

Wojciech Polański
Bogdan Szturomski
Akademia Marynarki Wojennej

WYMAGANIA TECHNICZNE DO BUDOWY TRENAŻERA MORSKIEGO ZESTAWU ARTYLERYJSKO-RAKIETOWEGO ZU-23-2MR

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono podstawowe założenia funkcjonalne i techniczne posadowienia zestawu ZU-23-2MR na istniejącej ramie fundamentowej w pomieszczeniu przeznaczonym na trenażer morskiego zestawu artyleryjsko-rakietowego. Zaproponowano platformę umożliwiającą obroty podstawy zestawu we wszystkich płaszczyznach z odpowiednimi ograniczeniami, pozwalającą na symulację ruchu pokładu okrętu na fali przy zadanym stanie morza. W opracowaniu zamieszczono wyniki obliczeń stanu naprężenia i deformacji w stalowej ramie fundamentowej adaptowanej do budowy trenażera artyleryjsko-rakietowego. Geometrię zestawu ZU-23-2MR, platformę i ramę fundamentową odwzorowano w programie Autodesk Inventor, w którym również wykonano obliczenia statyczne metodą elementów skończonych (MES).

Słowa kluczowe:

trenażer zestawu artyleryjsko-rakietowego, ZU-23-2MR, kal. 23 mm, MES.

WSTĘP

W Instytucie Uzbrojenia Okrętowego AMW powstała koncepcja budowy trenażera zestawu artyleryjskiego ZU-23-2MR kal. 23 mm (rys. 1.) [7]. Zestawy produkowane w Zakładach Mechanicznych Tarnów¹ są na wyposażeniu okrętów Marynarki Wojennej w różnych wersjach. ZU-23-2MR montowano na jednostkach transportowo-minowych projektu 767 LUBLIN (dwadzieścia zestawów), trałowcach bazowych zmodernizowanych do niszczyteli min projektu 206 FM (trzy zestawy),

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2011 jako projekt rozwojowy NR O R00 0034 09 pod kierownictwem dr. hab. inż. Jana W. Kobierskiego.

trałowcach bazowych projektu 207 M MAMRY (trzy zestawy) i trałowcu bazowym projektu 207 DM GOPŁO (jeden zestaw). Obecnie okręty te stopniowo są wycofywane ze służby i złomowane, powstała więc koncepcja pozyskania zestawu artyleryjsko-rakietowego, pozbawienia go właściwości bojowych i wykonania na jego bazie trenażera umożliwiającego demonstrację ruchu zestawu wraz z jej podstawą, symulującą kołysanie się pokładu okrętu na fali. Realizacja takiego zadania obarczona była wieloma problemami związanymi z ograniczoną powierzchnią i wysokością pomieszczenia trenażera w stosunku do gabarytów zestawu oraz adaptacją istniejącej ramy fundamentowej, która musi zapewniać bezpieczną pracę.



Rys. 1. Zestaw ZU-23-2MR kal. 23 mm (bez rakiet)

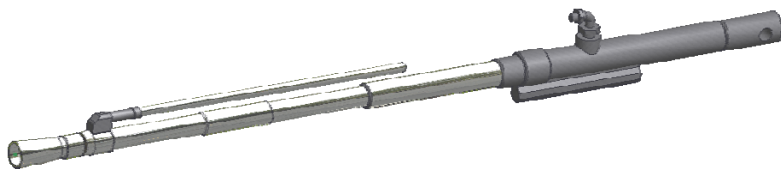
Źródło: zdjęcia wykonane przez autorów.

Do realizacji budowanego trenażera niezbędne było określenie funkcjonalności i możliwości technicznych projektu. Wykorzystano do tego celu oprogramowanie CAD AutoDesk Inventor 2010 Profesional. W pierwszym etapie pracy odwzorowano geometrię przestrzenną zestawu ZU-23-2MR, stalowej ramy fundamentowej oraz pomieszczenia przewidzianego do budowy symulatora. Następnie przeprowadzono symulacje ruchu zestawu w pomieszczeniu celem identyfikacji wszelkich kolizji elementów zestawu ze ścianami pomieszczenia i wyznaczenia sektorów bezpiecznej pracy. Następnie wykonano projekt platformy symulującej kołysanie podstawy zestawu artyleryjskiego. W ostatnim etapie przeprowadzono obliczenia stanu naprężenia i deformacji ramy fundamentowej obciążonej ciężarem zestawu i platformy symulującej kołysanie.

