INFLUENCE OF FLOODING BOAT DECK COMPARTMENT ON THE TRAINING WARSHIP STABILITY SAFETY

WPŁYW ZATOPIENIA POMIESZCZENIA POKŁADU ŁODZIOWEGO NA STATECZNOŚĆ OKRĘTU SZKOLNEGO

Waldemar Mironiuk

Polish Naval Academy

e-mail: w.mironiuk@amw.gdynia.pl

Abstract: *The paper presents computational stability issues with a flooded ship compartment situated on boat deck. As the main criteria for stability of the warship, calculation algorithm of metacentric height and righting levers have been defined, with a free surface effect taken into account. Based on the results of the calculations presented in tabular and graphical forms, suitable conclusions have been drawn up.*

Keywords: *ship stability, angle of heel*

Streszczenie: *W referacie przedstawiono zagadnienia obliczeniowe stateczności okrętu szkolnego z zatopionym przedziałem okrętowym na pokładzie łodziowym. Omówiono algorytm obliczeń wysokości metacentrycznej i ramion prostujących z uwzględnieniem powierzchni swobodnej jako główne kryteria stateczności okrętu. Na podstawie wyników obliczeń przedstawionych w postaci tabelarycznej i graficznej sformułowano odpowiednie wnioski.*

Słowa kluczowe: *stateczność okrętu, kąt przechyłu*

INFLUENCE OF FLOODING BOAT DECK COMPARTMENT ON THE TRAINING WARSHIP STABILITY SAFETY

1. Introduction

Ship is a compound technical system operated intensively in particular during military activities. Her combat abilities depend, first of all, on munitions with which the vessel is equipped and on the remaining technical measures ensuring her way [6]. Damages caused to those measures result in deterioration of the boat military capabilities and they may be followed by various reasons. Events causing damages to the ship, as to a technical system, are presented in figure 1.

Fig. 1. Break-down of ship accidents and failures [4,6]

Fire presents serious hazard to a ship when at sea. It results in her sinking rarely, however the left devastation is usually very serious and, as ever, depending on the level of the crew training in respect to the damage control plan.

During peaceful operation of the combat vessel, short-circuits in electrical installations, failures of devices and mechanisms, self ignition of pure oxygen when contacted with petroleum materials and so on make most sources of fires. Seawater is usually the main extinguishing agent used on ships and high volumes of the water are hazardous to the vessel stability and subdivision. Therefore, in the paper, the main emphasis has been made on defining the impact of high located and flooded compartments on the ship stability safety. Results of calculations presented in the elaboration contain information regarding volumes of water in the compartment causing deterioration of the ship stability.

2. Characteristics of the research object

The training vessel selected for the tests is a flagship of the training and research ships' wing of our fleet. The said boat is divided, with ten transverse watertight bulkheads, into 11 watertight compartments located on the frames: 3, 16, 25, 35, 50, 60, 71, 80, 91 and 101. Such division ensures maintenance of unsinkability when two neighbouring compartments have been flooded, excluding main engine room and adjoining compartment.

Analysis of the damage stability after flooding high located compartments has been justified because the ship sails in different sea waters, so in various and dangerous weather conditions where the risk of damages is high.

General characteristics of the vessel:

- main dimensions:
 - overall length: $L_c = 72,20$ m,
 - length between perpendiculars: $L_{pp} = L = 64,20$ m,
 - maximal breadth: $B_{max} = 12,00$ m,
 - breadth: $B = 11,60$ m,
 - height: $H = 5,55$ m.

Fig. 2. Picture of the training vessel [9]

The calculations have been made for load displacement and no icing. These conditions are characterized by the following quantities:

– displacement:	$D = 1745,34 \text{ t,}$
– ordinate of the mass centre from the main plane:	$z_G = 4,31 \text{ m,}$
– stern draft:	$T_R = 3,97 \text{ m,}$
– bow draft :	$T_D = 4,05 \text{ m,}$
– average draft:	$T_{sr} = 4,01 \text{ m,}$
– trim:	$t = 0,08 \text{ m,}$
– metacentr height from the main plane:	$z_M = 5,44 \text{ m,}$
– metacentric height:	$GM = 1,13 \text{ m,}$
– speed:	$V = 16,8 \text{ w}$
– coordinates of the mass centre:	
• $x_G = 29,649 \text{ m}$ from the after perpendicular,	
• $y_G = -0,007 \text{ m}$ from the plane of symmetry,	
• $z_G = 4,314 \text{ m}$ from the main plane [1].	

