

Mirosław GERIGK
Politechnika Gdańska, Gdańsk

OCENA BEZPIECZEŃSTWA STATKU W CZASIE KATASTROFY NA MORZU

Słowa kluczowe

Bezpieczeństwo transportu morskiego, bezpieczeństwo statków, ocena ryzyka wypadku, ryzyko nieprzetrwania kolizji przez statek.

Streszczenie

W artykule przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu. Podano podstawowe informacje na temat identyfikacji podstawowych charakterystyk statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy. Następnie opisano istniejące metody, które można zastosować do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym, które oparte są na wymaganiach zwartych w konwencji SOLAS 2009. Potem przedstawiono proponowaną kompleksową metodę oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym opartą na analizie ryzyka, którą można zastosować do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu. Przedstawiono główne elementy tej metody, które dotyczą oceny zachowania się statku i oceny ryzyka nieprzetrwania kolizji. Opisano procedurę oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie ratowania statku na morzu. Podano podstawowe elementy modelu ryzyka nieprzetrwania kolizji przez statek, który zastosowano w metodzie wraz z przykładem dotyczącym metody wyznaczania ryzyka nieprzetrwania kolizji.

Wprowadzenie

W warunkach operacyjnych często dochodzi do wystąpienia zagrożeń, na skutek których statek ulega uszkodzeniu. Uszkodzenie statku może być dwójakiego rodzaju.

Po pierwsze uszkodzeniu może ulec poszycie kadłuba statku. Dochodzi wówczas do zatapiania przedziału lub grupy przedziałów wodoszczelnych na skutek dostawania się do wnętrza kadłuba dużych ilości wody zaburtowej. Wyróżnia się trzy etapy zatapiania: początkowy, pośredni i końcowy. Oprócz etapów zatapiania występują też fazy zatapiania, które są związane ze stopniem wypełnienia zatapianego przedziału lub grupy przedziałów przez wodę zaburtową.

Po drugie uszkodzeniu może ulec jeden z podstawowych podsystemów statku (system ładunkowy/balastowy, napędowy, sterowy), na skutek czego statek może utracić najpierw zdolności napędowe i manewrowe, co z kolei może doprowadzić do ustawienia się statku „bokiem do fali”, zalewania pokładu czy przesunięcia się ładunku itp. W takich sytuacjach mamy też do czynienia z dużym wpływem czynnika ludzkiego.

Do zatapiania statku może dojść też na skutek wystąpienia innych zagrożeń, które opisano w pracy autora [1].

Do najpoważniejszych zagrożeń, na skutek których statek może znaleźć się w stanie uszkodzonym można zaliczyć [1] kolizje, wejścia na mieliznę i uderzenia o przeszkodę.

Podjęto prace badawcze, które związane były i są z opracowaniem zarówno metody oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym, jak i odpowiednich modeli umożliwiających taką ocenę [1].

Celem prac badawczych prowadzonych w ostatnim czasie w Katedrze Teorii i Projektowania Okrętów Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej jest opracowanie modelu do analizy zachowania się statku w stanie uszkodzonym i analizy ryzyka nieprzetrwania katastrofy, głównie kolizji, przez statek w polskiej strefie odpowiedzialności SAR. Cechą charakterystyczną proponowanego modelu powinna być możliwość szybkiego modelowania sytuacji w przypadku wystąpienia katastrofy statku w polskiej strefie odpowiedzialności SAR, w tym [1]:

- 1) identyfikacji stanu statku uszkodzonego;
- 2) analizy zachowania się statku w stanie uszkodzonym;
- 3) analizy ryzyka wypadku na wszystkich etapach katastrofy;
- 4) oceny bezpieczeństwa ludzi (pasażerów i załogi), mienia (statku i ładunku) oraz środowiska naturalnego.

Ocena zachowania się statku w stanie uszkodzonym, swobodnie dryfującego (przed podjęciem akcji ratowniczej), ocena jego zachowania się w czasie holowania (po podjęciu akcji ratowniczej) oraz ocena ryzyka wypadku na

wszystkich etapach katastrofy, z punktu widzenia wszystkich możliwych zagrożeń, scenariuszy i konsekwencji wypadku, mają zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa statków i transportu morskiego.

