracę prawidłową nie rozumie się pracy bez uszkodzeń i przekłamań, ale takie funkcjonowanie komputerowego układu automatyki, które spełnia warunki techniczne, w tym wskaźniki niezawodnościowe, będące załącznikiem do umowy na dostawę układu.

Nie w każdej fazie badań jest możliwe lub celowe wykonanie wszystkich rodzajów badań. Poza tym jest istotna kolejność badań. Zależności te ilustruje tablica.

Tablica 1

Plan kolejności badań

	sprzętu	oprogramowania	efektywności
produkcyjne	1	1 - 2	-
makietyowe	2	3	-
uruchomieniowe	4	5	-
eksploatacyjne	6	6	6

3. Badania eksploatacyjne

Charakterystyczne dla badań eksploatacyjnych jest to, że odbywają się one jednocześnie z użytkowym wykorzystaniem układu, nie mogą zatem powodować zakłóceń w pracy układu, ani absorbować czasu i środków układu przeznaczonych do wykonywania prac użytkowych. W okresie badań eksploatacyjnych układ znajduje się w gestii odbiorcy, a nie dostawcy i od dobrej woli odbiorcy zależy możliwość przeprowadzenia badań.

Z uwagi na te cechy, badania eksploatacyjne nie mogą dotyczyć wszystkich interesujących producenta parametrów, na przykład szerokości marginesu zmian warunków otoczenia, przy których układ pracuje poprawnie.

3.1. Badania eksploatacyjne sprzętu

Badanie eksploatacyjne sprzętu proponuje się prowadzić w celu ustalenia wartości następujących wskaźników:

- średniego czasu pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami,
- średniego czasu naprawy,
- średniego czasu oczekiwania na naprawę,
- współczynnika wykorzystania technicznego,
- współczynnika profilaktyki.

Definicje średniego czasu pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami i średniego czasu naprawy przytoczymy za normą [1].

Średni czas pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami i -tego układu lub urządzenia $T_{\lambda i}$ jest to wartość oczekiwana (średnia) zmiennej losowej oznaczającej czas pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami:

$$T_{\lambda i} = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} t_{ij} \quad /1/$$

gdzie:

- m_i - liczba uszkodzeń i -tego układu lub urządzenia w rozpatrywanym okresie eksploatacji,
- t_{ij} - czas pracy użyteczny (tj. bez profilaktyki) i -tego układu lub urządzenia od ukończenia naprawy po $j-1$ uszkodzeniu, do j -tego uszkodzenia.

Średni czas naprawy $T_{\mu i}$ jest to wartość oczekiwana zmiennej losowej oznaczającej czas naprawy obiektu:

$$T_{\mu i} = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} t_{\mu ij} \quad /2/$$

gdzie:

- $t_{\mu ij}$ - czas naprawy i -tego układu lub urządzenia w celu usunięcia j -tego uszkodzenia, obejmujący sumę czasów lokalizacji uszkodzenia, usunięcia uszkodzenia i kontroli zdatności układu lub urządzenia do pracy.

Średni czas oczekiwania na naprawę T_{oi} definiujemy jako wartość oczekiwaną

(średnią) zmiennej losowej oznaczającej czas oczekiwania na naprawę.

$$T_{oi} = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} t_{oij} \quad /3/$$

gdzie:

t_{oij} - czas oczekiwania na naprawę j-tego uszkodzenia w i-tym układzie lub urządzeniu, tj. czas od momentu uszkodzenia do momentu rozpoczęcia naprawy.

Współczynnik wykorzystania technicznego K_{tf} definiujemy jako stosunek czasu przebywania układu lub urządzenia w stanie zdolności do pracy do sumy czasów: przebywanie obiektu w stanie zdolności, wykonywania czynności profilaktycznych, oczekiwania na naprawy i czasu napraw w określonym okresie eksploatacji.

$$K_{tf} = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} t_{ij}}{\sum_{j=1}^{m_i} t_{ij} + \sum_{j=1}^{m_i} t_{oij} + \sum_{j=1}^{m_i} t_{\mu ij} + \sum_{j=1}^{m_i} t_{prij}} \quad /4/$$

gdzie:

t_{prij} - czas trwania j-tej obsługi profilaktycznej i-tego układu lub urządzenia, przy czym wielkie prace konserwacyjne rozumiane są jako należące do profilaktyki.