3. Defining the metacentric height and the righting levers of the ship

Water broken into the vessel's hull and the flooded compartment or tank result in deeper draught of the ship, possible heel and trim as well as a change in her stability. The change may improve or aggravate operational conditions of the boat. In some case, lower stability may be serious enough to endanger safety of the ship and her crew as well as it may cause overturning of the vessel. To avoid accidents of such a kind, it is necessary to check stability of the damaged ship and apply appropriate remedial measures that would stop its lessening.

Flooding of high situated compartment or several compartments always results in aggravation of the vessel's stability. As a consequence, a heel or trim of the ship, change in the metacentric height and the righting levers may occur.

A vessel of standard displacement D for which a mass m is loaded in the point A (X, Y, Z) as in the figure 3 [1,2,3] has been taken into consideration in the stability calculations.

Fig. 3. Scheme of the ship situation after acceptance of the mass m in the point A [1,2,3]

At the beginning, acceptance of the mass was assumed so that to have its centre vertically above the centre of water-plane section's surface WO in the point A₁ (X_s, 0, Z). Then, it is possible to calculate [1,2,3]:

- the draught increase, as per the formula:

$$\Delta T = \frac{m}{\rho F_{WO}} \quad (1)$$

- the new transverse metacentric height, as per the formula:

$$\overline{G_1 M_1} = \overline{GM} + \frac{m}{D+m} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - Z - \overline{GM} \right) \quad (2)$$

- the new longitudinal metacentric height, as per the formula:

$$\overline{G_1 M_{L1}} = \frac{m}{D+m} \overline{GM_L} \quad (3)$$

In the next step, the mass was moved from the imaginary position onto the place occupied in reality:

- towards the transverse direction by a distance of $e = Y - Y_l = Y - 0 = Y$,
- towards the transverse direction by a distance of $l = X - X_s$.

The angle of heel of the ship has been calculated with the below formula:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{mY}{(D+m)\overline{G_1 M_1}} \quad (4)$$

and the trim of the vessel from:

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{m(X - X_s)}{D\overline{GM_L}} \quad (5)$$

The new draughts of the bow and stern are defined from the following equations:

$$T_{d1} = T_d + \Delta T + \Delta T_d \quad (6)$$

$$T_{r1} = T_r + \Delta T + \Delta T_r \quad (7)$$

The final results are as follows:

$$T_{d1} = T_d + \frac{m}{\rho F_{WO}} + \left(\frac{L}{2} - X_s \right) \frac{m(X - X_s)}{D\overline{GM_L}} \quad (8)$$

$$T_{r1} = T_r + \frac{m}{\rho F_{WO}} + \left(-\frac{L}{2} - X_s \right) \frac{m(X - X_s)}{D\overline{GM_L}} \quad (9)$$

For large angles of heel (above 7°), the ship stability is defined based on the righting lever curves (Reed's curve). This curve allows determining dimensions of the righting lever for any angle of heel of the given ship, at invariable displacement and position of the mass centre.

Fig. 4. Righting lever of the shape and mass [14]

Value of the righting lever $\overline{GH}$ is determined with the following formula applied [14]:

$$\overline{GH} = \overline{KC} - \overline{KL} \quad (10)$$

where:

$$\overline{KL} = Z_g \sin \varphi \quad (11)$$

Z_g – the mass centre height [m],

$\overline{KL}$ – the mass stability lever [m],

$\overline{KC}$ – the shape stability lever [m].

The formula (10) may be presented in the following way:

$$\overline{GH} = \overline{KC} - Z_g \sin \varphi \quad (12)$$

4. Impact of free surface on the ship stability

Presence of fluid free surface after partial flooding of compartment always results in reduction of the vessel's metacentric height. This decrease depends, among the others, on the shape and magnitude of this surface.

Receipt of liquid cargo on board of a ship, accompanied by occurrence of the free surface, has influence on change of position of the vessel mass centre and thus on the metacentric height $\overline{GM}$.

