



Problemy oceny ryzyka przy obsłudze maszyn, część 2

» OCENA RYZYKA JEST NARZĘDZIEM UNIWERSALNYM, KTÓRE POWINNI STOSOWAĆ ZARÓWNO PROJEKTANCI NOWYCH MASZYN, JAK RÓWNIEŻ ICH UŻYTKOWNICY, PONIEWAŻ WSZYSCY KSZTAŁTUJĄ BEZPIECZEŃSTWO I ODPOWIADAJĄ ZA NIE ETYCZNIE I PRAWNIE. »

Problemy szacowania ryzyka

Po zidentyfikowaniu zagrożeń należy określić, w jakim stopniu jest możliwy kontakt z nimi potencjalnej ofiary i jakie szkody mogłoby to spowodować (urazy, straty materialne, finansowe i inne). Służy temu kolejny element procesu oceny ryzyka – szacowanie. Ryzyko wypadkowe jest pojęciem stochastycznym – oszacowanie polega na jego skalkulowaniu z pewnym prawdopodobieństwem, na wymaganym poziomie ufności. Ryzyko (R) jest funkcją: możliwości zaistnienia zdarzenia szkodliwego (prawdopodobieństwa realizacji rozpatrywanego

zagrożenia) (O), ekspozycji (E), czyli częstości lub czasu trwania narażenia oraz ludzkich i technicznych możliwości uniknięcia lub ograniczenia szkody (A) o określonej ciężkości (S): $R = f(O; E; A; S)$. Znając wartości powyższych elementów oraz wzajemne relacje między nimi, można określić wartość samego ryzyka. Problem tkwi w słabym rozpoznaniu ilościowym elementów składowych. Przyczynia się do tego sam człowiek, który jest obecny w każdym z czterech elementów ryzyka, a którego zachowania najtrudniej poddają się kwantyfikacji i pozostają na najniższym poziomie ufności. Parametry niezawodności elementów struktur maszyn są zazwyczaj nieznanne. Taka sytuacja wymu-

sza bardzo zindywidualizowane podejście do każdej analizy, gdzie należy posiłkować się wiedzą i doświadczeniem, historią wypadków na takich samych i podobnych maszynach, opracowaniami statystycznymi itd. Trzeba od razu powiedzieć, że nie ma standardowych metod szacowania ryzyka. W odniesieniu do maszyn w normach i przewodnikach EN/ISO nie ma nawet sugestii co do zalecanych sposobów szacowania. W dokumentach tych podkreśla się, że dobór metody zależy od cech poszczególnych stanowisk pracy i dlatego też należy wypracować własne, najbardziej odpowiednie sposoby.

Z punktu widzenia metody badawczej istnieją dwa podstawowe typy analiz ryzyka:



dedukcyjna i indukcyjna. W metodzie dedukcyjnej dla założonego zdarzenia końcowego poszukuje się zdarzeń poszczególnych, które do tego zdarzenia wiodą i je powodują. Natomiast w metodzie indukcyjnej odwrotnie, dla założonego pojedynczego uszkodzenia (awarii) elementu składowego bada się dalszy rozwój wydarzeń mogących być skutkiem tego uszkodzenia. Metoda ta rozwija możliwe scenariusze aż do zdarzeń końcowych. Ze względu na charakter otrzymywanego wyniku metody szacowania ryzyka można podzielić na jakościowe i ilościowe. W odniesieniu do maszyn lub pojedynczych stanowisk pracy należy dążyć do stosowania metod ilościowych, które pozwalają uzyskiwać wymierne i porównywalne wyniki. Metody ilościowe

(Management Oversight and Risk Tree).

