



Zastosowanie teorii niepewności do oceny skuteczności systemu bezpieczeństwa obiektu

MAREK SZULIM, MAREK KUCHTA, LESZEK IWANEJKO,
ZBIGNIEW SOKOŁOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Przedstawiono parametr pozwalający na ilościową ocenę skuteczności systemu bezpieczeństwa — współczynnik skuteczności, wyrażający prawdopodobieństwo neutralizacji zagrożeń przestępczych dla danego obiektu.

Słowa kluczowe: system bezpieczeństwa, skuteczność, modelowanie, niepewność

Symbole UKD: 62.004-192

Wprowadzenie

Ochronę obiektu (człowieka lub mienia) realizuje się, wykorzystując różne środki. Ogólnie środki ochronne można podzielić na: systemy ochrony technicznej (np. budowlane, elektromechaniczne, elektroniczne) oraz ochronę fizyczną.

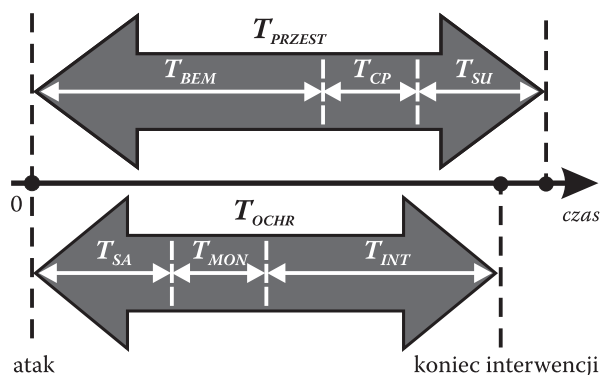
Właściwy dobór poszczególnych środków, ich umiejętne zintegrowanie, uwzględniające sposób funkcjonowania obiektu — mające na celu zapewnienie określonego stanu bezpieczeństwa obiektu — tworzy System Bezpieczeństwa. W procesie tworzenia systemu bezpieczeństwa, należy zapewnić, aby system był: zgodny z wymaganiami prawnymi, prosty w obsłudze i eksploatacji, tani, a przede wszystkim skuteczny [1].

Obecnie system bezpieczeństwa uważa się za skuteczny, jeśli spełnia zasadę skutecznej interwencji [2]. Zasada ta żąda, aby czas trwania działań środków ochronnych był krótszy od czasu trwania działań przestępczych. Oznacza to, że można oceniać skuteczność systemu bezpieczeństwa jedynie jakościowo — jako

dobrą lub złą. Tym samym brak jest możliwości porównywania różnych systemów bezpieczeństwa dla danego obiektu, ze względu na skuteczność, jeśli spełniają wspomnianą zasadę.

Zasada skutecznej interwencji

Można zdefiniować dwie grupy charakterystycznych przedziałów czasu związanych z wystąpieniem zagrożenia przestępczego (interpretacja graficzna — rys. 1) [3].



Rys. 1. Czasy związane z wystąpieniem zagrożenia przestępczego

Pierwszą grupę obejmuje czas trwania działań przestępczych — T_{PRZEST} , liczony od chwili ataku na obiekt do chwili skutecznie zrealizowanej ucieczki. Na T_{PRZEST} składają się:

- T_{BEM} — czas potrzebny na pokonanie zabezpieczeń budowlanych i elektro-mechanicznych (liczony od momentu zaatakowania obiektu przez przestępcę — może się składać z wielu subprzedziałów czasowych związanych ze sfinansowaniem poszczególnych zabezpieczeń jak np. ogrodzenia, kraty, zamki);
- T_{CP} — czas działań przestępcy związany z realizacją celu przestępstwa;
- T_{SU} — czas konieczny do skutecznej ucieczki przestępcy (liczony od chwili zakończenia celu działań przestępczych).

Drugą grupę obejmuje czas trwania działań środków ochronnych — T_{OCHR} , liczony od chwili ataku do zakończenia działań interwencyjnych ochrony fizycznej — składają się na niego:

- T_{SA} — czas liczony od momentu ataku na obiekt, do momentu wygenerowania sygnału alarmowego;

- T_{MON} — czas od pojawienia się sygnału alarmu do zakończenia przetwarzania związanych z nim danych przez centrum monitorujące zdarzenia alarmowe;
- T_{INT} — czas od rozpoczęcia do zakończenia działań interwencyjnych ochrony fizycznej.