Hence usage of, for instance, larger quantities of water for fire-fighting purposes on upper decks results in shifting the boat's mass centre up, and – if connected with occurrence of free surfaces – it may cause the loss of stability and overturning of the ship.

Impact of inertia moment derived from the free surface of the flooded compartment has been taken into account in the calculations of the metacentric height. It has been assumed that surface of the compartment under flooding is rectangular. The moments of inertia of the permanent constructional elements present in the compartment have been taken into consideration in calculations regarding the inertia moment of the entire body.

Influence of the fluid free surface on the righting levers' curve (the Reed's curve) has been taken into account by implementing an allowance marked with an X symbol X[1,2,3].

$$X = [y_{G1}(\varphi)\cos\varphi + z_{G1}(\varphi)\sin\varphi] \quad (13)$$

where:

$y_{G1}(\varphi)$ and $z_{G1}(\varphi)$ – constituents of shift of the vessel's mass centre, at the heel to the angle φ [m],

$$y_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i [y_g(\varphi)]_i}{D} \quad (14)$$

$$z_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i [z_g(\varphi)]_i}{D} \quad (15)$$

D – ship displacement together with liquid cargo [t],

m_i – mass of the liquid cargos in particular tanks [t],

$[y_g(\varphi)]_i$ and $[z_g(\varphi)]_i$ – constituents of shifts of the fluid mass centres in the flooded compartments at the heel to the angle φ [m] [10].

These parameters have been calculated with a used of an elaborated computer programme. This software is adapted to calculate stability parameters for a floating structure of rectangular shape.

After defining the allowance from the fluid free surface, the new GM is:

$$GM = G_1 M_1 - X \quad (16)$$

Based on the formula 16, the calculations and analyses of the vessel's metacentric height after flooding the ship compartment have been made.

5. Results of the vessel stability with a ship compartment flooded

The calculations have been made for a compartment located at the height of 8,10 m from the main plane. This compartment, of the dimensions: width 8,67 m and length 36,78 m, is represented by a plane surface, after considering its equipment, equal 188,5 m². It was undergone flooding up to the water height H previously assumed.

The results of the metacentric height calculations, before (GM) and after the free surface (GM') - for the considered water heights in the compartment - was taken into consideration, are given in the table 1.

Table 1. Results of the metacentric height calculations for the flooded compartment [7,8,9]

H [m]	0,1	0,4	0,8	1	1,2	1,6
G_2M_2 [m]	1,071	0,916	0,716	0,629	0,530	0,353
$G'_2M'_2$ [m]	0,339	0,206	0,034	-0,041	-0,127	-0,281

Figure 5 presents correlation between the metacentric height GM and GM' and the water height in the compartment H.

Fig. 5. Correlation between the metacentric height GM and GM' and the water height in the compartment H [7,8,9]

It comes out from the analyses of the obtained calculations' results that the metacentric height value GM' decreases as the water level H goes up.

A course of changes of the righting levers' curve (the Reed's curve) versus the heel angle of the ship is presented in the figure 6. The angles of steady heel of the ship, resulting from flooding of the vessel compartment under discussion, amount respectively: $\varphi_{S3} = 12^\circ$ for the water level in the compartment equal $H = 1,0$ m and $\varphi_{S4} = 18^\circ$ for $H = 1,6$ m. The metacentric heights for these cases display negative values.

Fig. 6. Influence of the amount of water in the compartment on the Reed's curve

6. Summary

Conduction of analysis of the stability after flooding a high situated compartment provides the following findings:

Flooding of high located compartments results in:

- decrease of value of metacentric height,
- decrease of value of righting levers,
- increase of value of steady heel angle ϕ_s .

Flooding of the compartment up to the water level height of $H = 1,0$ m and more results in losing the initial stability and values of the righting levers display negative values. The vessel keeps positive initial stability at smaller heights of the water levels in the compartments.