W analizie MORT wykorzystuje się takie narzędzia analityczne, jak: blokowy schemat przyczynowo-skutkowy zdarzenia, analizę przepływu energii i barier (niekontrolowany przepływ energii przy braku szeroko pojętych barier może prowadzić do wypadku) oraz tzw. pozytywne drzewo MORT powstałe z drzewa błędów przez zamianę typu bramek logicznych (AND na OR i odwrotnie). Pozytywne drzewa, tzw. drzewa zdarzeń, są budowane w odwrotnym kierunku – od zdarzenia inicjującego do finalnego, czyli wypadku. Rozwijane są sekwencje prawdopodobnych zdarzeń wywołanych zdarzeniem elementarnym, np. uszkodzeniem cewki zaworu rozdzielającego, sterującego

tów i struktur procesowych niż do szacowania ryzyka na poszczególnych stanowiskach pracy. Do oceny ryzyka stwarzanego przez maszyny warto stosować metody mieszane. Obejmują one wszystkie elementy ryzyka i nadają im kwantyfikatory, które pozwalają wyznaczać wartości wagowe ryzyka. Są to metody proste i przyjazne do stosowania w praktyce warsztatowej przez personel bez specjalistycznej wiedzy z teorii niezawodności, których wyniki szacowania można dość łatwo transponować na dobór urządzeń ochronnych odpowiednich klas bezpieczeństwa.

Ważniejsze metody szacowania jakościowego

Wstępna Analiza Zagrożeń (PHA, Preliminary Hazard Analysis)

Polega na zidentyfikowaniu zagrożeń, sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych, które mogą powstawać we wszystkich składnikach rozpatrywanego systemu, a następnie przypisanie każdemu z zagrożeń stopnia możliwej szkody i prawdopodobieństwa wystąpienia. Iloczyn otrzymanych poziomów daje wynik jakościowej estymacji ryzyka. Wynik iloczynu służy jako podstawa podjęcia działań zmierzających do redukcji ryzyka. Jest to jednak powierzchowna metoda. Nie uwzględnia istotnych parametrów ryzyka, takich jak ekspozycja i możliwość uniknięcia lub ograniczenia szkody, czyli nie uwzględnia charakteru procesu pracy i stanu bezpieczeństwa stanowiska pracy. Może służyć do analizowania zgromadzonych danych statystycznych.

„Co – gdy” – stosowana przy ocenie wpływu możliwych awarii urządzeń lub błędów technologicznych. Stawiane są pytania: „Co się stanie, gdy...?” i opracowuje się odpowiedzi na zadane pytania. W większych i bardziej złożonych procesach stosuje się „listy kontrolne” ułatwiające opracowanie odpowiedzi na stawiane pytania. Są one pomocne przy prowadzeniu bieżących obserwacji i kontroli stanowisk roboczych przez operatorów maszyn. Podczas tworzenia list kontrolnych wykorzystuje się wiedzę ekspercką osób

» Po zidentyfikowaniu zagrożeń należy określić, w jakim stopniu jest możliwy kontakt z nimi potencjalnej ofiary i jakie szkody mogłoby to spowodować (urazy, straty materialne, finansowe i inne). Służy temu kolejny element procesu oceny ryzyka – szacowanie.

są oparte na teorii niezawodności struktur. W zależności od postawionego problemu, do szacowania ilościowego stosuje się diagramy logiczne, tzw. drzewa błędów i zdarzeń, w których zależności oparte są najczęściej na dwóch bramkach logicznych: koniunkcji [I (AND)] mówiącej o tym, że zdarzenie nad bramką zachodzi wtedy, gdy jednocześnie zajdą wszystkie zdarzenia pod bramką oraz alternatywy [LUB (OR)] mówiącej o tym, że zdarzenie nad bramką jest możliwe, gdy wystąpi co najmniej jedno ze zdarzeń pod bramką.

Szacowania ilościowe są tym dokładniejsze, im lepiej rozpoznana jest struktura niezawodnościowa stanowiska pracy oraz im bardziej rzeczywiste są parametry niezawodności tej struktury. Nie dysponując takimi danymi, można popełniać w szacunkach błędy nawet kilku rzędów. Do budowy dużych struktur logicznych jakościowo-ilościowej analizy ryzyka można przyjąć systematykę stosowaną w metodzie **MORT**

pracą układu sprzęgłowo-hamulcowego prasy. Metody ilościowe szacowania ryzyka mają coraz większe znaczenie przy projektowaniu maszyn i procesów, gdzie nie tyle chodzi o uzyskanie bezwzględnych wartości ryzyka, a bardziej o wykorzystanie struktur niezawodnościowych maszyn do minimalizowania ryzyka przez modelowanie elementów tych struktur. W tzw. triadzie zapewnienia bezpieczeństwa maszyn powinny być wykorzystywane na samej górze hierarchii, tzn. na etapie ich projektowania.

