

Tomasz GIESKO

Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

OCENA RYZYKA W PROJEKTOWANIU INNOWACYJNYCH SYSTEMÓW OPTOMECHATRONICZNYCH

Słowa kluczowe

System optomechatroniczny, rozwiązanie innowacyjne, ocena ryzyka, macierz ryzyka.

Streszczenie

Podczas projektowania zaawansowanych systemów optomechatronicznych należy uwzględnić problem zwiększonego ryzyka wynikającego z zastosowania rozwiązań innowacyjnych. Identyfikacja i ocena ryzyka są ważnymi elementami podejścia systemowego w projektowaniu systemów technicznych. W artykule przedstawiono główne obszary ryzyka występujące w procesie projektowania i implementacji systemów optomechatronicznych. Zaprezentowano algorytm oceny ryzyka i modelowy generator macierzy ryzyka. Przedstawiono przykład analizy ryzyka dla systemu automatycznej optycznej inspekcji elementów łożysk tocznych, który został wdrożony w przemyśle motoryzacyjnym.

Wprowadzenie

Złożoność problematyki projektowania systemów optomechatronicznych wynika w znacznym stopniu z interdyscyplinarnego charakteru opracowywanych rozwiązań, stanowiących synergiczną integrację układów i systemów optycznych, mechanicznych, elektronicznych, sterujących i komputerowych. Podstawowe cechy

systemów optomechatronicznych opisano w monografii [2], wskazując m.in. na znaczący i stale zwiększający się udział elementów innowacyjności w ich strukturach. Rozwój systemów optomechatronicznych w zasadniczym stopniu zdeterminowany jest przez postępy technologii optoelektronicznych i informatycznych.

Poważnym problemem towarzyszącym procesom projektowania i wdrażania rozwiązań o charakterze innowacyjnym jest często wyższe ryzyko techniczne i ekonomiczne. Ryzyko w projektowaniu systemów technicznych jest rozumiane jako miara niezdolności osiągnięcia zaplanowanych celów w odniesieniu do założonych kosztów, harmonogramu i ograniczeń technicznych [10]. W literaturze brak jest jednolitej terminologii dotyczącej ryzyka w obszarze technicznym. Ryzyko techniczne obejmuje ogół aspektów związanych z procesem projektowania oraz wytwarzania. Stosowane jest także rozróżnienie na: ryzyko technologiczne (wynikające bezpośrednio z niedojrzałości zastosowanych technologii) i ryzyko techniczne (obejmujące ogół czynników, w tym technologicznych) [9]. Należy uwzględnić ścisły związek ryzyka z podejmowanymi działaniami innowacyjnymi charakteryzującymi się często podwyższonym poziomem niepewności. Wspomaganie identyfikacji źródeł ryzyka związanych z zastosowaniem nowych rozwiązań technicznych umożliwia macierze DSM (*Design Structure Matrix*), które prezentują relacje pomiędzy elementami struktury systemu [1]. Z kolei metody analizy drzewa błędów (*Faults Tree Analysis*), drzewa zdarzeń (*Events Tree Analysis*) oraz analizy FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) są podstawowymi narzędziami identyfikacji potencjalnych błędów oraz estymacji ryzyka. Kompleksowe analizy ryzyka realizowane są coraz częściej z wykorzystaniem modelowania matematycznego i symulacji komputerowych [14]. W procesie analizy ryzyka projektu uwzględnia się także wyniki kompleksowej oceny rozwiązania [8], w tym oceny stopnia dojrzałości wdrożeniowej identyfikującej czynniki ryzyka technologicznego [7].

Rozwój metod identyfikacji i analizy czynników ryzyka technicznego na etapie projektowania systemów optomechatronicznych, z uwzględnieniem ich innowacyjnego i unikatowego charakteru, jest przedmiotem coraz częściej podejmowanych prac badawczych.