7. References

- [1] Kabaciński J.: Ship stability and subdivision, Gdańsk, Poland, 1995
- [2] Derett D. R.: Ship stability for Masters and Mates, BH. Oxford, UK, 2003
- [3] Dudziak J.: Theory of ship, Printing House: Wydawnictwo Morskie, Gdańsk, Poland, 2006
- [4] Jakus B., Korczewski Z., Mironiuk W., Szyszka J., Wróbel R.: Damage control plan for a ship, part 1, Gdynia, Poland, 2001
- [5] Mironiuk W.: Preliminary research on stability of warship models, COPPE Brazil, Rio de Janeiro, 2006
- [6] Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R. Training simulator for fighting against water, Magazine: Przegląd Morski no. 5, Gdynia, Poland, 2004
- [7] Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R.: Analysis of static stability of rectangular pontoon of dimensions LxBxH, Scientific journals of Polish Naval Academy, Gdynia, Poland, 2004
- [8] Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M.: Model tests for stability and subdivision of ships, Polish Naval Academy, Gdynia, Poland, 2006
- [9] Mironiuk W., Pawłędzio A.: Modelling studies of the roll and the pitch training ship, Maritime Transport & Shipping, London, UK, 2013
- [10] Staliński J.: Theory of ship, Printing House: Wydawnictwo Morskie, Gdynia, Poland, 1958

Cdr Waldemar Mironiuk PhD Eng. - Polish Naval Academy
Faculty of Navigation and Naval Weapons.

WPLYW ZATOPIENIA POMIESZCZENIA POKŁADU ŁODZIOWEGO NA STATECZNOŚĆ OKRĘTU SZKOLNEGO

1. Wstęp

Okręt jest złożonym systemem technicznym intensywnie eksploatowanym szczególnie podczas działań wojennych. Jego zdolność bojowa zależy przede wszystkim od środków bojowych, w które wyposażony jest okręt oraz od pozostałych środków technicznych zapewniających jego ruch [6]. Uszkodzenia tych środków powodują obniżenie zdolności bojowej okrętu i mogą wynikać z różnych przyczyn. Zdarzenia powodujące uszkodzenie okrętu jako systemu technicznego przedstawiono na rysunku 1.

Rys. 1. Podział wypadków i awarii okrętowych [4,6]

Podczas pobytu okrętu na morzu znaczne zagrożenie dla jego bezpieczeństwa stanowi pożar. Rzadko powoduje on zatonięcie okrętu, jednak zniszczenia, jakie pozostawia są zazwyczaj bardzo poważne i jak zawsze, uzależnione od poziomu wyszkolenia załogi w zakresie obrony przeciwwawaryjnej.

Źródłem pożaru podczas pokojowej eksploatacji okrętu są zazwyczaj zwarcia w instalacjach elektrycznych, awarie urządzeń i mechanizmów, samozapłon czystego tlenu w kontakcie z materiałami ropopochodnymi itp. Głównym środkiem gaśniczym stosowanym na okrętach jest zazwyczaj woda zaburtowa, która w dużych ilościach stanowi zagrożenia dla stateczności i niezatapialności okrętu. Dlatego w pracy główny nacisk położono na określenie wpływu zalania przedziałów wysoko położonych na położenie i bezpieczeństwo statecznościowe okrętu. Przedstawione w pracy wyniki obliczeń zawierają informacje o ilości wody w przedziale powodującej pogorszenie stateczności okrętu.

2. Charakterystyka obiektu badań

Wybrany do badań okręt szkolny jest okrętem flagowym zespołu jednostek szkolno badawczych naszej floty. Badany okręt podzielony jest dziesięcioma poprzecznymi grodziami wodoszczelnymi na 11 przedziałów wodoszczelnych usytuowanych na wręgach: 3, 16, 25, 35, 50, 60, 71, 80, 91, 101. Taki podział zapewnia zachowanie niezatapialności przy zatopieniu dwóch sąsiednich przedziałów za wyjątkiem zatopienia przedziału siłowni głównej i przedziału sąsiadującego.

Ponieważ okręt pływa w różnych akwenach morskich, więc i w zmiennych i niebezpiecznych warunkach pogodowych gdzie ryzyko uszkodzeń jest duże, analiza stateczności awaryjnej po zatopieniu wysoko położonych pomieszczeń była zasadna.

Charakterystyka ogólna okrętu:

- wymiary główne:
 - długość całkowita: $L_c=72,20\text{m}$,
 - długość między pionami: $L_{pp}=L=64,20\text{m}$,
 - szerokość maksymalna: $B_{\max}=12,00\text{m}$,
 - szerokość: $B=11,60\text{m}$,
 - wysokość boczna: $H=5,55\text{m}$.