Współczynnik profilaktyki K_{pr} definiujemy jako stosunek czasu wykonywania czynności profilaktycznych do czasu pracy użytecznej w określonym okresie eksploatacji:

$$K_{pr} = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} t_{prij}}{\sum_{j=1}^{m_i} t_{ij}} \quad /5/$$

Średni czas pracy pomiędzy dwoma kolejnymi uszkodzeniami $T_{\lambda i}$ (ang. MTBF) jest najpopularniejszym wskaźnikiem niezawodnościowym, chętnie używanym zarówno przez dostawców jak i przez odbiorców sprzętu. Już ten wzgląd byłby wystarczający, aby należało go znać dla produ-

kowanych układów, a w związku z tym badać. Drugą przyczyną jest to, że wskaźnik ten jest najpełniejszym wskaźnikiem mówiącym producentowi o jakości sprzętu, który jest produkowany. Dla użytkownika może być korzystniejszy sprzęt o mniejszym T_{λ_i} , ale o większym współczynniku wykorzystania technicznego, dla producenta natomiast każde zmniejszenie T_{λ_i} świadczy o pogorszeniu pracy fabryki, zwiększenie T_{λ_i} świadczy o poprawie. Inna sprawa, że dla nowoczesnych układów elektronicznych badanie T_{λ_i} jest praktycznie niewykonalne. Przewodzący producenci minikomputerów określają bowiem aktualnie T_{λ_i} dla jednostek centralnych minikomputerów (łącznie z pamięciami operacyjnymi) na poziomie 10000 godz. Jest rzeczą jasną, że zanim takie twierdzenie można by zweryfikować z dostateczną wiarygodnością statystyczną, określony typ minikomputera nie będzie już produkowany. Są to zatem wielkości uzyskane drogą wyliczeń, a nie badań eksploatacyjnych. W naszym przypadku, ponieważ z jednej strony rozważamy układy bardzo złożone, zawierające liczne urządzenia, w tym mechaniczne z częściami ruchomymi, a z drugiej strony jakość produkcji elektronicznej nie jest jeszcze na najwyższym poziomie, badania eksploatacyjne dla ustalenia T_{λ_i} są potrzebne.

Średni czas naprawy jest istotnym dla producenta wskaźnikiem informującym go czy konstrukcja wyrobu i serwis są we właściwy sposób przygotowane na wypadek awarii.

Pojawienie się uszkodzeń należy traktować jako zjawisko nieuchronne, z kolei użytkownik jest głównie zainteresowany tym, aby uzyskać wysoki współczynnik wykorzystania technicznego, co można uzyskać redukując czas napraw. Średni czas napraw jest wskaźnikiem szeregu podstawowych cech układu: czy konstrukcja umożliwia łatwą lokalizację i wymianę uszkodzonych części, czy przewidziano i dostarczone odpowiedni zapas części zamiennych, czy układ wyposażono w odpowiednie przyrządy serwisowe, czy instrukcje naprawcze są dobre, czy dokumentacja ruchowa jest dobra, czy kursy dla personelu konserwacyjnego są dobre itd. Średni czas napraw zależy również od programowania, mianowicie od jakości programów diagnostycznych, służących lokalizacji uszkodzenia i od jakości programów testujących, służących do sprawdzenia, czy uszkodzenie zostało usunięte.

Średni czas oczekiwania na naprawę jest wskaźnikiem określającym stan przygotowania służb serwisowych do pełnienia zadań. Z punktu widzenia użytkownika czas ten powinien być minimalny, z drugiej strony malejąca podaż siły roboczej w Polsce, a w ślad za tym wprowadzone wskaźniki zatrudnienia, powodują, że użytkownik woli, albo nawet musi, ograniczyć liczebność personelu serwisowego. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym jest trudność znalezienia odpowiednich kandydatów i ich wykształcenia.