Podstawowym celem prowadzenia systemowej oceny ryzyka jest optymalny dobór środków bezpieczeństwa zarówno przez producentów, jak i użytkowników maszyn. Metody ilościowe okazują się tu mało przydatne. O wiele praktyczniejsze są metody jakościowe oraz ich rozwinięcie, tzw. metody mieszane. Metody czysto jakościowe są bardziej przydatne do ogólnych analiz rozpoznawczych większych obiektów



mających duże doświadczenie i umiejętności oceny badanego obiektu. Metoda ta poprzedza zwykle bardziej złożone metody oceny bezpieczeństwa procesów przemysłowych. Służy raczej do identyfikacji zagrożeń w procesie oceny niż do samej oceny ryzyka.

Rodzaje Awarii i ich Skutków (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis)

W metodzie tej przypisuje się składowym elementom systemu możliwe defekty (awarie), a następnie określa częstotliwość i analizuje skutki oraz konsekwencje defektu. Metoda ta może być prowadzona na trzech poziomach: wysoki – analizuje awarie systemu; średni – analizuje podsystemy; niski – analizuje elementy składowe. Metoda FMEA jest metodą czasochłonną i drogą, ponieważ dla każdego elementu składowego trzeba określać wszystkie możliwe awarie, co powoduje, że należy rozpatrywać także te nieistotne i technicznie nieuzasadnione. Awarie w metodzie FMEA określane są przez nagłość (stopniowe lub nagłe) i stopień ich występowania (częściowy lub całkowity), skutki (małe, ważne, krytyczne, katastro-



fi i wypełnienie Karty FMEA, identyfikujące elementy systemu oraz ich funkcje, rodzaje i mechanizmy awarii, a także sposoby ich oddziaływania na inne elementy czy funkcje systemu. Odmianą FMEA jest tzw. FMECA (Failure Mode and Effect Critical Analysis) – krytyczna analiza rodzajów

sując każdej awarii stan krytyczny i częstotliwość, tworzy się tzw. matryce ryzyka, w których współrzędnymi są krytyczność i częstotliwość awarii. Służą one do określania poziomu ryzyka i podejmowania decyzji o jego redukcji.

Metoda Studium Zagrożeń i Zdolności Operacyjnych (HAZOP)

Jest to usystematyzowana technika służąca do identyfikacji zagrożeń w dużych instalacjach, zakładach przemysłowych i badania zdolności operacyjnych. Identyfikuje się główne zagrożenia i problemy funkcjonowania związane z nowym procesem. HAZOP stosuje usystematyzowany zespół słów kluczowych (haseł), nad którymi prowadzona jest dyskusja. Jej efektem jest określenie zadań poprawiających stan i wyznaczenie osób odpowiedzialnych za wykonanie tych zadań. Metoda niepraktyczna do zastosowań stanowiskowych.

Metoda Wskaźnika Poziomu Ryzyka (WPR)

Jest to metoda jakościowa należąca do grupy mieszanych, polegających na przyporządkowaniu wskaźników wagi czynnikom składającym się na ryzyko. Iloczyn wskaźników wag daje poszukiwany wskaźnik poziomu ryzyka (WPR). Na przykład zakłada się, że wskaź-

»»» Metody czysto jakościowe są bardziej przydatne do ogólnych analiz rozpoznawczych większych obiektów i struktur procesowych niż do szacowania ryzyka na poszczególnych stanowiskach pracy.