Oczywiste są zatem związki:

$$T_{PRZEST} = T_{BEM} + T_{CP} + T_{SU} \quad (1)$$

$$T_{OCHR} = T_{SA} + T_{MON} + T_{INT}. \quad (2)$$

jak również to, że dany system bezpieczeństwa jest skuteczny, gdy czas trwania działań ochronnych jest mniejszy od czasu, jaki ma do dyspozycji bandyta w celu zrealizowania zamiaru przestępczego, czyli

$$T_{OCHR} < T_{PRZEST}. \quad (3)$$

Powyższa zależność (reprezentująca zasadę skutecznej interwencji) pozwala jedynie stwierdzić, że w przypadku spełnienia przez system nierówności (3) chroni on obiekt dobrze, w przeciwnym przypadku — źle. Nie pozwala jednak na ocenę ilościową, charakteryzującą jednoznacznie rzeczywisty poziom ochrony. Oznacza to, że brak jest również możliwości obiektywnego porównywania i badania różnych koncepcji systemu bezpieczeństwa dla danego obiektu.

Model pomiaru

Zdefiniowanie powyższych wielkości czasowych pozwala na wprowadzenie parametru ΔT , będącego bezpośrednią miarą skuteczności zastosowanego systemu bezpieczeństwa, wyrażonego jako

$$\Delta T = T_{OCHR} - T_{PRZEST}. \quad (4)$$

Umożliwia również wyrażenie fundamentalnego twierdzenia: system bezpieczeństwa obiektu jest skuteczny, jeśli spełniona jest zależność

$$\Delta T < 0. \quad (5)$$

Zgodnie z wcześniej przeprowadzonymi rozważaniami, zależność (4) można przedstawić w następującej postaci:

$$\Delta T = T_{SA} + T_{MON} + T_{INT} - T_{BEM} - T_{CP} - T_{SU}. \quad (6)$$

Równanie to teoria niepewności [4] nazywa modelem (równaniem) pomiaru. Zatem wielkość ΔT należy traktować jako wielkość wyjściową, natomiast pozostałe wielkości jako wielkości wejściowe.

W teorii niepewności przyjmuje się, że wszystkie wielkości wejściowe są zmiennymi losowymi. Oznacza to, że wielkość wyjściowa ΔT jest także zmienną losową o swoim własnym rozkładzie.

Równanie pomiaru (6) można dla uproszczenia zapisu przedstawić jako

$$\Delta T = f(T_1, T_2, \dots, T_N), \quad (7)$$

gdzie: f — funkcja pomiaru;

T_i ($i = 1, 2, \dots, N$) — wielkości wejściowe.

Stosując aproksymację równania (7) szeregiem Taylora o wyrazach pierwszego rzędu, można przybliżyć wartość oczekiwaną $E\{\Delta T\}$ oraz odchylenie standardowe $\sigma(\Delta T)$ wielkości wyjściowej ΔT przedstawionymi poniżej zależnościami [5]:

- Wartość oczekiwaną $E\{\Delta T\}$ wielkości wyjściowej ΔT wyznacza się z zależności funkcyjnej f dla wartości wielkości wejściowych równych ich wartościom oczekiwanym, zatem

$$E\{\Delta T\} = f(E\{T_1\}, E\{T_2\}, \dots, E\{T_N\}), \quad (8)$$

gdzie: $E\{T_i\}$ — wartość oczekiwana wielkości wejściowej T_i .

- Odchylenie standardowe $\sigma\{\Delta T\}$ wielkości wyjściowej ΔT określa się z zależności (9), przy czym wartości pochodnych cząstkowych oblicza się dla wartości wielkości wejściowych równych wartościom oczekiwanym

$$\sigma^2(\Delta T) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial T_i} \right)^2 \sigma^2(T_i), \quad (9)$$

gdzie: $\sigma\{T_i\}$ — odchylenie standardowe;

i — tej wielkości wejściowej.

Nie posiadając informacji o wartościach momentów rozkładów prawdopodobieństwa wielkości wejściowych, nie można wyznaczyć wartości oczekiwanej $E\{\Delta T\}$ wielkości wyjściowej oraz wartości odchylenia standardowego $\sigma(\Delta T)$ wielkości wyjściowej.

Teoria niepewności proponuje zastąpić nieznanne wartości parametrów opisowych wielkości wejściowych ich estymatami.

Estymaty parametrów opisowych wielkości wejściowych i wyjściowej

Estymaty parametrów wielkości wyjściowej wyznacza się na podstawie rozkładu możliwych wartości wielkości wejściowej. Przyjmuje się, że rozkład ten jest dany *a priori* — oceniony na drodze analizy naukowej, uwzględniającej wszystkie dostępne informacje, obejmujące np.: dane pomiarowe, specyfikacje producentów urządzeń, posiadane doświadczenie wraz z ogólną znajomością zjawisk.