Doświadczenie przodujących firm wskazuje, że gdy T_{λ_i} jest rzędu miesięcy, co jest wskaźnikiem realnym do osiągnięcia, można obowiązek napraw uszkodzeń przerzucić na służbę konserwacyjną dostawcy. Jedna ze znanych firm komputerowych oferowała, dla swojego komputerowego układu automatyki przeznaczonego dla statku, usługę serwisową za zryczałtowaną opłatą roczną, relatywnie bardzo niską (ok. 1 % ceny układu). W ramach tej służby gwarantowano, że w ciągu 48 godz. od zawiadomienia, w dowolnym wskazanym porcie handlowym świata będzie oczekiwać specjalista od napraw z częściami zamiennymi i odpowiednimi przyrządami. Przed 10 laty (epoka urządzeń tranzystorowych) firma angielska sprzedająca komputerowe układy automatyki dla obiektów przemysłowych, zapewniała maksymalny czas oczekiwania na naprawę rzędu kilku godzin, przy czym usługę tę podejmowano tylko w przypadku zgrupowania co najmniej kilku instalacji na jednym terenie. Średni czas oczekiwania na naprawę zależy nie tylko od stopnia dostępności specjalistów, ale również od innych elementów, w/w przy omawianiu średniego czasu naprawy. Im łatwiejsza jest bowiem naprawa, tym mniejszej klasy specjalista może ją wykonać, a tym samym tym krótszy może być czas oczekiwania na naprawę.

Współczynnik wykorzystania technicznego, jest wskaźnikiem najistotniejszym dla użytkownika układu. Współczynnik ten bezpośrednio wskazuje na opłacalność zainstalowanego układu. Już na etapie założeń techniczno-ekonomicznych na układ, można (znając spodziewane efekty zastosowania układu i koszt układu) określić przy jakim K_{tf} zastosowanie układu jest opłacalne. Stąd dostawca układu powinien znać K_{tf} . W interesie zamawia-

jącego układ, jest zagwarantowanie sobie w umowie otrzymania układu o określonym K_{tf} jako jedynym wskaźniku niezawodnościowym.

Badanie współczynnika profilaktyki K_{pr} jest istotne dla producenta układu, który jest zobowiązany do podania użytkownikowi programu badań profilaktycznych. Zwiększanie K_{pr} powoduje bezpośrednio obniżanie K_{tf} , czyli obniżanie wynikowej efektywności ekonomicznej urządzenia. Z drugiej strony intuicyjnie jesteśmy przekonani, że zmniejszanie K_{pr} prowadzi do tych samych niekorzystnych skutków poprzez wzrost ilości uszkodzeń m_1 . Dla każdego układu i urządzenia w układzie istnieje zatem optymalna wartość K_{pr} , dla której K_{tf} jest największe. Badanie K_{pr} nie polega na pomiarze wartości współczynnika, bo jest on zdeterminowany instrukcją eksploatacyjną, ale na badaniu korelacji pomiędzy K_{pr} a K_{tf} .

3.2. Badania eksploatacyjne oprogramowania

Badania eksploatacyjne oprogramowania u odbiorcy prowadzą się do rejestracji ilości wykrytych błędów działania oprogramowania, wraz z rejestracją natury tych błędów. Badania te służą producentowi do: usunięcia błędów, usprawnienia metod badania oprogramowania w fazie produkcji i uruchamiania, ustalenia, które jednostki produkcyjne oprogramowania (ew. personalnie którzy programiści) pracują lepiej, a którzy gorzej.

Przy analizie zgłoszonego błędu należy przede wszystkim rozstrzygnąć, czy błąd wynika ze źle sformułowanych założeń na układ w stosunku do rzeczywistych potrzeb obiektu (np. nie przewidziano, że układ może wymagać rozruchu również w przypadku, gdy określony zawór jest całkowicie zamknięty), czy błąd wynika ze złego dobrania metod numerycznych lub złego zakodowania programu (np. procedura optymalizacyjna zatrzymuje poszukiwanie, po znalezieniu pierwszego lokalnego ekstremum). Tylko błędy drugiej kategorii obciążają dostawcę komputerowego układu automatyki i muszą być przez niego analizowane.