falne) oraz przez przyczyny (pierwotne, wtórne lub polecenia). Większość analiz FMEA prowadzona jest od rozpatrywania poszczególnych elementów „w górę” do poziomu całego systemu. Analiza FMEA koncentruje się na awariach urządzeń i systemów technicznych, nie stosuje się jej do oceny błędów ludzkich, jednak uwzględnia ona błędy człowieka w klasyfikacji przyczyn. Metodę tę można łatwo skomputeryzować. Istnieją programy ułatwiające prowadzenie oceny FMEA

awarii i ich skutków, gdzie poddaje się klasyfikacji skutki awarii, dzieląc je na grupy o różnym charakterze krytyczności. FMECA może, oprócz oceny jakościowej, podawać ocenę ilościową przez przypisanie każdej awarii odpowiedniego stanu krytycznego i częstości występowania. Według MIL-STD-1629 rozróżnia się 4 kategorie częstości względnej (liczba awarii w jednostce czasu do całkowitej liczby awarii): bardzo niska (<1%), niska (1–10%), średnia (10–20%), wysoka (>20%). Przypię-



nik poziomu ryzyka jest iloczynem czterech czynników: prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia (A); częstości ekspozycji na zagrożenie (B); największej spodziewanej straty (C); liczby osób narażonych na zagrożenie (D): $WPR = A \times B \times C \times D$. Metoda nie uwzględnia niezwykle ważnego elementu ryzyka przy obsłudze maszyn eksploatowanych, jakim jest możliwość unikania lub ograniczania szkód. Metoda może być wykorzystywana przy projektowaniu nowych stanowisk pracy, nieuzbrojonych jeszcze w środki bezpieczeństwa.

teriów doboru. Może ona jednak stanowić bazę do opracowania własnych kryteriów, uwzględniających specyfikę analizowanych stanowisk pracy.


Kalkulator Ryzyka

Metoda opracowana przez H. Raafata, polegająca na umieszczeniu na przygotowanym nomogramie punktów dla przyjętego prawdopodobieństwa zdarzenia, częstości dostępu do strefy niebezpiecznej oraz czasu przebywania w tej strefie, by dla założonych

czeństwo. Wykorzystane zostały w pierwszej normie dotyczące elementów sterowania związanych z bezpieczeństwem PN-EN 954-1 i jej kontynuatorce PN-EN ISO 13849. Grafy szacowania ryzyka adresowane do maszyn powinny uwzględniać podstawowe elementy szacowania: ciężkość urazu (S); ekspozycję (E); częstość występowania zdarzeń z winy rozpatrywanego zagrożenia (O) oraz możliwości ograniczania szkód (A).

Problemy wyboru metody analizy ryzyka

W celu wybrania odpowiedniej metody analizy ryzyka należy ustalić zakres prowadzenia analizy i stopień jej szczegółowości oraz charakter wyników, które chce się osiągnąć. Wybrana metoda powinna być adekwatna dla rozważanego obiektu (stanowiska pracy, maszyny). Należy wziąć pod uwagę takie cechy obiektu, jak: wielkość i typ, faza rozwoju (życia), charakter zagrożeń, liczbę osób narażonych na zagrożenia. Ustalenie zakresu analizy i charakteru oczekiwanych wyników pozwoli na wybór metody z grupy ilościowych lub jakościowych. Duże obiekty przemysłowe wymagają metod oceny globalnej, dających najczęściej wyniki o charakterze jakościowym, np. HAZOP, FMEA, CCA, listy kontrolne. Dla poszczególnych fragmentów instalacji czy urządzeń technicznych bardziej odpowiednie są ilościowe metody oparte na strukturach drzewiastych, pozwalające w sposób liczbowy określić wartość ryzyka. W analizie ryzyka na stanowiskach pracy przy maszynach powinno się stosować metody ilościowe podczas projektowania i budowy stanowisk pracy. Dla maszyn już używanych, jako najbardziej adekwatne do tego typu obiektów ze względu na charakter zagrożeń, są metody mieszane, zwłaszcza grafy ryzyka. Analiza ryzyka w oparciu o metody drzewiaste lub stosujące metodologię MORT, uzupełnione o modelowanie zachowań człowieka lub oceny niezawodności ludzkiej, są najbardziej odpowiednie dla stanowisk pracy.

 Analiza ryzyka prowadzona w uporządkowany sposób, zgodnie z wymaganiami norm europejskich, uzupełniona o ocenę niezawodności ludzkiej, stanowi punkt wyjścia do oceny i podejmowania decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu ryzyka, czyli do ewaluacji ryzyka.