Konieczność podjęcia omawianych badań w Polsce związana jest między innymi z następujących powodów:

- 1) wzrostu przewozów, w tym ładunków płynnych, na akwenie Morza Bałtyckiego i w polskiej strefie odpowiedzialności SAR;
- 2) konsekwencji potencjalnej katastrofy statku, a szczególnie zbiornikowca do przewozu produktów ropopochodnych, w polskiej strefie odpowiedzialności SAR;
- 3) konieczności ratowania ludzi, mienia i ochrony środowiska naturalnego, na wypadek katastrofy statku w polskiej strefie odpowiedzialności SAR.

Wzrastające zagęszczenie ruchu jednostek pływających na Morzu Bałtyckim powoduje, że istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia (kolizja, wejście na mieliznę, uderzenie o przeszkodę), po wystąpieniu którego może dojść do katastrofy statku w polskiej strefie odpowiedzialności SAR. Konsekwencje takiej katastrofy, w przypadku zbiornikowca, mogą być bardzo duże w odniesieniu do strat dotyczących ludzi, mienia i środowiska naturalnego [1]. W przypadku kolizji zbiornikowca mogłoby dojść do wycieku ropy na dużą skalę. Zanieczyszczenie środowiska objęłoby swym zasięgiem nie tylko znaczny obszar polskiej strefy odpowiedzialności SAR, ale i strefę linii brzegowej o trudnej do przewidzenia długości. Konsekwencje takiej katastrofy można ocenić na przykładzie tegorocznego rozlewu ropy w Zatoce Meksykańskiej, wywołanego co prawda na skutek wystąpienia innych zagrożeń niż kolizja statku, wejście statku na mieliznę czy jego uderzenie o przeszkodę.

Jak poważne mogą być konsekwencje katastrofy zbiornikowca, można zorientować się analizując katastrofy, które miały miejsce na świecie w okresie ostatnich kilku dekad. Bardzo pouczająca jest także analiza wypadków, które wydarzyły się na akwenie Morza Bałtyckiego [2, 3].

1. Identyfikacja podstawowych charakterystyk statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy

Podstawą prowadzenia akcji ratowniczej w sposób efektywny i bezpieczny jest prawidłowa ocena stanu statku. Można ją przeprowadzić intuicyjnie, gdy posiada się odpowiednią wiedzę i doświadczenie. Można też posłużyć się obliczeniami ręcznymi, mając do dyspozycji odpowiednią dokumentację statku. Istnieje też możliwość wykorzystania informacji pochodzących z podsystemów identyfikacji procesu zatapiania, pochodzących z odczytów czujników znajdujących się na statku. Najbardziej efektywnym sposobem oceny stanu statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu jest zastosowanie symulacji komputerowej, jeśli dysponujemy odpowiednim oprogramowaniem.

Brak dokładnych informacji dotyczących stanu statku w stanie uszkodzonym na morzu, powoduje znaczne utrudnienia w prowadzeniu akcji ratowniczej, związanej z ratowaniem ludzi (pasażerów i załogi), mienia (ładunku, statku) i ochroną środowiska naturalnego.

Ocena stanu statku uszkodzonego w warunkach operacyjnych może przebiegać w następujący sposób:

- 1) z użyciem jednostek powietrznych (helikopter, samolot) lub wodnych (inny statek),
- 2) z użyciem satelitów,
- 3) poprzez bezpośredni lub pośredni kontakt pomiędzy statkiem (kapitanem) a koordynatorem akcji ratowniczej;
- 4) osobiście na pokładzie uszkodzonego statku, gdy brak jakiejkolwiek komunikacji pomiędzy statkiem a koordynatorem akcji ratowniczej.

W ogólnym przypadku do opisu statku używa się parametrów, które definiuje międzynarodowa konwencja o liniach ładunkowych z 1966 roku. Definiuje ona następujące wymiary [4, 5]: długość statku (L), szerokość statku (B), wysokość boczna (H), zanurzenie konstrukcyjne (T).

Kształt kadłuba, a szczególnie jego części podwodnej, charakteryzuje się za pomocą stosunków wymiarów i parametrów głównych. Wydłużenie kadłuba w płaszczyźnie poziomej charakteryzuje stosunek L/B , natomiast w płaszczyźnie pionowej stosunek L/H . Kształt kadłuba w płaszczyźnie poprzecznej charakteryzują stosunki B/T i H/T [4, 5].