Przy usuwaniu błędów każdy przypadek musi być rozpatrzony i uwzględniony, czy to drogą usunięcia błędu, czy to drogą udzielenia odpowiednich instrukcji dla obsługi, w celu uniknięcia na przyszłość sytuacji, w których błąd może się pojawić. Ponieważ usunięcie błędu kosztuje i musi

być w kalkulowane w koszty opracowywanego oprogramowania, dla producenta oprogramowania jest istotny wskaźnik statystyczny określający stopę błędów oprogramowania. Proponuje się wprowadzenie jako wskaźnika błędu dla oprogramowania danej klasy komputerowych układów automatyki, współczynnika błędu oprogramowania K_{bo} , zdefiniowanego jako stosunek liczby zmienionych instrukcji, do liczby wszystkich instrukcji:

$$K_{bo} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{p \in M_i} l_p}{\sum_{i=1}^n \sum_{p \in M_i} k_p} \quad /6/$$

gdzie:

n - liczba komputerowych układów automatyki danej klasy,

M_i - zbiór nazw programów (podprogramów) stosowanych w i -tym układzie ($i=1, \dots, n$)

l_p - liczba instrukcji zmienionych w p -tym programie (podprogramie)

k_p - liczba wszystkich instrukcji p -tego programu (podprogramu).

Z punktu widzenia usprawnienia metod badania oprogramowania, każdy stwierdzony przypadek błędu oprogramowania powinien być przeanalizowany przez producenta. W wyniku tej analizy producent może uzupełnić metody badań w celu eliminowania na przyszłość błędów tego rodzaju, lub stwierdzić, że zmiana metod badania jest niecelowa. Niecelowość ta będzie wynikać z nieopłacalności, spowodowanej zbyt dużym kosztem modyfikacji lub prowadzenia badań, w stosunku do strat spowodowanych tego typu błędami. Dla takiej analizy należy rejestrować ilość błędów m.in. w rozbiciu na rodzaje.

Z punktu widzenia oceny jakości pracy poszczególnych jednostek produkujących oprogramowanie (ew. programistów) należy wyliczać dla poszczególnych jednostek (programistów) wskaźnik jakości produkcji oprogramowania K_{po}^h , zdefiniowany jako stosunek liczby zmienionych instrukcji do liczby wszystkich wyprodukowanych instrukcji, w odniesieniu do h -tej jednostki produkującej oprogramowanie, bez uwzględniania liczby powieleń (zastosowań) tego oprogramowania:

$$K_{po}^h = \frac{\sum_{p \in H_h} l_p}{\sum_{p \in H_h} k_p} \quad /7/$$

gdzie:

H_h - zbiór nazw programów (podprogramów) pisanych przez h-tą jednostkę produkującą oprogramowanie.

Porównując wzory /6/ i /7/ można łatwo zauważyć, że skutki tego samego błędu, w tym samym programie zastosowanym w różnych układach, są zliczane wielokrotnie przy obliczaniu K_{bo} , a jednokrotnie przy obliczaniu K_{po}^h . Jest to zgodne z sensem techniczno-ekonomicznym tych współczynników. Z punktu widzenia strat producenta, spowodowanych błędami w oprogramowaniu, do oceniania których służy współczynnik K_{bo} , istotne jest, w ilu układach musiano błąd usuwać. Natomiast z punktu widzenia oceny programisty istotne jest tylko to, ile błędów on zrobił.

3.3. Badania eksploatacyjne efektywności

Efektywność komputerowych układów automatyki może być oceniona z dwóch punktów widzenia: użytkownika i dostawcy. Pewne badania mogą oczywiście służyć obu celom.

Z punktu widzenia gospodarki WOG jest istotny tylko drugi punkt widzenia, zwłaszcza że:

- w naszych warunkach zadania automatyzacji są większe niż możliwości przerobowe ZPAiAP MERA, Zjednoczenie MERA nie musi zatem obecnie prowadzić badań, dla uzasadnienia celowości automatyzacji dla konkretnych użytkowników.
- Zgodnie z Uchwałą nr 289 R.M. z dnia 21.12.1973 r. jednostki naukowo-badawcze należące do WOG mogą naliczać efekty ekonomiczne swojej działalności biorąc za podstawę efekty ekonomiczne u użytkownika. Ponieważ dotyczy to tylko zaplecza, a nie produkcji WOG-u, należy traktować te przypadki jako szczególne, badane przez jednostki zaplecza we własnym interesie.
- Z uwagi na specyfikę, dla każdego obiektu badań efektywności prowa-

dzonych z punktu widzenia użytkownika, realizacja tych badań przez branżę automatyki, byłaby zbyt absorbująca dla tej branży, bowiem wymaga bardzo głębokiego wnikania w naturę obiektu.