ODWZOROWANIE ZEWNĘTRZNEJ GEOMETRII ZESTAWU

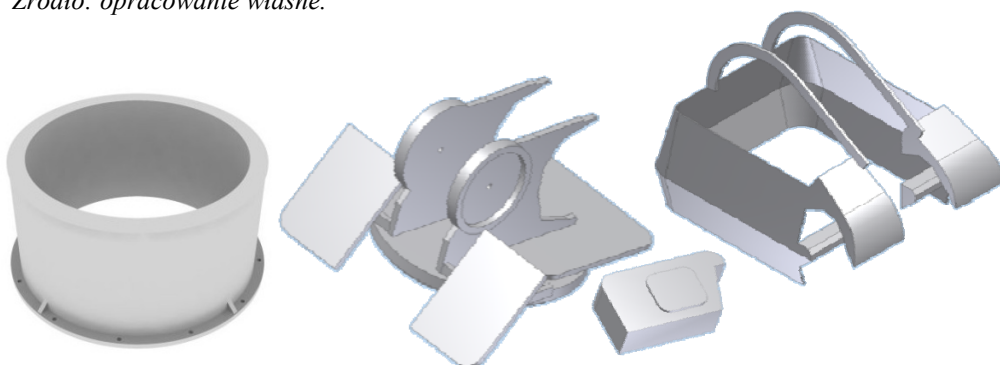
Odwzorowanie geometrii rozpoczęto od zapoznania się z dokumentacją taktyczno-techniczną zestawu [2, 3], sporządzenia szkiców pomocniczych oraz oględzin

i wykonania dokumentacji fotograficznej rzeczywistego obiektu na jednym z trałowców bazowych. Geometrię zestawu odwzorowywano w programie Inventor jako złożenie z części (rys. 2., 3. i 4.), w których pomijano nieistotne szczegóły, niemające wpływu na założone symulacje. Przykładowo nie odwzorowywano wszystkich mechanizmów napędowych i znajdujących się w kabinie operatora.



Rys. 2. Lufa zestawu artyleryjskiego ZU-23-2MR

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Geometria części składowych zestawu artyleryjskiego ZU-23-2MR

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Złożenia zestawu artyleryjskiego ZU-23-2MR

Źródło: opracowanie własne.

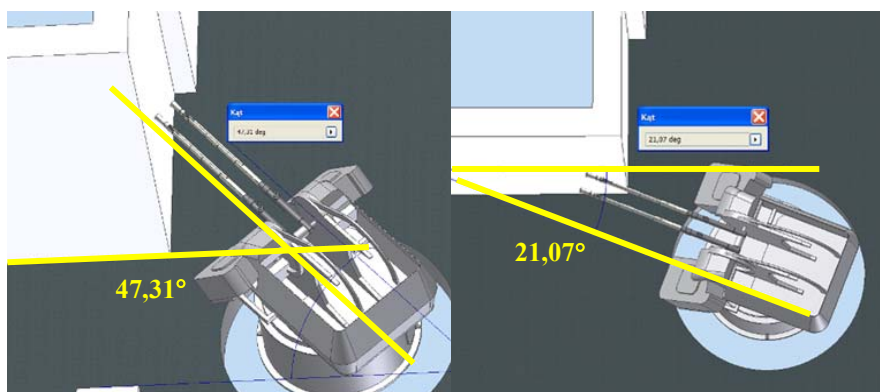
SEKTOR PRACY ZESTAWU W POMIESZCZENIU TRENAŻERA

Pomieszczenie przeznaczone na budowę trenażera ma powierzchnię ograniczoną ścianami nośnymi i działowymi oraz ograniczoną wysokość (rys. 5). Pod nim znajduje się piwnica, w której posadowiona jest stalowa rama fundamentowa. Narzuca to konieczność wyznaczenia bezpiecznego sektora pracy zestawu i wyposażenia go w odpowiednie ograniczniki ruchu. Zadanie wymagało odzwierciedlenia geometrii pomieszczenia trenażera i odpowiedniego złożenia go z geometrią zestawu (rys. 6.).