Dla wielkości wejściowej T_i estymowanej za pomocą założonej funkcji gęstości prawdopodobieństwa — jako estymatę wartości oczekiwanej wielkości wejściowej t_i przyjmuje się wartość oczekiwaną założonego rozkładu. Natomiast estymata odchylenia standardowego $u(t_i)$ — zwana niepewnością standardową — równa jest odchyleniu standardowemu przyjętego rozkładu.

Znajomość estymat wartości oczekiwanych wielkości wejściowych pozwala na oszacowanie wartości oczekiwanej wielkości wyjściowej.

- Estymatę wartości oczekiwanej wielkości wyjściowej, oznaczoną przez Δt , oblicza się z równania (8) dla estymat wartości oczekiwanych t_1, t_2, \dots, t_N wielkości wejściowych T_1, T_2, \dots, T_N . Stąd estymata wartości oczekiwanej wielkości wyjściowej Δt , będąca wynikiem, jest dana jako

$$\Delta t = t_{SA} + t_{MON} + t_{INT} - t_{BEM} - t_{CP} - t_{SU}. \quad (10)$$

Znajomość estymat odchylen standardowych wielkości wejściowych pozwala na oszacowanie odchylenia standardowego wyniku.

- Estymatę odchylenia standardowego wyniku, nazywaną złożoną niepewnością standardową i oznaczoną przez u_C — oblicza się z równania (9) dla estymat odchylen standardowych $u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_N)$ wielkości wejściowych T_1, T_2, \dots, T_N . Stąd złożoną niepewność standardową opisuje równanie

$$u_C^2 = u^2(t_{SA}) + u^2(t_{MON}) + u^2(t_{INT}) + u^2(t_{BEM}) + u^2(t_{CP}) + u^2(t_{SU}). \quad (11)$$

Współczynnik skuteczności

Bazując na centralnym twierdzeniu granicznym [6] — uzasadnione jest założenie, iż rozkład prawdopodobieństwa wielkości wyjściowej można aproksymować rozkładem normalnym. Oznacza to, że funkcję gęstości prawdopodobieństwa wielkości wyjściowej przedstawia zależność

$$p(\Delta T) = \frac{1}{u_c \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Delta T - \Delta t)^2}{2u_c^2}}. \quad (12)$$

Wykorzystując znajomość rozkładu granicznego wielkości wyjściowej ΔT oraz twierdzenie opisane zależnością (5), można wyznaczyć parametr nazwany współczynnikiem skuteczności K_S — wyrażający prawdopodobieństwo **neutralizacji zagrożeń przestępczych w danym obiekcie, jako**

$$K_S = \int_{-\infty}^0 p(\Delta T) d\Delta T. \quad (13)$$

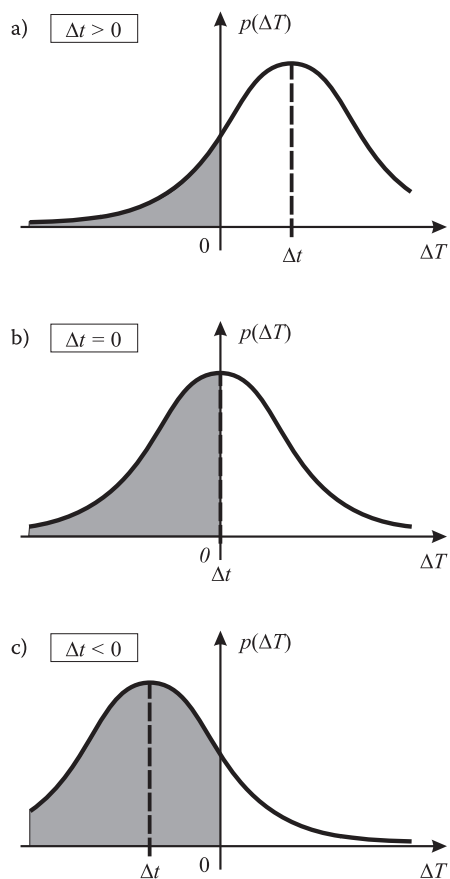
Rozpatrując wartości wyniku Δt wielkości wyjściowej, można wyróżnić trzy zasadnicze przypadki (rys. 2):