Z punktu widzenia dostawcy, dla oceny efektywności podstawowe znaczenie ma analiza kosztów własnych dokonywana na etapie dostawy, tym niemniej, z uwagi na rosnący udział, jest istotna znajomość struktury i źródeł powstawania kosztów dla dostawcy, powstających na etapie eksploatacji. Koszty te można podzielić w sposób następujący: koszty napraw gwarancyjnych sprzętu, koszty usuwania zawinionych błędów oprogramowania, rentowność prowadzenia działalności serwisowej.

Badanie kosztów napraw gwarancyjnych i kosztów usuwania zawinionych przez dostawcę błędów oprogramowania, jest dla dostawcy konieczne w celu ustalenia, czy w kalkulacji służącej za podstawę przyjęcia w umowie określonej ceny zbytu układu, przyjęto prawidłowe koszty napraw i poprawek. Badania tych kosztów pozwalają na przyszłość ustalać bardziej prawidłowy ich udział w cenie zbytu.

Dla dostawcy badanie rentowności prowadzenia działalności serwisowej ma na celu ustalenie podstaw do podejmowania decyzji strategicznych, których sens można ogólnie streścić w sposób następujący: czy lepiej jest produkować solidnie, czy lepiej jest później naprawiać. Kryterium sterowania będzie maksymalizacja wskaźników WOG-u, przy ograniczeniach na WOG nałożonych.

Te badania rentowności muszą być prowadzone w dwóch horyzontach czasowych: w okresie zobowiązań dostawcy z tytułu gwarancji i rękojmi, oraz w okresie dalszej eksploatacji.

Z punktu widzenia producenta nie tylko jest istotny sumaryczny dochód z prowadzenia działalności serwisowej, ale i badanie udziału w pracach serwisowych wykwalifikowanej siły roboczej, dla wyciągnięcia wniosków odnośnie skutków ewentualnego przesunięcia tej siły roboczej do sfery produkcji. Szczegółowe rozważania na ten temat wykraczają poza ramy niniejszego artykułu.

Jako wskaźnik kosztów napraw gwarancyjnych sprzętu proponuje się przyjąć współczynnik zdefiniowany jako procentowy stosunek kosztów na-

praw gwarancyjnych do całkowitych kosztów dostawy układu w zakresie sprzętu:

$$K_n = \frac{\sum_{j=1}^{m_{gi}} c_j}{C} \cdot 100 [\%] \quad /8/$$

gdzie:

m_{gi} - liczba napraw gwarancyjnych sprzętu w układzie w okresie gwarancji,

c_j - koszt j-tej naprawy gwarancyjnej sprzętu,

C - całkowity koszt układu w zakresie sprzętu.

Na koszt C składają się: koszt kompletacji, transportu, montażu, uruchomienia, części zamiennych i suma poniesionych kosztów napraw gwarancyjnych.

Jako wskaźnik kosztów usuwania zawinionych błędów oprogramowania proponuje się przyjąć współczynnik K'_n zdefiniowany jako procentowy stosunek kosztów usuwania usterek do całkowitych kosztów dostawy układu w zakresie oprogramowania:

$$K'_n = \frac{\sum_{j=1}^{m'_{gi}} c'_j}{C'} \cdot 100 [\%] \quad /9/$$

gdzie:

m'_{gi} - liczba zawinionych przez dostawcę błędów oprogramowania stwierdzonych w układzie w okresie rękojmi udzielonej na oprogramowanie,

c'_j - koszt usunięcia j-tego błędu oprogramowania,

C' - całkowity koszt układu w zakresie oprogramowania.

Zgodnie z poprzednim stwierdzeniem w pracy tej nie będzie omawiany problem miary rentowności prowadzenia działalności serwisowej. Wydaje się, że dla dokonania interesujących dostawcę analiz, poza danymi znanymi mu z okresu dostawy, w okresie eksploatacji muszą być dla badanego układu gromadzone dane:

- c_r - sumaryczny koszt wykwalifikowanej siły roboczej (z rozróżnieniem dostawcy i użytkownika), zużytej na działalność serwisową,
- c_s - średni koszt części zamiennych w rezerwie dla zabezpieczenia działalności serwisowej danego układu,
- z_{si} - sumaryczny zysk uzyskany z działalności serwisowej (dotyczy okresu pogwarancyjnego) odnośnie danego układu.