Metoda Analizy Bezpieczeństwa Pracy (JSA, Job Safety Analysis)

Polega na rozbiciu zadania na elementarne kroki, którym przypisuje się zagrożenia i szacuje ryzyko podobnie jak w metodzie WPR, ale zamiast parametru określającego liczbę osób narażonych, szacuje się możliwość unikania lub ograniczania szkód. Ryzyko jest sumą wag ciężkości szkód S i prawdopodobieństwa zaistnienia P : $R = S + P$. W tej metodzie budzą zastrzeżenia narzucone zbyt ogólne wagi, bez jasnych kry-

skutków zdarzenia wyjść na poziom ryzyka. Metoda ustala cztery poziomy ryzyka.

Grafy ryzyka

Należą do najpopularniejszych metod szacowania poziomu ryzyka. W literaturze, normach i przewodnikach można spotkać rozmaicie skonstruowane grafy. Odegrały one istotną rolę w rozwoju przekładania oszacowanych poziomów ryzyka z cechami jakościowymi i niezawodnościowymi urządzeń odpowiedzialnych za bezpie-



Dla szybkiego oszacowania ryzyka można wykorzystać metody kalkulatora ryzyka, różne metody wskaźnikowe lub listy kontrolne. Przy doborze metody ważna jest wstępna znajomość zagrożeń występujących w rozpatrywanym obiekcie, liczba osób narażonych na dane zagrożenia oraz ocena przewidywanego poziomu strat w razie realizacji wydarzenia wypadkowego. To pozwala określić szczegółowość prowadzonej analizy i ukierunkować jej prowadzenie. Analizę ryzyka dla obiektów technicznych powinny uzupełniać metody oceny niezawodności ludzkiej. Ze względu na złożoność i wielowymiarowość natury ludzkiej jest to dość trudne zagadnienie. Przyjęte oszacowanie może znacznie odbiegać od rzeczywistości. Analiza ryzyka prowadzona w uporządkowany sposób, zgodnie z wymaganiami norm europejskich, uzupełniona o ocenę niezawodności ludzkiej, stanowi punkt wyjścia do oceny i podejmowania decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu ryzyka, czyli do ewaluacji ryzyka.

Problemy ewaluacji i akceptowalności ryzyka

Ewaluacja ryzyka wieńczy proces oceny ryzyka. Ten element daje odpowiedź na pytanie, czy oczekiwane cele zostały osiągnięte. To element strategiczny dla przedsiębiorstwa. Czy można wziąć odpowiedzialność i zaakceptować, czy zdyskwalifikować stan bezpieczeństwa? **Świadoma akceptacja ryzyka resztkowego, czyli ryzyka, które** pozostaje w procesie pracy mimo zastosowanych środków bezpieczeństwa, decyduje o tym, czy zadanie produkcyjne zostanie podjęte czy nie. Jest to zatem proces decyzyjny mający bezpośredni związek z zarządzaniem przedsiębiorstwem. Ewaluacja – akceptacja bądź odrzucenie – jest decyzją strategiczną i może być świadomie podjęta nawet przy negatywnej ocenie poziomu ryzyka lub odwrotnie – zadowolający poziom ryzyka może z różnych względów nie być akceptowany, np. ze względu na koszty.

Zagadnienia akceptacji ryzyka można rozpatrywać z różnych miejsc odniesienia. Inną perspektywę mają decydenci podejmujący decyzje globalne w skali kraju, inną kierownictwo zakładu produkcyjnego, a jeszcze inną osoby bezpośrednio zagrożone. Ryzyko i jego akceptacja w skali makro dla całych branż są rozpatrywane w ujęciu statystycznym i opierają się różnymi wskaźnikami, np. wypadkowości lub śmiertelności. Akceptacja ryzyka, z punktu widzenia pracodawcy lub kierownictwa przedsiębiorstwa, jest podejmowana zarówno ze względu na wymagania prawne, jak i na koszty. Oczywiście kryterium humanitarne odgrywa również niebagatelną rolę. Osobne zagadnienie stanowi akceptacja ryzyka przez ludzi bezpośrednio zagrożonych. Dla nich kryterium kosztów jest mniej interesujące. Podejmowanie ryzyka związanego z realizacją zadania produkcyjnego uwarunkowane jest różnymi czynnikami psychologicznymi, stosunkami z przełożonymi, lękiem przed utratą pracy itd.