W przypadku gdy statek znajduje się w stanie uszkodzonym, wyżej wymienione parametry i stosunki wymiarów głównych nie będą wystarczające do opisu jego stanu. Należy wtedy uwzględnić dodatkowe parametry, takie jak [1, 4, 5, 6, 7]:

- 1) zanurzenie na dziobie (T_F), które oznacza odległość linii dna od płaszczyzny wodnicy pływania mierzona na pionie dziobowym,
- 2) zanurzenie na rufie (T_A), mierzone jako odległość linii dna od płaszczyzny wodnicy na pionie rufowym,
- 3) przegłębienie (ΔT), będące różnicą zanurzeń na pionie dziobowym i rufowym,
- 4) kąt przegłębienia (Θ), czyli kąt, jaki umowna oś G_x (leżąca w płaszczyźnie symetrii statku) tworzy z umowną płaszczyzną wody,
- 5) kąt przechyłu (Φ), kąt, jaki umowna oś G_y (leżąca w płaszczyźnie pionowej poprzecznej do płaszczyzny symetrii statku) tworzy z umowną płaszczyzną wody.

2. Metody oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym

Ocenę bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym można przeprowadzić za pomocą metod prawno-nakazowych (preskrypcyjnych) [8, 9, 10], które opar-

te są na obowiązujących przepisach lub za pomocą metod, opartych na ocenie zachowania się statku i ocenie ryzyka wypadku [1].

Metody prawno-nakazowe oparte są na przepisach zawartych w konwencji SOLAS (rozdział II-1) [8, 9, 10]. Można rozważyć możliwość zastosowania do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu następujących metod.

Pierwsza metoda oparta jest na zastosowaniu do oceny bezpieczeństwa statków pasażerskich w stanie uszkodzonym, całościowego modelu ryzyka, w następującej postaci [11, 12, 13]:

$$R = P_C P_{C/F} P_{C/F/NS} P_{C/F/NS/TTS} C \quad (1)$$

gdzie:

- P_C – prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji,
- $P_{C/F}$ – prawdopodobieństwo warunkowe zatapiania kadłuba po uszkodzeniu poszycia na skutek kolizji,
- $P_{C/F/NS}$ – prawdopodobieństwo warunkowe nieprzetrwania kolizji na skutek zatapiania kadłuba po uszkodzeniu poszycia na skutek kolizji,
- $P_{C/F/NS/TTS}$ – prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia danego czasu tonięcia statku na skutek nieprzetrwania kolizji z powodu zatapiania kadłuba po uszkodzeniu poszycia w wyniku kolizji,
- C – konsekwencje kolizji z uwagi na ofiary, zranienia, mienie (ładunek, statek) i środowisko.

Druga metoda oparta jest na koncepcji maksymalnego zatopienia, jakie może przetrwać statek po uszkodzeniu poszycia, czasu zatapiania i powrotu do portu [14]. W metodzie tej podstawowe cele bezpieczeństwa zostały podzielone na trzy kategorie [14]:

- kategoria I – statek zachował pływerność w pozycji wyprostowanej i jest zdolny do powrotu do portu o własnych siłach (RTP – Return to Port),
- kategoria II – statek zachował pływerność w pozycji wyprostowanej, ale jest niezdolny do powrotu do portu o własnych siłach (WFA – Waiting For Assistance),
- kategoria III – statek prawdopodobnie przewróci się (utraci stateczność)/zatonie i konieczne będzie opuszczenie statku (AS – Abandonment of the Ship).

Trzecia metoda oparta jest na koncepcji prawdopodobieństwa zupełnego przetrwania kolizji przez statek, występującego w postaci wskaźnika podziału grodziowego A_{SRIP} (gdzie: SRIP – Safe Return to Port), który jest obliczany na

podstawie charakterystyk stateczności resztowej (stateczności awaryjnej) statku w stanie uszkodzonym [15]:

$$A_{SRIP} = 0,4 A_{SRIP,s} + 0,4 A_{SRIP,p} + 0,2 A_{SRIP,l} \quad (2)$$

gdzie:

$A_{SRIP,s}$, $A_{SRIP,p}$ i $A_{SRIP,l}$ – wskaźniki podziału grodziowego odpowiadające stanom załadowania statku: pełnemu (s), pośredniemu (p) i balastowemu (l).

Wskaźniki $A_{SRIP,s}$, $A_{SRIP,p}$ i $A_{SRIP,l}$ należy obliczać zgodnie z następującą zależnością [15]:

$$A_{SRIP,lc} = \sum_{i=1}^n p_i S_{SRIP,i} \quad (3)$$

gdzie:

- lc – wskaźnik stanu załadownia ($lc = s, p, l$),
- p_i – prawdopodobieństwo zatopienia rozważanego przedziału lub grupy przyległych przedziałów, zgodnie z prawidem 7-1 zawartym w przepisach [8, 9, 10],
- $S_{SRIP,i}$ – prawdopodobieństwo przetrwania zatopienia rozważanego przedziału lub grupy przyległych przedziałów, jedynie w końcowym etapie zatapiania statku, zgodnie z zależnościami podanymi w literaturze [15].