4. Organizacja badań eksploatacyjnych

4.1. Przedmiot badań eksploatacyjnych

W tabelicy 2 zestawiono wszystkie zmienne, które są potrzebne do wyliczenia wskaźników wymienionych w rozdziale 3.

Łatwo spostrzec, że nie wszystkie wymienione zmienne wymagają oddzielnej rejestracji w procesie badań eksploatacyjnych. Zmienne m_{gi} , m'_{gi} , m_i , n - to liczebność zdarzeń rejestrowanych oddzielnie. Wartość zmiennej c'_j można wyliczyć z dostatecznym przybliżeniem na podstawie znajomości wartości l_p i cennika oprogramowania.

Wartości zmiennych C , C' , k_p , n , oraz listy (wykazy) H_h , M_i - otrzymuje się jednorazowo z materiałów, którymi dysponuje dostawca.

Pozostałe dane należy uzyskać w trakcie badań eksploatacyjnych, przy czym dane c_j , c_r , c_s , l_p , z_{si} otrzymuje się na podstawie badania materiałów będących w dyspozycji dostawcy, a jedynie c_s , t_{ij} , t_{oij} , t_{prij} , $t_{\mu ij}$ (czyli 5 danych) wymagają rejestracji u odbiorcy.

Innym problemem dotyczącym przedmiotu badań, jest pytanie co ma być badane (stopień agregatyizacji przedmiotów badań). Jest rzeczą oczywistą, że jednym z przedmiotów badań musi być cały komputerowy układ automatyki. Badania innych jednostek należy prowadzić, jeżeli występują uzasadnione potrzeby. Możliwe sugestie są następujące: podukłady realizujące samodzielne zadania również w przypadku awarii całego układu, jednostki centralne komputerów z pamięciami operacyjnymi, pamięci pomocnicze, zasilacze itp. Jako zasadę wyboru należy przyjąć, że indywidualne badania należy prowadzić dla jednostek najczęściej ulegających uszkodzeniu.

Lp.	Oznaczenie	N a z w a	Jednostka miary	Wskaźnik dla którego wyliczenia dana jest potrzebna		U w a g i
				5	6	
1	2	3	4	5	6	7
1	c_j	Koszt j-tej naprawy gwarancyjnej sprzętu	zł	K_n	8	dana z badań u dostawcy
2	c'_j	Koszt usunięcia j-tego błędu oprogramowania	zł	K'_n	9	obliczone na podstawie l_p
3	c_r	Sumaryczny koszt wykwalifikowanej siły roboczej zużytej na działalność serwisową	zł			dana z badań u dostawcy
4	c_s	Średni koszt części zamiennych w rezerwie	zł			dana z badań u odbiorcy i dostawcy
5	C	Całkowity koszt układu w zakresie sprzętu	zł	K_n	8	dana dostawcy
6	C'	Całkowity koszt układu w zakresie oprogramowania	zł	K'_n	9	dana dostawcy

1	2	3	4	5	6	7
7	H_h	Zbiór nazw programów (podprogramów) pisanych przez h-tą jednostkę produkującą oprogramowanie	lista	K_{po}^h	7	dana dostawcy
8	k_p	Liczba instrukcji w p-tym programie (podprogramie)	sztuk	K_{bo}^h, K_{po}^h	6,7	dana dostawcy
9	l_p	Liczba instrukcji, które uległy zmianie wskutek usuwania błędów w p-tym programie (podprogramie)	sztuk	K_{bo}^h, K_{po}^h	6,7	dana z badań u dostawcy
10	m_{gi}	Liczba napraw gwarancyjnych sprzętu w i-tym układzie w okresie gwarancji	sztuk	K_n	8	na podstawie ilości zarejestrowanych pozycji c_j
11	m'_{gi}	Liczba zawinionych przez dostawcę błędów oprogramowania stwierdzonych w i-tym układzie w okresie rękojmi udzielonej dla oprogramowania	sztuk	K'_n	9	na podstawie ilości zarejestrowanych pozycji c_j
12	M_i	Zbiór nazw programów (podprogramów) stosowanych w i-tym układzie	lista	K_{bo}	6	dana dostawcy
13	m_i	Liczba uszkodzeń i-tego układu lub urządzenia w rozpatrywanym okresie eksploatacji	sztuk	T_{λ_i}, T_{μ_i} T_{oi}, K_{tf}, K_{pr}	1,2,3, 4,5	na podstawie zarejestrowanych ilości pozycji t_{ij}
14	n	Liczba komputerowych układów automatyki określonej klasy dostarczonych przez dostawcę	sztuk	K_{bo}^h, K_{po}^h	6,7	dana dostawcy