Rys. 5. Pomieszczenie przeznaczone na budowę trenażera i jego geometria

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Geometria zestawu ZU-23-2MR w pomieszczeniu symulatora

Źródło: opracowanie własne.

Przyjmując posadowienie podstawy zestawu równo z istniejącą podłogą, nie stwierdzono kolizji z sufitem, natomiast pełny obrót zestawu dookoła osi nie był możliwy ze względu na kolizję z wewnętrznym narożem ścian pomieszczenia symulatora (rys. 6.) w zakresie $21,07^\circ$ – $47,31^\circ$. Problem kolizji ze ścianą należało rozwiązać

poprzez ograniczenie pełnego obrotu zestawu w programie sterującym oraz poprzez wstawianie zabezpieczeń mechanicznych. Ograniczenia te nakładają się na rzeczywiste ograniczenia ruchu zestawu na okręcie wynikające z wykluczenia możliwości ostrzału nadbudówki, masztów i innych urządzeń zamontowanych na pokładzie. Są one różne dla danej jednostki i miejsca posadowienia zestawu.

ODWZOROWANIE GEOMETRII RAMY FUNDAMENTOWEJ

Geometrię ramy fundamentowej odzwierciedlano na podstawie sporządzonych wcześniej szkiców oraz dokumentacji fotograficznej (rys. 7.). Jest ona niezbędna do wykonania projektu platformy symulującej kołysanie się pokładu oraz przeprowadzenia obliczeń wytrzymałościowych samej ramy, jak również zaprojektowania niezbędnych zmian w jej konstrukcji w celu zmontowania wszystkich elementów trenażera. Rama fundamentowa składa się z dwóch płaskich stalowych pierścieni i sześciu pospawanych ze sobą rur. Pomiar niedostępnych grubości elementów ramy, takich jak grubość ścianki rur nośnych, wykonano atestowanymi miernikami ultradźwiękowymi firmy Metrison (rys. 8.).



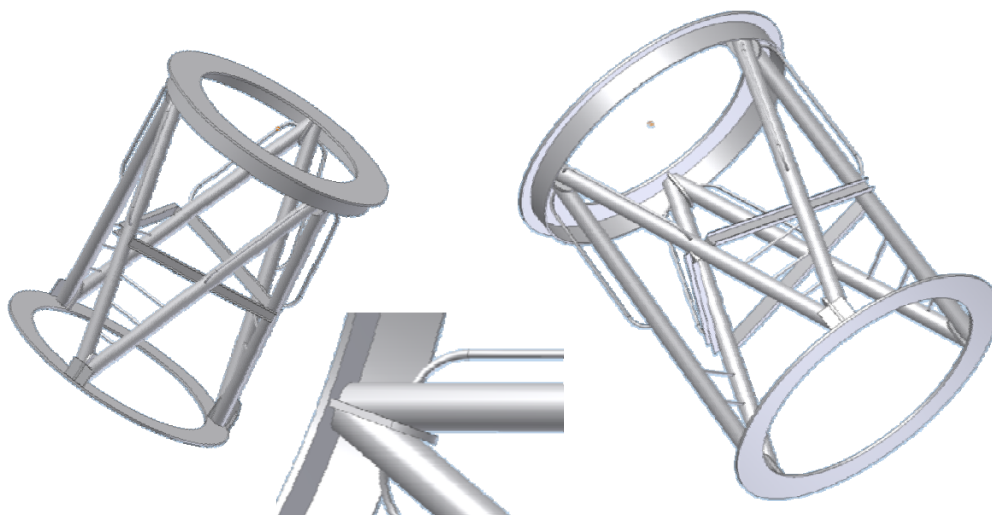
Rys. 7. Rama fundamentowa

Źródło: zdjęcia wykonane przez autorów.



Rys. 8. Pomiary grubości elementów ramy fundamentowej

Źródło: zdjęcia wykonane przez autorów.



Rys. 9. Geometria ramy fundamentowej

Źródło: opracowanie własne.