1. Ryzyko techniczne w projektowaniu i wytwarzaniu systemów optomechatronicznych

Na podstawie analizy materiału faktograficznego stanowiącego rezultat doświadczeń praktycznych autora zgromadzonych w trakcie realizacji wielu projektów badawczych i przedsięwzięć wdrożeniowych, a także analizy publikacji naukowych [3, 11, 15] zidentyfikowano następujące główne obszary ryzyka technicznego w projektowaniu i wytwarzaniu systemów optomechatronicznych:

- projektowanie (wykorzystane zjawiska fizyczne, koncepcje i metody działania, struktura systemu, oprogramowanie, modelowanie i prototypowanie);

- struktura i materiały (konstrukcja, własności fizyczne, własności materiałowe, własności radiacyjne);
- technologiczny (technologie wytworzenia komponentów, kontrola jakości w procesie wytwarzania);
- wdrożeniowy (proces wdrożenia);
- eksploatacyjny (środowisko eksploatacji produktu, bezpieczeństwo działania i obsługi).

Na etapie szczegółowej identyfikacji potencjalnych źródeł ryzyka w odniesieniu do innowacyjnych systemów optomechatronicznych został wykorzystany zgromadzony zasób wiedzy i doświadczenia praktyczne autora w zakresie projektowania i wdrażania wielu rozwiązań aparatury i urządzeń opracowanych w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB, m.in.: systemów automatycznej optycznej inspekcji AOI [3] i systemów monitorowania procesów zmęczenia materiałów [4]. W tabeli 1 wskazano obszary i wyszczególniono wybrane czynniki wpływające na poziom innowacyjności systemów optycznej inspekcji, które jednocześnie mogą być źródłem ryzyka technicznego.

Tabela 1. Wybrane czynniki mające główny wpływ na poziom innowacyjny systemów optycznej inspekcji (opracowanie własne)

Obszar	Charakterystyka czynników
Metoda obrazowania	– metoda generowania obrazów (2D/3D)
Struktura systemu	– stopień integracji funkcjonalnej i konstrukcyjnej elementów – kompatybilność elementów struktury
Kamera	– rozdzielczość sensora – zakres widmowy sensora i czułość widmowa – rozdzielczość temperaturowa (dla kamer IR) – rozdzielczość przetwornika analogowo-cyfrowego – szybkość rejestracji obrazów – interfejs przesyłania danych
Obiektywy i inne układy optyczne transformacji obrazu	– rozdzielczość optyczna obiektywu – poziom zniekształceń obrazu – możliwość rekonfiguracji parametrów – automatyzacja regulacji parametrów
Systemy oświetleniowe	– zastosowane metody oświetlania strefy pomiarowej – wydajność oświetlaczy
Przetwarzanie i analiza obrazów	– poziom zaawansowania zastosowanych metod – wydajność i efektywność algorytmów – wykorzystanie elementów „sztucznej inteligencji”
Systemy sterowania	– szybkość przetwarzania sygnałów – zastosowanie zaawansowanych algorytmów – możliwość zdalnego nadzoru (telemonitoring) – kompatybilność z innymi urządzeniami
Moduły mechatroniczne	– wydajność i niezawodność układów wykonawczych
Cechy eksploatacyjne	– odporność na czynniki zakłócające