1	2	3	4	5	7
15	t_{ij}	Czas pracy użytecznej (tj. bez profilaktyki) i-tego układu lub urządzenia od momentu ukończenia naprawy po j-1 uszkodzeniu, do j-tego uszkodzenia	godzin	T_{1i}, K_{tf}, K_{pr} 1,4,5	dana z badań u odbiorcy
16	t_{oij}	Czas oczekiwania na naprawę j-tego uszkodzenia w i-tym układzie lub urządzeniu	godzin	T_{oi}, K_{tf} 3,4	dana z badań u odbiorcy
17	t_{prij}	Czas trwania j-tej obsługi profilaktycznej i-tego układu lub urządzenia	godzin	K_{tf}, K_{pr} 4,5	dana z badań u odbiorcy
18	$t_{\mu ij}$	Czas naprawy i-tego układu lub urządzenia w celu usunięcia j-tego uszkodzenia	godzin	$T_{\mu i}, K_{tf}$ 2,4	dana z badań u odbiorcy
19	Z_{si}	Sumaryczny zysk uzyskany z działalności serwisowej odnośnie danego układu	zł		dana z badań u dostawcy

4.2. Okres badań eksploatacyjnych

Przede wszystkim należy zastanowić się nad terminem rozpoczęcia badań eksploatacyjnych. Praktyka stosowania urządzeń elektronicznych, a zwłaszcza komputerów, wskazuje na to, że początkowy okres używania urządzenia charakteryzuje się zwiększoną liczbą uszkodzeń. Okres ten trwa wg badań PIT [3] 1200-1500 godz. wg moich obserwacji do pół roku przy pracy 1-2 zmianowej. Warto więc w tym okresie prowadzić badania zmierzające do ustalenia długości okresu początkowego (tj. rejestrować liczbę uszkodzeń), natomiast nie poświęcać czasu na badania bardziej szczegółowe (np. współczynnika wykorzystania technicznego).

Jest rzeczą zrozumiałą, że w interesie tak dostawcy jak i odbiorcy jest, aby maksymalny czas z okresu początkowego 1200 godz. przypadł na badania produkcyjne, makietowe i uruchomieniowe. Jest to jedna z przyczyn, dla których badania makietowe powinny być długotrwałe.

Bezwzględny okresem zakończenia badań jest okres zakończenia amortyzacji urządzeń pokrywający się na ogół z okresem jeśli nie technicznego, to ich moralnego zużycia, okres ten nie przekracza 10 lat.

Proponuję, żeby nie prowadzić badań dla urządzeń, nawet stosunkowo nowych, jeżeli dostawca już danych urządzeń nie dostarcza, np. nie badać komputerów II generacji z powodzeniem pracujących u odbiorców, jeżeli dostawca zastąpił je dostawami komputerów III generacji. Nie widać bowiem istotnych korzyści z kontynuacji badań w takiej sytuacji.

Badań nad oprogramowaniem nie należy prowadzić ponad 5 lat, z uwagi na to, że po tym okresie ulegają już istotnemu przeobrażeniu zespoły programujące, których wyniki badań mogłyby dotyczyć.

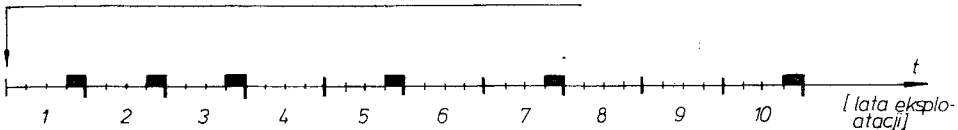
W okresie badań proponuje się ich prowadzenie dla okresu początkowego z horyzontem 1 miesiąca, dla okresu następnego z horyzontem 1 kwartału.