Metody te jest bardzo trudno zastosować do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu. Wynika to przede wszystkim z tego, że metody te ukierunkowane są głównie na ocenę bezpieczeństwa w czasie projektowania statków. Oczywiście metody te mają charakter preskrypcyjny. Ogólnie metody te oparte są na probabilistycznym podejściu do bezpieczeństwa, ale ich niektóre elementy mają charakter semi-probabilistyczny i deterministyczny. To stoi w sprzeczności z naturą bezpieczeństwa, które ma charakter stochastyczny. Najpoważniejszym mankamentem tych metod jest to, że stosując je nie bierze się pod uwagę wszystkich możliwych scenariuszy wypadku wraz z zagrożeniami i konsekwencjami [1]. Zastosowanie tych metod w odniesieniu do pewnych typów statków może prowadzić do zaniżenia poziomu bezpieczeństwa poprzez wprowadzenie ograniczeń zarówno projektowych, jak i operacyjnych. Co prawda zaletą tych metod jest to, że bazują one na wieloletnim doświadczeniu. Jednak wady tych metod sprawiają, że bardzo trudno jest zastosować te metody do oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu. Najczęściej jest to niemożliwe.

3. Proponowana metoda oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym

Ocena bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w proponowanej metodzie jest oparta na ocenie zachowania się statku w stanie uszkodzonym i ocenie ryzyka wypadku. Główną cechą metody jest to, że do oceny bezpieczeństwa statku zastosowano tak zwane podejście całościowe. Polega ono na tym, że po pierwsze model ryzyka jest modelem całościowym. Po drugie uwzględniono wpływ na bezpieczeństwo czynników o charakterze projektowym, eksploatacyjnym i tych związanych z zarządzaniem i czynnikiem ludzkim.

Proponowana metoda jest oparta na zastosowaniu systemowego i zintegrowanego podejścia do bezpieczeństwa statków, elementów Formalnej Oceny Bezpieczeństwa FSA, oceny zachowania się statku w stanie uszkodzonym i oceny ryzyka wypadku [1]. Do oceny zachowania się statku można wykorzystać dostępne dane statystyczne, wyniki badań na modelach fizycznych oraz wyniki symulacji komputerowej. Ocena zachowania się statku w stanie uszkodzonym umożliwia prześledzenie wszystkich możliwych scenariuszy wypadku aż do określenia konsekwencji wypadku włącznie. Opracowane scenariusze wypadku umożliwiają przedstawienie modelu ryzyka wypadku dla całego zakresu drzewa zdarzeń (drzewa konsekwencji) ETA [1]. Celem w proponowanej metodzie jest osiągnięcie odpowiedniego poziomu ryzyka wypadku. Jest to jednoznaczne z tym, że bezpieczeństwo jest celem (projektowym, operacyjnym i/lub organizacyjnym), a nie ograniczeniem istniejącym w przepisach. Miarą bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w proponowanej metodzie jest poziom ryzyka wypadku.