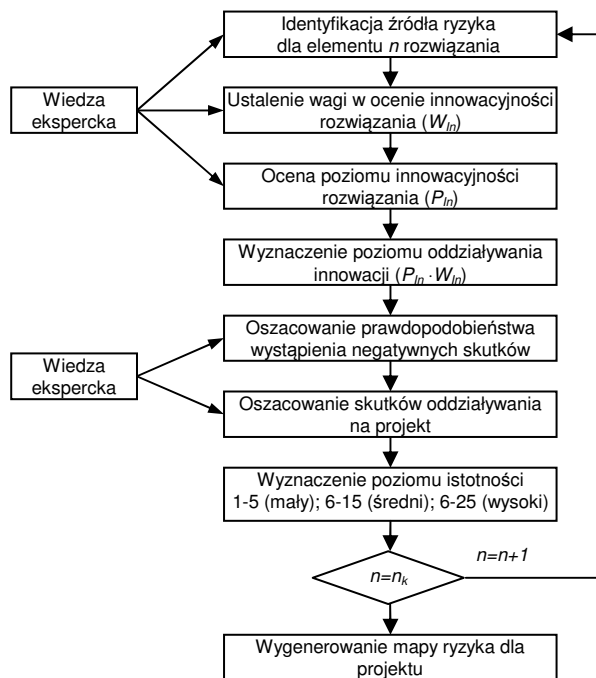
Zasób tabeli powinien być opracowany na drodze szczegółowej analizy danego przypadku, w miarę możliwości z uwzględnieniem wiedzy eksperckiej w zakresie projektowania systemów o charakterze innowacyjnym. Brak wystarczających i dokładnych danych oraz niepełna identyfikacja czynników ryzyka są częstymi przyczynami błędów w prowadzonych analizach ryzyka. Wymienione zjawiska należy zaklasyfikować do ryzyka obiektywego. Równie ważnym elementem jest ryzyko subiektywne związane z działaniem człowieka na etapie identyfikacji czynników ryzyka oraz szacowania jego prawdopodobieństwa [6]. Biorąc pod uwagę wskazane aspekty, proces budowy bazy danych o czynnikach ryzyka powinien być wsparty wiedzą ekspercką.

2. Analiza rozwiązania innowacyjnego z uwzględnieniem czynnika ryzyka

W analizie wykorzystano opracowany program umożliwiający estymację czynników ryzyka dla zidentyfikowanych elementów rozwiązania. Dane wejściowe charakteryzujące zidentyfikowane elementy rozwiązań jako czynniki ryzyka technicznego wprowadzane są przez użytkownika. Algorytm postępowania przedstawiono na rys. 1. Analizę przeprowadzono dla wybranego systemu optomechatronicznego, w którym wykorzystano rozwiązania techniczne o charakterze innowacyjnym. Przedmiotem analizy był opracowany w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB system automatycznej kontroli jakości wyrobów w przemyśle, wdrożony w liniach wytwarzania elementów łożysk tocznych [5]. Wykorzystując zgromadzoną wiedzę, zidentyfikowano główne źródła ryzyka występujące na etapie projektowania systemu, w szczególności w odniesieniu do elementów o cechach innowacyjnych.

Przykładowe okno programu oceny ryzyka technicznego dla analizowanego systemu optycznej inspekcji zaprezentowano na rys. 2. Zaproponowany program służy do identyfikacji czynników ryzyka na etapie projektowania systemów optomechatronicznych. Uwzględniono przyjętą klasyfikację głównych czynników ryzyka technicznego dla systemów optomechatronicznych z uwzględnieniem potencjalnych obszarów innowacyjnych. W procedurze oceny zastosowano listy wyboru umożliwiające wprowadzanie wartości ocen i wag, wykorzystując wiedzę ekspercką lub w oparciu o arbitralne decyzje projektanta. Kolumna prezentująca poziom innowacyjny elementu rozwiązania przedstawia szacowany pozytywny efekt zastosowania innowacji w projektowanym systemie. W ostatniej kolumnie przedstawiony jest poziom istotności jako iloczyn wartości punktowych prezentujących prawdopodobieństwo i poziom oddziaływania skutków negatywnych. Mapa ryzyka technicznego (rys. 3) generowana jest na podstawie danych w kolumnach określających:

- prawdopodobieństwo wystąpienia negatywnych skutków w skali 5-stopniowej (bardzo małe, małe, średnie, wysokie, bardzo wysokie);
- skutki oddziaływania na rozwiązanie w skali 5-stopniowej (bardzo małe, małe, średnie, poważne, bardzo poważne).