Badania eksploatacyjne mogą być prowadzone ciągle lub warstwowo, przy czym ten drugi sposób ma wiele zalet [2].

Proponuje się, aby badania ciągle prowadzić dla 1 tylko układu określonego rodzaju (np. zestaw SMA-ODRA 1325). Natomiast badania warstwowe prowadzić dla populacji 3 do 5 układów określonego rodzaju w

określonym zastosowaniu (np. zestaw Pniefal III-SMA-Odra 1325 do sterowania ciągłego, nadrzędnego, w przemyśle chemicznym). Warstwy proponuje się przyjąć według rysunku 1 (z ograniczeniem od góry podanym wyżej). Propozycje powyższe są podyktowane troską o maksymalne zredukowanie kosztów i pracochłonności badań eksploatacyjnych.

Koniec kwartału, w którym zakończył się okres początkowy



Rys. 1. Harmonogram badań warstwowych

4.3. Podmiot badań eksploatacyjnych

Ponieważ proponowane powyżej badania eksploatacyjne bezpośrednio są ukierunkowane dla potrzeb dostawcy, a odbiorcy służyć mogą tylko pośrednio i to nie zawsze, jest rzeczą zrozumiałą, że ciężar badań musi spoczywać na dostawcy, natomiast od odbiorcy nie można oczekiwać aktywnego udziału.

Praktyka wykazała, że w okresie gwarancyjnym można wyegzekwować od odbiorcy podanie wiarygodnych danych odnośnie m_1 . Na uzyskanie żądanych innych danych tą drogą nie można liczyć.

Pozostałe dane, tzn. c_s , t_{ij} , t_{wij} , t_{prij} , $t_{\mu ij}$ muszą być zbierane u odbiorcy przez dostawcę.

Jest to możliwe dwoma drogami: albo jeżeli dostawca jest jednocześnie odbiorcą, albo jeżeli dostawca opłaci pracowników odbiorcy za dodatkową pracę związaną ze zbieraniem danych. Ten drugi sposób był stosowany dla zbierania danych z badań środowiskowych przez MERA-PIAP i zdał egzamin.

Istnieje możliwość zbudowania urządzeń do automatycznego rejestrowania czasów t_{ij} i t_{oij} , chociaż nie jest to tak proste. Nie jest zatem pewne, czy stosowanie takich rejestratorów byłoby opłacalne.

5. Wnioski

Kierując się interesem dostawcy komputerowych układów automatyki przedstawiono propozycję metodyki badań eksploatacyjnych, starając się wyważyć stosunek korzyści z wyników badań, z kosztami ich realizacji.

Proponowane badania umożliwiają dostawcy uzyskanie 13 ważnych wskaźników za cenę zbierania 5 danych u odbiorcy i 5 danych na własnym terenie. Dla uzyskania informacji o 10-letniej pracy układu, dane trzeba zbierać w sumie przez okres 1,5 roku.

W proponowanej metodyce odrzucono wykorzystanie wszelkich danych, które jak praktyka uczy, mogą być skażone czynnikami zewnętrznymi, na przykład: badanie liczby reklamacji.

Wiele propozycji zawartych w opracowaniu nie ma oparcia o wyniki badań naukowych, a jedynie o doświadczenie autora. W sytuacji podjęcia zupełnie nowego tematu i potrzeby szybkiego zaproponowania rozwiązań nie mogło być jednak inaczej.

Literatura

- [1] BN-75/3108-01. Automatyczne przetwarzanie informacji. Komputery. Wskaźniki niezawodności.
- [2] Hebda M.: Charakterystyka systemu przetwarzania danych eksploatacyjnych badań niezawodności pojazdu. Referat na III Krajowej Konferencji Diagnostyka i niezawodność systemów, Międzygórze, 10-16.02. 1975 (Będzie opublikowany przez ICT P.Wrocławskiej).
- [3] Prażewska M.: Metoda obliczania średniego okresu międzyawaryjnego projektowanych obiektów technicznych. Referat j.w.
- [4] Kopociński B.: Zarys teorii odnowy i niezawodności, Warszawa, 1973, PWN.