KONCEPCJA MONTAŻU ZESTAWU NA RAMIE FUNDAMENTOWEJ

Dalej przedstawiono jedną z wielu możliwości posadowienia zestawu artyleryjskiego na ramie fundamentowej za pośrednictwem platformy Stewarda, której celem jest symulacja kołysania się pokładu okrętu wraz z zestawem. Jest to konstrukcja oparta na sześciu siłownikach tworzących tak zwany „heksapod” (rys. 10.). Urządzenie takie cechuje duża stabilność (większa niż dla urządzeń dwu- i trójosiłownikowych) i możliwość ruchu we wszystkich sześciu stopniach swobody.



Rys. 10. Konstrukcja platformy Stewarda

Źródło: zdjęcia wykonane przez autorów.

Uwzględniając wymiary zestawu, ramy fundamentowej i pomieszczenia wykonano wstępny koncepcyjny projekt platformy Stewarda umożliwiający posadowienie zestawu ZU-23-2MR na istniejącej ramie fundamentowej (rys. 11. i 12.).



Rys. 11. Projekt platformy Stewarda do posadowienia zestawu ZU-23-2MR

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12. Elementy składowe trenażera zestawu ZU-23-2MR i złożenie

Źródło: opracowanie własne.

Proponowane rozwiązania platform poddawano symulacjom kinematycznym, podczas których obserwowano stabilność, płynność pracy oraz ewentualne kolizje współpracujących elementów. Platforma Stewarda wykazała się bardzo stabilną pracą układu, jednak wymaga skomplikowanego sterowania sześcioma siłownikami. Ostatecznie spośród wielu propozycji wybrano platformę, w której cały ciężar zestawu spoczywa na jednym centralnym siłowniku głównym, a ruch platformy jest

symulowany przez popychacze napędzane silnikami elektrycznymi (rys. 13). W takim rozwiązaniu falowanie morza symuluje się przez losowy dobór prędkości obrotowych silników napędzających popychacze podstawy.



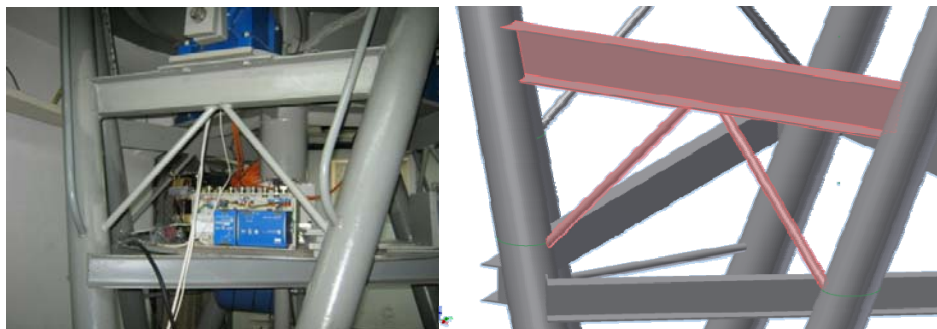
Rys. 13. Koncepcja platformy z siłownikiem głównym i silnikami elektrycznymi

Źródło: opracowanie własne.