Rys. 1. Algorytm oceny ryzyka

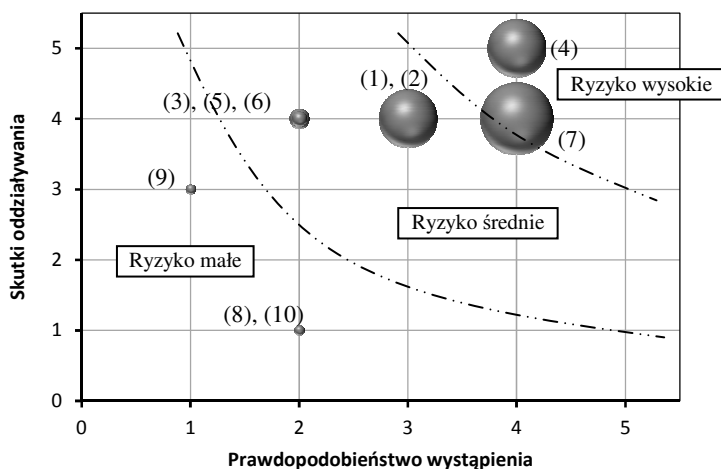
Nr projektu: PW-004/ITE/10/2005/10.610

Tytuł projektu: Automacyjny system optycznej inspekcji do kontroli jakości elementów łożysk tocznych

Lp.	Elementy rozwiązania	Istotne cechy rozwiązania	Ocena innowacyjności rozwiązania	Waga	Poziom innowacyjny rozwiązania	Prawdopodobieństwo wystąpienia skutków negatywnych	Poziom oddziaływania skutków negatyw.	Poziom istotności
1	Kamera CCD do rejestracji obrazów	rozdzielczość sensora; czułość widmowa; szybkość rejestracji i przesyłania danych	4	3	12	średnie (41-60%)	powazne (4)	12 ŚREDNI
2	Obiektyw kamery	rozdzielczość optyczna; poziom zniekształceń obrazu; możliwość rekonfig.	4	3	12	średnie (41-60%)	powazne (4)	12 ŚREDNI
3	System oświetlenia	zastosowane metody oświetlania strefy pomiarowej; niezawodność oświetlacza	2	2	4	małe (21-40%)	powazne (4)	8 ŚREDNI
4	System przetwarzania i analizy obrazów	zaawansowanie algorytmów analizy obrazów; wydajność i efektywność	4	3	12	wysokie (61-80%)	b. powazne (5)	20 WYSOKI
5	System sterowania	szybkość działania; możliwość zdalnego nadzoru (telemonitoring)	2	2	4	małe (21-40%)	powazne (4)	8 ŚREDNI
6	Moduły mechatroniczne	wydajność i niezawodność układów wykonawczych	3	1	3	małe (21-40%)	powazne (4)	8 ŚREDNI
7	Cechy eksploatacyjne	skuteczność usuwania zanieczyszczeń w strefie inspekcji	5	3	15	wysokie (61-80%)	powazne (4)	16 WYSOKI
8	Konstrukcja nośna i obudowa	zastosowane materiały i powłoki ochronne	1	1	1	małe (21-40%)	bardzo małe (1)	2 MAŁY
9	Układy zasilania elektrycznego i	wydajność i niezawodność układów	1	2	2	bardzo małe (0-20%)	średnie (3)	3 MAŁY
10	Interfejs operatora	funkcjonalność i łatwość obsługi; niezawodność	1	2	2	małe (21-40%)	bardzo małe (1)	2 MAŁY

Rys. 2. Widok przykładowego okna programu oceny ryzyka technicznego dla systemu optycznej inspekcji

Na mapie ryzyka, poziom innowacyjny danego elementu rozwiązania jest prezentowany przez średnicę koła.