Rys. 2. Fotografia okrętu szkolnego [9]

Obliczenia przeprowadzono dla wyporności pełnej bez oblodzenia. Stan ten charakteryzuje się następującymi wielkościami:

- wyporność: $D=1745,34\text{t}$,
- rzędna środka masy od płaszczyzny podstawowej: $z_G=4,31\text{m}$,
- zanurzenia rufy: $T_R=3,97\text{m}$,

- zanurzenie dziobu: $T_D=4,05\text{m}$,
- zanurzenie średnie: $T_{sr}=4,01\text{m}$,
- przegłębienie: $t=0,08\text{m}$,
- wysokość metacentryczna od płaszczyzny podstawowej: $z_M=5,44\text{m}$,
- wysokość metacentryczna: $GM=1,13\text{m}$,
- prędkość: $V=16,8\text{w}$
- współrzędne środka masy:
 - $x_G=29,649\text{m}$ od pionu rufowego,
 - $y_G=-0,007\text{m}$ od płaszczyzny symetrii,
 - $z_G=4,314\text{m}$ od płaszczyzny podstawowej [1].

3. Określanie wysokości metacentrycznej i ramion prostujących okrętu

Wdarcie się wody do wnętrza kadłuba okrętu i zatopienie przedziału lub zbiornika pociąga za sobą zwiększenie zanurzenia okrętu, możliwość wystąpienia przechyłu i przegłębienia oraz zmianę stateczności. Zmiana ta może poprawić lub pogorszyć warunki pływania okrętu. W pewnych przypadkach występujące zmniejszenie stateczności może być tak duże, że może zagrozić bezpieczeństwu okrętu i załogi oraz może spowodować przewrócenie okrętu. Dla uniknięcia wypadków tego rodzaju konieczne jest sprawdzenie stateczności okrętu uszkodzonego i zastosowanie odpowiednich środków zaradczych przeciw zmniejszaniu się jej.

Zalanie wysoko położonego przedziału lub kilku przedziałów powoduje zawsze pogorszenie się stateczności okrętu. W konsekwencji może wystąpić przechył i przegłębienie okrętu, zmiana wysokości metacentrycznej oraz ramion prostujących.

W obliczeniach stateczności uwzględniono okręt o wyporności standardowej D , na który przyjęto masę m w punkcie $A(X, Y, Z)$ jak na rysunku 3[1,2,3].

Rys. 3. Schemat położenia okrętu po przyjęciu masy m w punkcie A [1,2,3]

Początkowo założono przyjęcie masy, tak by jej środek znalazł się pionowo ponad środkiem powierzchni pola przekroju wodnicowego WO w punkcie $A_1 (X_s, 0, Z)$.

Można wówczas obliczyć [1,2,3]:

- przyrost zanurzenia według wzoru:

$$\Delta T = \frac{m}{\rho * F_{wo}} \quad (1)$$

- nową poprzeczną wysokość metacentryczną według wzoru:

$$\overline{G_1 M_1} = \overline{GM} + \frac{m}{D+m} * \left(T + \frac{\Delta T}{2} - Z - \overline{GM} \right) \quad (2)$$

- nową wzdłużną wysokość metacentryczną według wzoru:

$$\overline{G_1 M_{L1}} = \frac{m}{D+m} * \overline{GM_L} \quad (3)$$

W kolejnym etapie przesunięto masę z położenia urojonego na miejsce rzeczywiście zajmowane:

- w kierunku poprzecznym o odległość $e = Y - Y_l = Y - 0 = Y$,
- w kierunku wzdłużnym o odległość $l = X - X_s$.

Kąt przechyłu okrętu obliczono ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{m * Y}{(D+m) * \overline{G_1 M_1}} \quad (4)$$

a przegłębienie okrętu ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{m * (X - X_s)}{D * \overline{GM_L}} \quad (5)$$

Nowe zanurzenie dziobu i rufy określa się równaniami:

$$T_{d1} = T_d + \Delta T + \Delta T_d \quad (6)$$

$$T_{r1} = T_r + \Delta T + \Delta T_r \quad (7)$$

Ostatecznie otrzymano:

$$T_{d1} = T_d + \frac{m}{\rho * F_{wo}} + \left(\frac{L}{2} - X_s \right) * \frac{m * (X - X_s)}{D * \overline{GM_L}} \quad (8)$$

$$T_{r1} = T_r + \frac{m}{\rho * F_{wo}} + \left(-\frac{L}{2} - X_s \right) * \frac{m * (X - X_s)}{D * \overline{GM_L}} \quad (9)$$

Dla dużych kątów przechyłu (powyżej 7°) stateczność okrętu określa się na podstawie krzywych ramion prostujących (krzywa Reeda). Krzywa ta pozwala określić wielkość ramienia prostującego dla dowolnego kąta przechyłu danego okrętu przy niezmienniej wyporności oraz niezmiennym położeniu środka masy.