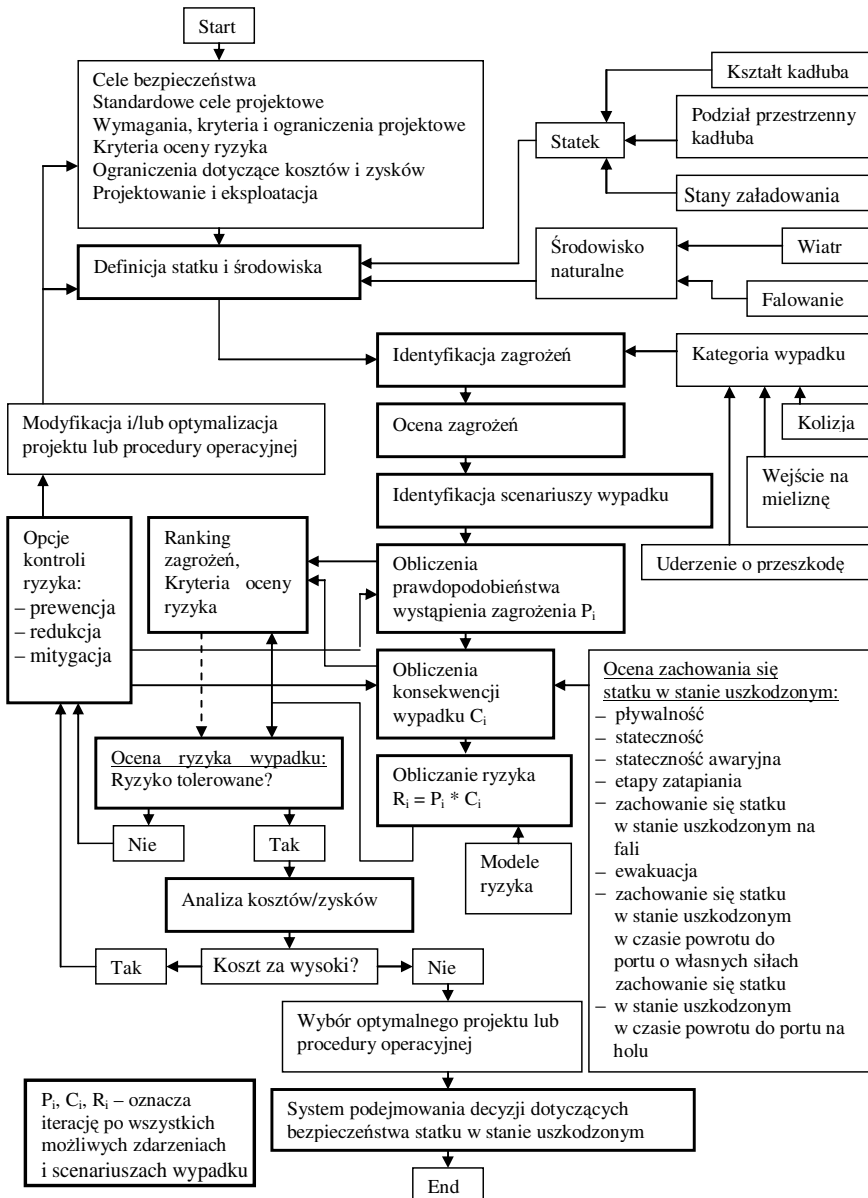
Proponowaną metodę można stosować na dowolnym etapie życia statku, w tym także do oceny bezpieczeństwa statku w czasie katastrofy. Strukturę proponowanej metody przedstawiono na rysunku 1.

4. Procedura oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie ratowania statku na morzu

Proponowana procedura oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie ratowania statku na morzu obejmuje dwa zasadnicze zagadnienia [1, 16]:

- 1) analizę i ocenę zachowania się statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy,
- 2) analizę i ocenę ryzyka nieprzetrwania katastrofy przez statek.

Z uwagi na analizę i ocenę zachowania się statku w stanie uszkodzonym procedura powinna umożliwiać analizę i ocenę pływalności, stateczności i zachowania się statku w dziedzinie czasu, dla danego scenariusza wypadku zdefiniowanego przez: stan załadowania statku, opis zagrożenia, miejsce i wielkość uszkodzenia kadłuba, opis zdarzeń pośrednich i dodatkowych (uwolnień) towarzyszących procesowi zatapiania kadłuba.



Rys. 1. Struktura metody oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym, opartej na zachowaniu się statku w stanie uszkodzonym i analizie ryzyka [1]

Zostały uwzględnione następujące zdarzenia pośrednie: dostawanie i wydostawanie się wody zaburtowej z i do zatopianego przedziału, przelewanie się wody wewnątrz kadłuba, wydostawanie się ładunku do morza. Do typowych

zdarzeń dodatkowych można zaliczyć: wpływ ilości i czasu wypływu ładunku do morza, wpływ przesunięcia ładunku, wpływ poduszek powietrznych, wpływ sił zewnętrznych od urządzeń napędowych, sterowych i holu.

Ocena zachowania się statku w stanie uszkodzonym jest dokonywana na podstawie charakterystyk hydromechanicznych, takich jak położenie równowagi statku, krzywa stateczności awaryjnej i przebiegi kołysań liniowych i kątowych statku w stanie uszkodzonym.

Z uwagi na analizę i ocenę ryzyka główne zadania badawcze będą polegały na modelowaniu i wyznaczeniu wartości prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia i wartości prawdopodobieństw warunkowych wystąpienia zdarzeń pośrednich, dodatkowych i końcowych (skutków). Zostały opracowane dynamiczne drzewa zdarzeń (drzewa konsekwencji ETA), w których zdarzeniami początkowymi (inicjującymi) będą następujące zagrożenia: kolizja, wejście na mieliznę, uderzenie o przeszkodę. Tworzeniu drzew zdarzeń jest związane z opracowaniem wszystkich możliwych scenariuszy wypadku, w przypadku wystąpienia każdego z wymienionych zagrożeń.