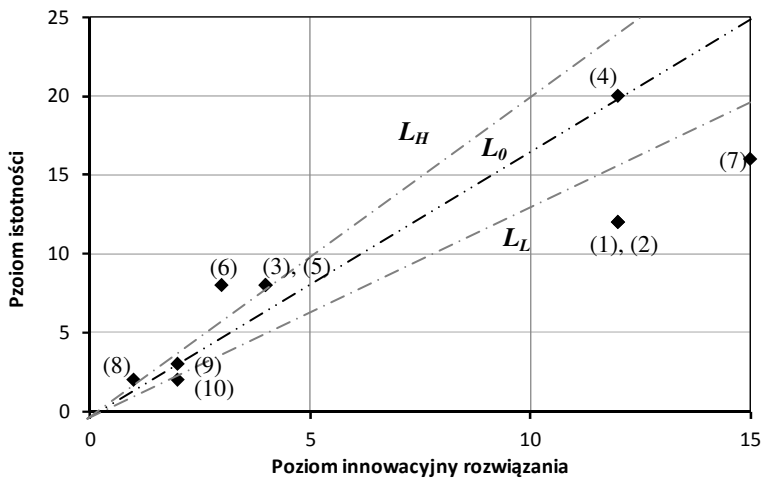


Rys. 3. Mapa ryzyka technicznego dla elementów rozwiązań w systemie optycznej inspekcji (w nawiasach wskazano elementy według specyfikacji w oknie programu przedstawionym na rys. 2)

Porównanie poziomu istotności w odniesieniu do poziomu innowacyjnego elementu rozwiązania umożliwia ocenę danego przypadku przy uwzględnieniu obu aspektów: możliwych skutków negatywnych i efektów pozytywnych przewidywanych do osiągnięcia w wyniku realizacji rozwiązania (rys. 4). Linia L_0 prezentuje umowne „kryterium równowagi” przyjęte dla analizowanego systemu optycznej inspekcji. Rozwiązania powyżej tej linii są obciążone zwiększonym ryzykiem w stosunku do potencjalnych pozytywnych efektów zastosowania rozwiązania innowacyjnego. Działanie projektanta powinno być ukierunkowane na przesunięcie ryzyka poniżej linii ustalonego kryterium równowagi. W zależności od indywidualnej oceny danego przypadku możliwa jest zmiana linii kryterium, dopuszczając zwiększone ryzyko techniczne lub planując jego ograniczenie. Linia L_H prezentuje kryterium równowagi dla dopuszczalnego poziomu istotności ryzyka podwyższonego o 10%, natomiast linia L_L odpowiada kryterium równowagi dla dopuszczalnego poziomu istotności ryzyka ograniczonego o 10%.

W rozpatrywanym przypadku analiza ryzyka technicznego wskazuje na wysoki poziom jego istotności związanego z opracowaniem rozwiązań zapewniających skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z powierzchni kontrolowanego wyrobu, a także dotyczącego opracowania algorytmów przetwarzania i analizy obrazów. Potwierdzeniem są doświadczenia praktyczne z etapu końcowej weryfikacji prototypu w rzeczywistych warunkach eksploatacji w przemyśle. W trakcie weryfikacji został zidentyfikowany złożony problem usuwania zanieczyszczeń pochodzących z linii produkcyjnej, który w krytycznym stopniu zakłócił

proces projektowania systemu optycznej inspekcji i wymagał dodatkowego nakładu czasu i środków technicznych w celu jego rozwiązania. Przedstawiony przypadek pomimo wysokiego poziomu istotności znajduje się w obszarze akceptowalnego ryzyka z uwzględnieniem potencjalnych efektów wynikających z zastosowania rozwiązania innowacyjnego. W tej konkretnej sytuacji, podjęte w praktyce ryzyko przyniosło znaczące efekty wdrożeniowe. Wskazuje to na zasadność indywidualnego podejścia do analizowanych przypadków i uwzględniania różnych aspektów danego problemu.



Rys. 4. Położenie źródeł ryzyka technicznego w układzie: oddziaływanie innowacji – poziom istotności

Na podstawie uzyskanych wyników oceny ryzyka dla zidentyfikowanych poszczególnych elementów rozwiązania możliwe jest wyznaczenie ryzyka dla całego projektowanego systemu optomechanicznego.