Rys. 4. Ramię stateczności kształtu i masy [14]

Wartość ramienia prostującego $\overline{GH}$ wyznaczana jest z następującego wzoru [14]:

$$\overline{GH} = \overline{KC} - \overline{KL} \quad (10)$$

gdzie:

$$\overline{KL} = Z_g * \sin \varphi \quad (11)$$

Z_g – wysokość środka masy [m],

$\overline{KL}$ – ramię stateczności masy [m],

$\overline{KC}$ – ramię stateczności kształtu [m].

Wzór (10) można przedstawić następująco:

$$\overline{GH} = \overline{KC} - Z_g * \sin \varphi \quad (12)$$

4. Wpływ powierzchni swobodnej na stateczność okrętu

Występowanie swobodnej powierzchni cieczy po częściowym zatopieniu przedziału powoduje zawsze zmniejszenie wysokości metacentrycznej okrętu. Zmniejszenie to zależy m.in. od kształtu i wielkości tej powierzchni.

Przyjęcie na okręt ładunku płynnego, połączone z wystąpieniem swobodnej powierzchni, wpływa na zmianę położenia środka masy okrętu i tym samym na wysokość metacentryczną $\overline{GM}$. Z tego też względu używanie np. większej ilości wody do gaszenia pożarów na górnych pokładach powoduje przesunięcie środka masy okrętu w górę a w połączeniu z wystąpieniem swobodnych powierzchni może spowodować utratę stateczności i przewrócenie okrętu.

W obliczeniach wysokości metacentrycznej oraz ramion prostujących uwzględniono wpływ momentu bezwładności pochodzącego od powierzchni swobodnej zalanego przedziału. Przyjęto, że powierzchnie pomieszczenia zalewanego wodą ma kształt prostokąta.

Momenty bezwładności stałych elementów konstrukcyjnych znajdujących się w pomieszczeniu uwzględniono w obliczeniach momentu bezwładności całej bryły. Wpływ swobodnej powierzchni cieczy na krzywą ramion prostujących (krzywą Reeda) uwzględniono poprzez tzw. poprawkę oznaczoną symbolem X [1,2,3].

$$X = [y_{G1}(\varphi) * \cos \varphi + z_{G1}(\varphi) * \sin \varphi] \quad (13)$$

gdzie:

$y_{G1}(\varphi)$ i $z_{G1}(\varphi)$ – składowe przesunięcia środka masy okrętu przy przechyle do kąta φ [m],

$$y_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * [y_g(\varphi)]_i}{D} \quad (14)$$

$$z_{G1}(\varphi) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * [z_g(\varphi)]_i}{D} \quad (15)$$

D – wyporność okrętu wraz z ładunkiem płynnym [t],

m_i – masa ładunków płynnych w poszczególnych zbiornikach [t],

$[y_g(\varphi)]_i$ i $[z_g(\varphi)]_i$ – składowe przesunięć środków masy cieczy w zatopionych przedziałach przy przechyle do kąta φ [m] [10].

Parametry te zostały obliczone przy wykorzystaniu opracowanego programu komputerowego. Program ten przystosowany jest do obliczeń parametrów statecznościowych dla konstrukcji pływającej w kształcie pontonu prostopadłościennego.

Po określeniu poprawki od swobodnej powierzchni cieczy nowa GM wynosi:

$$GM = G_1 M_1 - X \quad (16)$$

Na podstawie wzoru 16 dokonano obliczeń i analizy wysokości metacentrycznej okrętu po zatopieniu przedziału okrętowego.