Ryzyko wypadku (katastrofy) zostało zdefiniowane jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia P_i i konsekwencji wypadku C_i [1]:

$$R_i = P_i C_i \quad (4)$$

Ryzyko nieprzetrwania kolizji przez statek zostanie wyznaczone za pomocą sekwencyjnego modułowego macierzowego modelu ryzyka. Bez względu na metodę zastosowaną do analizy i oceny zachowania się statku w stanie uszkodzonym (badania na modelu fizycznym czy symulacja komputerowa), ryzyko nieprzetrwania kolizji przez statek należy obliczać w sposób następujący [1]:

$$R = P_C P_{FC} PoC C_C \quad (5)$$

gdzie:

- P_C – prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji,
- P_{FC} – prawdopodobieństwo zatapiania statku po wystąpieniu kolizji,
- C_C – konsekwencje katastrofy szacowane na podstawie analizy zachowania się statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy,
- PoC – prawdopodobieństwo nieprzetrwania kolizji przez statek wyznaczone za pomocą jednej z czterech metod [1]: zerojedynkowej, statycznej, metody opartej o definicję prawdopodobieństwa zupełnego przetrwania kolizji przez statek A, metody opartej na ocenie zachowania się statku w stanie uszkodzonym i identyfikacji charakterystyk procesu stochastycznego kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym (metoda własna), metody opartej na zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych.

Analiza ryzyka z użyciem metody opartej na ocenie zachowania się statku w stanie uszkodzonym i identyfikacji charakterystyk procesu stochastycznego kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym (metoda własna) wymaga obliczenia prawdopodobieństw warunkowych dotyczących zdarzeń inicjujących ZI_i , zdarzeń głównych (zagrożeń) ZG_j , zdarzeń pośrednich ZP_k i zdarzeń końcowych ZK_l , będących konsekwencjami w scenariuszu zdarzeń. Powyższe prawdopodobieństwa warunkowe obliczane są w następujący sposób [1]:

$$P(ZI) = P(ZI_i) = [P(ZI_1), P(ZI_2), \dots, P(ZI_n)] \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n \quad (6)$$

$$P(ZG_j/ZI_i) = \begin{bmatrix} P(ZG_1/ZI_1) & P(ZG_2/ZI_1) & \dots & P(ZG_m/ZI_1) \\ P(ZG_1/ZI_2) & P(ZG_2/ZI_2) & \dots & P(ZG_m/ZI_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(ZG_1/ZI_n) & P(ZG_2/ZI_n) & \dots & P(ZG_m/ZI_n) \end{bmatrix} \quad \text{for } j = 1 \text{ to } m \quad (7)$$

$$P(ZP_k/ZG_j) = \begin{bmatrix} P(ZP_1/ZG_1) & P(ZP_2/ZG_1) & \dots & P(ZP_{m1}/ZG_1) \\ P(ZP_1/ZG_2) & P(ZP_2/ZG_2) & \dots & P(ZP_{m1}/ZG_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(ZP_1/ZG_m) & P(ZP_2/ZG_m) & \dots & P(ZP_{m1}/ZG_m) \end{bmatrix} \quad \text{for } k = 1 \text{ to } m1 \quad (8)$$

$$P(ZK_l/ZP_k) = \begin{bmatrix} P(ZK_1/ZP_1) & P(ZK_2/ZP_1) & \dots & P(ZK_{m2}/ZP_1) \\ P(ZK_1/ZP_2) & P(ZK_2/ZP_2) & \dots & P(ZK_{m2}/ZP_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(ZK_1/ZP_{m1}) & P(ZK_2/ZP_{m1}) & \dots & P(ZK_{m2}/ZP_{m1}) \end{bmatrix} \quad \text{for } l = 1 \text{ to } m2 \quad (9)$$

Powyższy model nazwano ogólnie macierzowym modelem ryzyka nieprzezwyciężenia kolizji [1]. Powyższy model umożliwia obliczenie ryzyka dla wszystkich możliwych scenariuszy katastrofy (kolizji), które zostały omówione w pracy [1]. W przypadku gdy oprócz wymienionych zdarzeń w skład danego scenariusza zdarzeń wchodzi zdarzenia dodatkowe (wymienione w opisie procedury), prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia konsekwencji C_i (zdarzeń koń-