Bibliografia

1. Harms-Ringdahl, *Safety analysis. Principles and practice in occupational safety*. Elsevier, Amsterdam 1993.
2. Andrews J.D., Moss T.R., *Reliability and risk assessment*, Longman Scientific & Technical.
3. Booth R., *Strategies for machinery and safe behaviour overview and hazard identification and elimination*, Topdech.
4. Kowalewski S., *Podstawy bezpieczeństwa obsługi maszyn* (tom 21), CIOP.
5. Kowalewski S., *Modelowe badanie wypadków*, Atest.
6. Kowalewski S., Kwiatkowski S.M., Lewandowski J., Majchrzycka K., Markowski A.S., Owczarek G., Pietrzak L., Podgórski D., Sikorski M., *Maszyny. Metody analizy bezpieczeństwa na stanowiskach pracy*, CIOP.
7. Kędzia B., Kowalewski S., *O zagrożeniach i ryzyku*, Atest 5/2002.
8. Kowalewski S., *Model wydarzeń wypadkowych do zarządzania ryzykiem przy obsłudze maszyn* – praca doktorska, ORGMASZ, 1994.
9. Dyrektywa 2006/42/WE PEIR z 17.05.2006 r. w sprawie maszyn.
10. Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC – 2nd Edition, June 2010, General Editor Ian Fraser – European Commission Enterprise and Industry.
11. PN-EN ISO 12100:2012P Bezpieczeństwo maszyn – Ogólne zasady projektowania – Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka.
12. ISO/IEC Guide 51 – Safety aspects – Guidelines for the inclusion of in standards.



STANISŁAW KOWALEWSKI

Dyrektor ds. nauki i techniki bezpieczeństwa (szef zespołu). Wiceprezes ELOKON Polska. Zajmuje się wszystkimi aspektami zarządzania bezpieczeństwem maszyn łącznie z badaniami, oceną i doprowadzaniem maszyn do zgodności z wymaganiami. Interesuje się teorią i praktyką badań wypadków przy pracy. Współpracuje z europejskim i międzynarodowym komitetem normalizacyjnym CEN/TC 114 i ISO/TC 199 „Bezpieczeństwo maszyn”. Jest autorem wielu artykułów i publikacji książkowych oraz promotorem ponad 60 prac dyplomowych. Posiada certyfikaty kompetencji specjalisty i wykładowcy BHP.



ANDRZEJ OLEŚKIEWICZ

Absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Ukończył studia podyplomowe w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy z zakresu Bezpieczeństwa i Higieny Pracy, absolwent studiów podyplomowych w Instytucie Organizacji i Zarządzania w Przemśle „ORGMASZ” – Menedżer jakości w przedsiębiorstwie, Kierownik Działu Studiów i Badań w firmie ELOKON. Certyfikowany Specjalista ds. Bezpieczeństwa Maszyn. Posiada ponad 10-letnie doświadczenie w zakresie audytów bezpieczeństwa maszyn, projektowania i montażu systemów bezpieczeństwa na stanowiskach pracy. Trener/wykładowca od 2005 roku, specjalizuje się w tematyce: wymagania prawne dotyczące bezpieczeństwa maszyn, ocena ryzyka, techniczne środki bezpieczeństwa.



Bezpieczeństwo. Postęp.

Audyty bezpieczeństwa
i modernizacje maszyn, urządzeń
i instalacji procesowych.

Mechanika i automatyka
przemysłowa.

Projektowanie i wdrażanie systemów
bezpieczeństwa w przemyśle.

Deklaracje Zgodności WE
i oznaczenia CE.

Specjalistyczne szkolenia, warsztaty,
seminaria.



ul. Tytoniowa 22
04-228 Warszawa
info@elokon.pl
www.elokon.pl



(22) 812-71-38