5. Wyniki obliczeń stateczności okrętu z zalany przedziałem

Obliczenia przeprowadzono dla przedziału znajdującego się na wysokości 8,1m od płaszczyzny podstawowej. Przedział ten o wymiarach: szerokość 8,67 m i długość 36,78 m posiada pole powierzchni, po uwzględnieniu jego wyposażenia, równe 188,5 m². Przedział ten zalewano do założonych wcześniej wysokości wody H .

Wyniki obliczeń wysokości metacentrycznej przed (GM) i po uwzględnieniu powierzchni swobodnej (GM') dla rozpatrywanych wysokości wody w przedziale przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń wysokości metacentrycznej zalanego przedziału [7,8,9]

H [m]	0,1	0,4	0,8	1	1,2	1,6
G_2M_2 [m]	1,071	0,916	0,716	0,629	0,530	0,353
$G'_2M'_2$ [m]	0,339	0,206	0,034	-0,041	-0,127	-0,281

Na rysunku 4. przedstawiono zależność wysokości metacentrycznej GM i GM' od wysokości wody w przedziale H .

Rys. 5. Zależność wysokości metacentrycznej GM i GM' od wysokości wody w przedziale H [7,8,9]

Z analizy otrzymanych wyników obliczeń, że wraz ze zwiększaniem poziomu wody H w przedziale zmniejsza się wartość wysokości metacentrycznej GM' . Na rysunku 6 przedstawiono przebieg zmian krzywej ramion prostujących (krzywej Reeda) w funkcji kąta przechyłu okrętu. Kąty stałego przechyłu okrętu będących skutkiem zalania rozpatrywanego przedziału okrętowego wynoszą odpowiednio: $\varphi_{s3}=12^\circ$ dla poziomu wody w przedziale $H=1,0\text{m}$ i $\varphi_{s4}=18^\circ$ dla $H=1,6\text{m}$. Wysokości metacentryczne dla tych przypadków przyjmują wartości ujemne.

Rys. 6. Wpływ wysokości wody w przedziale na krzywą Reeda

6. Wnioski

W wyniku przeprowadzenia analizy stateczności po zatopieniu wysoko położonego przedziału otrzymano następujące wnioski:

Zatopienie wysoko położonych przedziałów powoduje:

- zmniejszenie wartości wysokości metacentrycznej GM ,
- zmniejszenie wartości ramion prostujących,
- wzrost wartości kąta stałego przechyłu φ_s .

Zatopienie przedziału do wysokości wody $H=1,0\text{m}$ i wyżej powoduje utratę stateczności początkowej, a wartości ramion prostujących przyjmują wartości ujemne.

Przy mniejszych wysokościach wody w przedziałach okręt zachowuje stateczność początkową dodatnią.

7. Literatura

- [1] Kabaciński J.: Stateczność i niezatapialność statku, Gdańsk 1995.
- [2] Derett D. R.: Ship stability for Masters and Mates, BH. Oxford, UK, 2003.
- [3] Dudziak J.: Teoria okrętu, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 2006.
- [4] Jakus B., Korczewski Z., Mironiuk W., Szyszka J., Wróbel R.: Obrona przeciwwawaryjna okrętu, cz.1, Gdynia 2001.
- [5] Mironiuk W.: Preliminary research on stability of warship models, COPPE Brazil, Rio de Janeiro, 2006.
- [6] Mironiuk, W., Pawłędzio, A., Wróbel, R. Trenażer do walki z wodą. Przegląd Morski nr 5 Gdynia 2004.
- [7] Mironiuk W., Pawłędzio A., Wróbel R.: Analiza stateczności statycznej pontonu prostopadłościennego o wymiarach LxBxH. Zeszyty naukowe AMW. Gdynia 2004.
- [8] Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M.: Badania modelowe stateczności i niezatapialności okrętów. AMW Gdynia 2006.
- [9] Mironiuk W., Pawłędzio A.: Modelling studies of the roll and the pitch training ship. Maritime Transport & Shipping, London, UK, 2013
- [10] Staliński J.: Teoria okrętu. Wyd. Morskie, Gdynia 1958.

Kmdr dr inż. Waldemar Mironiuk - Akademia Marynarki
Wojennej Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego.

Influence of flooding boat deck compartment on the training warship...
Wpływ zatopienia pomieszczenia pokładu łodziowego na stateczność okrętu...