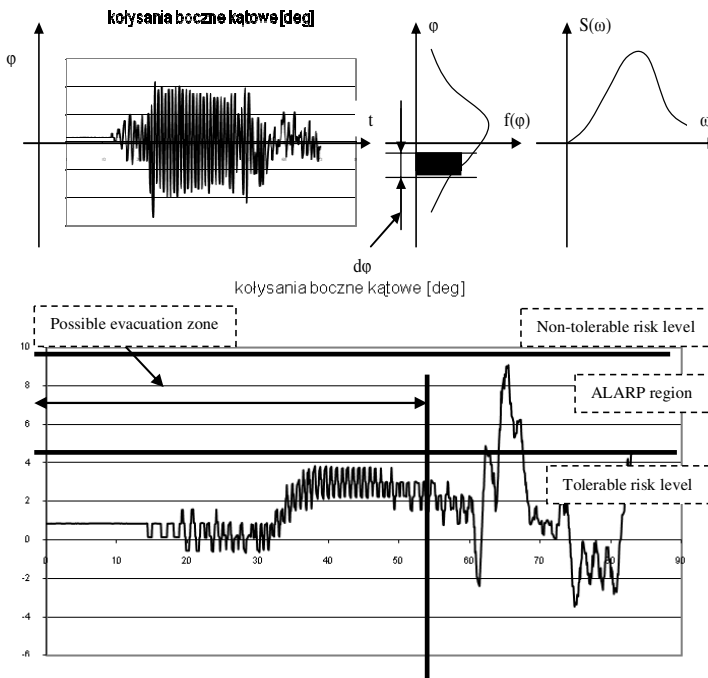
cowych) $PoC(C_i)$, występujące we wzorze (5), należy obliczyć w sposób następujący [1]:

Omawiane w tym punkcie prawdopodobieństwo $PoC(C_i)$ wystąpienia konsekwencji (skutków) C_i , w zależności od wystąpienia określonych kategorii zdarzeń dodatkowych ZD_j , można wyrazić w następujący sposób [1, 17]:

$$PoC(C_i) = \sum_{j=1}^{Nzd} P(C_i, ZD_j) = \sum_{j=1}^{Nzd} P(C_i / ZD_j) P(ZD_j) \quad (10)$$

gdzie:

- j – liczba indeksująca istniejące kategorie zdarzeń dodatkowych;
- Nzd – liczba kategorii zdarzeń dodatkowych;
- $P(ZD_j)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia dodatkowego ZD_j ;
- $P(C_i/ZD_j)$ – prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia skutków C_i pod warunkiem wystąpienia zdarzenia dodatkowego ZD_j .



Rys. 2. Schemat omawianego procesu stochastycznego (proces kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym) i jego charakterystyk

Znając przebieg kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym, istnieje możliwość szybkiej identyfikacji ryzyka wypadku R, według wzoru (5). W tym celu prawdopodobieństwo PoC należy wyznaczyć, wykorzystując podejście przedstawione w postaci wzoru (11) i schematu przedstawionego na rysunku 2 [1].

$$\text{PoC} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\varphi) d\varphi \quad (11)$$

gdzie:

φ_1, φ_2 – chwilowe kąty kołysań bocznych kątowych statku w stanie uszkodzonym, przy czym $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono podstawowe elementy metody oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy statku na morzu. Autor skoncentrował się na przypadku katastrofy będącej następstwem wystąpienia następujących trzech zagrożeń: kolizja, wejście na mieliznę, uderzenie o przeszkodę [1]. Przedstawiona procedura oceny bezpieczeństwa statku w czasie katastrofy, która nastąpiła na skutek wystąpienia jednego z powyższych zagrożeń, umożliwi dokonanie oceny zachowania się statku w stanie uszkodzonym i oceny ryzyka nieprzetrwania zatopienia kadłuba statku na wszystkich etapach katastrofy. Dzięki zastosowaniu całościowego modelu ryzyka możliwe jest przeprowadzenie ilościowej analizy ryzyka dla wszystkich możliwych scenariuszy wypadku.