- Pierwszy, gdy $\Delta t > 0$, wówczas wartość współczynnika skuteczności zawiera się w przedziale (0; 0,5). Oznacza to, iż skuteczność rozpatrywanego systemu bezpieczeństwa jest zdecydowanie niedostateczna.
- W przypadku drugim $\Delta t = 0$, prawdopodobieństwo **neutralizacji zagrożeń przestępczych** wynosi 0,5. Zatem skuteczność zastosowanych środków ochronnych jest wątpliwa.
- Trzeci przypadek, zakłada $\Delta t < 0$, wówczas wartość współczynnika skuteczności zawiera się w przedziale (0,5; 1). Oznacza to, iż rozpatrywany system bezpieczeństwa może być uznany za zapewniający odpowiedni poziom ochrony.

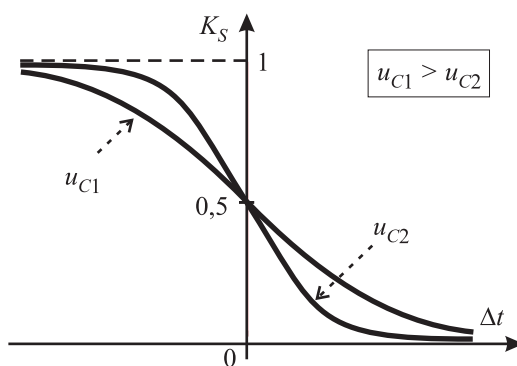
Natomiast zależność wartości współczynnika skuteczności K_S od estymaty wartości oczekiwanej wielkości wyjściowej Δt ilustruje rysunek 3. Na rysunku tym przedstawiono jednocześnie wpływ wartości złożonej niepewności standardowej u_c na wartość współczynnika skuteczności.

Z rysunku tego wynika, że wraz ze zmniejszaniem się wartości estymaty wartości oczekiwanej wielkości wyjściowej Δt , zwiększa się wartość współczynnika skuteczności. Widać również, że dla $\Delta t < 0$ mniejsza wartość złożonej niepewności standardowej wywołuje wzrost wartości współczynnika — natomiast dla $\Delta t > 0$, przeciwnie.

Oznacza to, że zaproponowany parametr pozwala na szereg analiz dotyczących skuteczności systemu bezpieczeństwa obiektu. Jest narzędziem umożliwiającym jednoznaczne określenie rzeczywistego poziomu ochrony.



Rys. 2. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa wielkości wyjściowej dla różnych wartości Δt



Rys. 3. Zależność współczynnika skuteczności K_S od wyniku wielkości wyjściowej Δt oraz złożonej niepewności standardowej u_C

Podsumowanie

Sformułowany w pracy nowy parametr, nazwany współczynnikiem skuteczności K_S — wyrażający prawdopodobieństwo neutralizacji zagrożeń przestępczych w danym obiekcie, może być przydatnym narzędziem nie tylko na etapie projektowania środków ochrony, ale również w przypadku już istniejących i funkcjonujących systemów bezpieczeństwa.

Współczynnik skuteczności pozwala sprawdzić, na ile istniejący kompleks zabezpieczeń jest skuteczny w ewentualnych próbach ataku obiektu przez intruza. Może być również, niezwykle użyteczny przy modernizacji systemów.

Zaprezentowany model matematyczny współczynnika skuteczności można rozbudowywać i stosować dla dowolnego obiektu i systemu, co daje ogromne możliwości dalszego rozwoju podjętego tematu.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.04.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w kwietniu 2008 r.

LITERATURA

- [1] N. BARTKOWIAK, *Integracja systemów zabezpieczeń*, Ochrona Mienia, 1-2, 2001, 8-10.
- [2] A. WÓJCIK (red.), *Mechaniczne i elektroniczne systemy zabezpieczeń*, Verlag Dashoefer, Warszawa, 2001.
- [3] Z. KUBIK, *Czas, matematyka i... bandyta*, Systemy Alarmowe, 5, 1999, 7-16.
- [4] *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik*, Główny Urząd Miar, 1999.
- [5] J. R. BENJAMIN, *Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1977.
- [6] J. JAWORSKI, *Matematyczne podstawy metrologii*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1979.

M. SZULIM, M. KUCHTA, L. IWANEJKO, Z. SOKOŁOWSKI

Uncertainty theory applied for object's security system evaluation

Abstract. The parameter that allows for quantitative evaluation of security system effectiveness coefficient was shown. This coefficient represents the probability of criminal risk neutralization for an object.

Keywords: security system, effectiveness, simulation, uncertainty

Universal Decimal Classification: 62.004-192