Podsumowanie

Projektowanie i wdrażanie systemów optomechanicznych charakteryzuje się znacznym poziomem ryzyka wynikającym z zastosowanych rozwiązań innowacyjnych. Ryzyko w takich przypadkach ma dwuaspektowy wymiar odnoszący się z jednej strony do negatywnych skutków niepowodzenia opracowanych rozwiązań, z drugiej strony korzyści, jakie może przynieść wdrożenie uzyskanych pozytywnych rezultatów przedsięwzięcia. Metoda identyfikacji źródeł ryzyka związanych bezpośrednio z zastosowanymi innowacjami stanowi niezbędny element skutecznego monitorowania ryzyka i zarządzania ryzykiem w skali całego przedsięwzięcia. Uwzględniając aspekt subiektywnego podejścia

użytkownika w procesie analizy i oceny ryzyka, stałym elementem programu powinien być moduł będący połączeniem bazy danych i wiedzy eksperckiej. Przedstawiony przykład zastosowania programu oceny ryzyka potwierdza zasadność i przydatność praktyczną zaproponowanego podejścia. Program dalszego rozwoju zaproponowanego narzędzia powinien dotyczyć doskonalenia modułu bazy danych oraz włączenia do zintegrowanego kompleksowego systemu oceny rozwiązań innowacyjnych, który jest obecnie przedmiotem prac realizowanych w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Bibliografia

1. Browning T.R.: Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. IEEE Transactions on Engineering Management 48(3), 2001, pp. 292–306.
2. Cho H.: Optomechatronic: Fusion of Optical and Mechatronic Engineering 2006. CRC Press Taylor&Francis Group.
3. Giesko T.: Designing opto-mechatronic systems for fatigue process monitoring. Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance 1(165) vol. 46, 2011, pp. 87–96.
4. Giesko T.: Dual-camera vision system for fatigue monitoring. Materials Science Forum vol. 726 (2012), pp. 226–232.
5. Giesko T., Mazurkiewicz A., Zbrowski A., Czajka P.: Optomechatroniczny system do automatycznej kontroli jakości wyrobów w przemyśle. Problemy Eksploatacji 4/2011, s. 103–114.
6. Łunarski J. (red.): Zarządzanie innowacjami: system zarządzania innowacjami. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
7. Mazurkiewicz A., Karsznia W., Giesko T., Belina B.: System operacyjny oceny stopnia dojrzałości wdrożeniowej innowacyjnych rozwiązań w zakresie usług. Problemy Eksploatacji 3/2011, s. 61–73.
8. Mazurkiewicz A., Poteralska B.: System of a complex assessment of technological innovative solutions. Maintenance Problems, 4/2012, pp. 5–22.
9. Moon T., Smith J., Nicholson J., Fewell S., Duus A.: TRA Principles, Process and Practice. DSTO-GD-0405, 2004.
10. National Aeronautics and Space Administration NASA: Systems Engineering Handbook. NASA/SP-2007-6105 Rev1 red. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration NASA Headquarters, 2007.

11. Sienkiewicz P.: Analiza ryzyka w zarządzaniu projektami systemów. *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Z. 95, nr 1, 2005, s. 9–18.
12. *Technical Risk Assessment Handbook: Defence Science and Technology Organisation*. Australia, Canberra 2010.
13. Yang Ch.: Research on product innovation project risk identification thought. *Information Science and Engineering (ICSE)*, 2010, pp. 3056–3059.
14. Yang P.C., Wee H.M., Liu B.S., Fong O.K.: Mitigating Hi-tech products risks due to rapid technological innovation. *Omega* 39 (2011), pp. 456–463.
15. Zbrowski A., Giesko T.: Study and solution of problem in high-precision optical inspection of metal parts. 9th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, San Sebastian, 2009. *Conference Proceedings*, Vol. II, pp. 364–367.

Risk assessment in designing innovative optomechatronic systems

Key words

Optomechatronic system, innovative solution, risk analysis, risk matrix.

Summary

When designing advanced optomechatronic systems, the problem of the increased technical risk as a result of application of innovative solutions should be considered. The identification and assessment of the risk are the important elements of systematic approach in designing of technical systems. In the article, risk sources in the design and implementation process of innovative optomechatronic systems are presented. The risk assessment algorithm and the model generator of the risk matrix are presented. The case analysis was presented for the automatic optical inspection system of bearing elements which was implemented in the automotive industry.