Obecne prace badawcze związane są z dalszym rozwojem omówionej procedury, a całościowego modelu ryzyka w szczególności. Efektem końcowym badań powinien być model obliczeniowy do szybkiej symulacji sytuacji na morzu w czasie katastrofy, umożliwiający ocenę zachowania się statku w stanie uszkodzonym i ocenę ryzyka na kolejnych etapach katastrofy. Należy podkreślić, że przedstawione wyniki badań są ściśle związane z poprzednimi pracami autora oraz stanowią elementy prac naukowo-badawczych, związanych z realizacją projektu badawczego własnego pt. „Opracowanie modelu do analizy i oceny zachowania się statku w czasie katastrofy z wykorzystaniem modelu ryzyka nieprzetrwania kolizji przez statek”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (decyzja Nr 5703/B/T02/2010/39). Projekt będzie realizowany na Politechnice Gdańskiej w latach 2010–2012, pod kierunkiem autora.

Bibliografia

1. Gerigk M.: Kompleksowa metoda oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka. Monografie 101, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.
2. Romanowski Cz., Witek Piotr.: Może być strasznie. Budownictwo Okrętowe, nr 3 (548), marzec 2005, pp. 27–31.
3. Romanowski Cz., Stareńczak P.B.: Co z tym Bałtykiem? Nasze Morze, nr 12 (24), grudzień 2007.
4. Frąckowiak M.: Statyka okrętu. Skrypt Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1990.
5. Dudziak J.: Teoria okrętu. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008.
6. Stocznia Gdynia S.A.: Dokumentacja projektowa kontenerowca (udostępniona Wydziałowi Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej za zgodą Dyrektora Biura Projektowego Stoczni Gdynia S.A.). Raport Wewnętrzny Stoczni Gdynia S.A., Gdynia 1999–2005.
7. Gerigk M.: Ocena zachowania się statku w stanie uszkodzonym. Symulacja komputerowa. Badania na modelach fizycznych. Raport Wewnętrzny Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej, nr 2/2007/PB, Gdańsk 2007.
8. IMO (International Maritime Organization). Report of the Maritime Safety Committee on Its Eightieth Session. MSC 80/24/Add.1, London 2005.
9. IMO (International Maritime Organization). Resolution MSC.194(80) Annex 2, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, As Amended, adopted on 20.05.2005.
10. IMO (International Maritime Organization). Resolution MSC.216(82) Annex 2, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, As Amended, adopted on 08.12.2006.
11. Jasionowski A., Vassalos D.: Conceptualising Risk. Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25–29 September 2006.
12. Skjong R., Vanem E., Rusas S., Olufsen O.: Holistic and Risk Based Approach to Collision Damage Stability of Passenger Ships. Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25–29 September 2006.
13. Vanem E., Skjong R. Damage stability and Evacuation Performance Requirements of Passenger Ships. Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25–29 September 2006.
14. Vassalos D.: Safe return to port. Seminar for the 50th session of the IMO SLF Sub-Committee, London, May 2007.

15. IMO (International Maritime Organization). Stability and Seakeeping Characteristics of Damaged Passenger Ships in a Seaway When Returning to Port by Own Power or Under Tow, A survey of residual stability margin, Submitted by Germany. SLF 52/8/1, London, 26 October 2009.
16. Gerigk M.: Modeling of hazards, consequences and risk for safety assessment of ships in damaged conditions in operation. BALKEMA – Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences. Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2008 and 17th SRA-Europe, Volume 4, Valencia, Spain, 22–25 September 2008, Published by CRC Press, Taylor & Francis Group, Balkema, Boca Raton/London/New York/Leiden , pp. 3303–3310.
17. Borysiewicz M., Furtek A., Potemski S.: Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi. Instytut Energii Atomowej, Otwock – Świerk 2000.

Recenzent:

Stanisław GUCMA

The assessment of the safety of a ship in damaged conditions during a catastrophe at sea

Key words

Safety of seaborne transportation, safety of ships, risk analysis and risk assessment of accident, risk of not surviving a collision by a ship.

Summary

The most important information regarding the assessment of the safety of ships in damaged conditions during a catastrophe at sea is presented in the paper. Brief knowledge about how to identify the basic characteristics of ships in damaged conditions during a catastrophe at sea is introduced. Next, the possible methods for the assessment of the safety of ships in damaged conditions based on the requirements included in the SOLAS 2009 convention are briefly described. Then a proposed complex method of safety assessment of ships in damaged conditions based on risk analysis that can be applied for the safety assessment of ships in damaged conditions during a catastrophe at sea is introduced. The major elements of this method concerning ship performance analysis and risk analysis of not surviving a collision are described. The procedure for the assessment of the safety of ships in damaged conditions during salvage at sea is also presented in the paper. The basic elements of the risk model that has been applied are shown. An example regarding the calculation of the risk of not surviving the collision is presented.