OCENA NOŚNOŚCI RAMY FUNDAMENTOWEJ

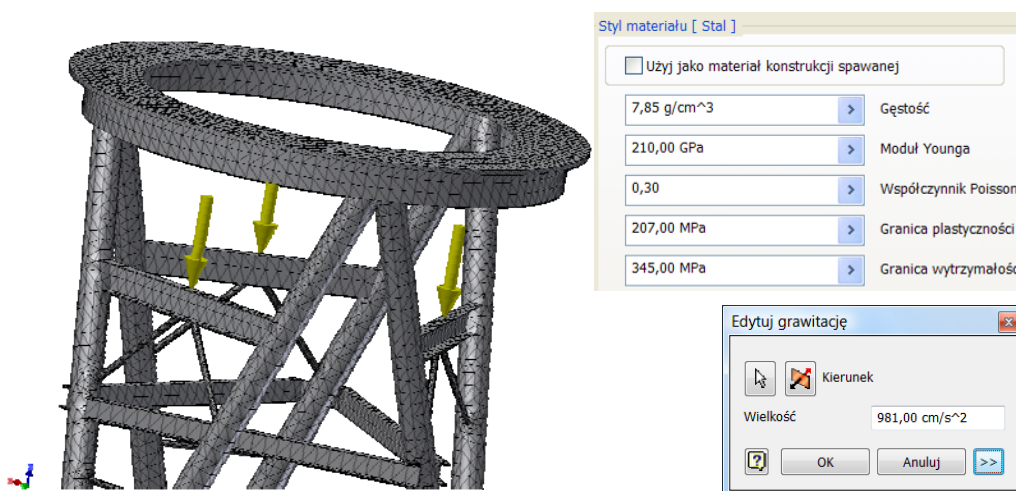
Ciężar platformy z siłownikami i zestawem artyleryjskim oraz osprzętem pomocniczym stanowi obciążenie ramy fundamentowej, w której konieczne jest wprowadzenie zmian konstrukcyjnych do montażu urządzeń. Ocena nośności ramy fundamentowej wyznaczono za pomocą programu komputerowego przeznaczonego do numerycznych symulacji wytrzymałościowych opartego na metodzie elementów skończonych (MES) Autodesk Inventor 2010 Profesional. Zmiany konstrukcyjne polegały na wspawaniu trzech podpór wykonanych z ceownika C140 x 60 x 6 pomiędzy rurami nośnymi na wysokości 1,86 m od podstawy. Ceowniki wsparto dodatkowo parą rur średnicy 25 mm.

Po odzwierciedleniu nowej geometrii ramy fundamentowej i przyjęciu własności materiałowych obciążono jej konstrukcję ciężarem własnym oraz trzema siłami skupionymi odzwierciedlającymi ciężar zestawu wraz z platformą sterującą i siłownikami, co wyniosło około 25 kN. Do obliczeń przyjęto 30 kN. Ramę dyskretyzowano 53682 elementami tetragonalnymi czterowęzłowymi (rys. 15.). Dla tak zadanego obciążenia statycznego naprężenia zredukowane Hubera wynoszą zaledwie 14 MPa i występują w ceownikach, przemieszczenia maksymalne wynoszą 0,16 mm.



Rys. 14. Podpory z ceownika C140 x 60 x 6 spawane w ramę fundamentową

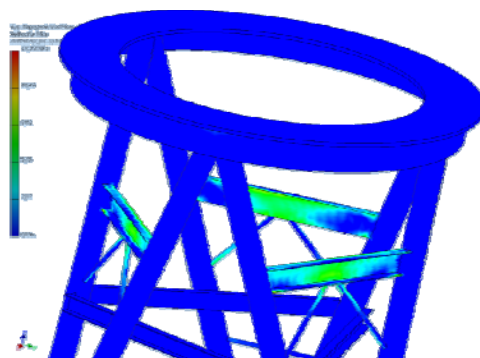
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 15. Dyskretyzacja i obciążenie ramy fundamentowej

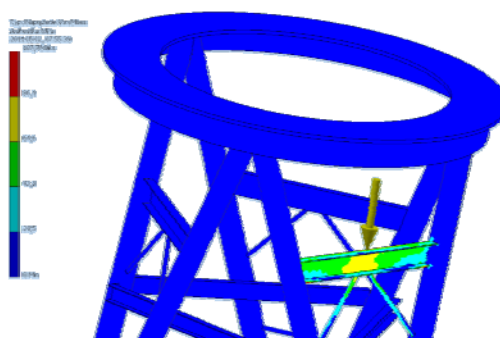
Źródło: opracowanie własne.

W trakcie pracy symulatora zestaw artyleryjski wykonuje ruchy obrotowe wokół wszystkich trzech osi. Prędkości kątowe nie są na tyle znaczące, aby uwzględniać w obliczeniach siły bezwładności od ruchu obrotowego, natomiast chwilowo cały ciężar zestawu i platformy sterującej może spoczywać na jednym ceowniku. W takim przypadku maksymalne naprężenia zredukowane Hubera wynoszą 107,7 MPa, co jest dalekie od granicy plastyczności. Przemieszczenia w ceowniku nieznacznie przekraczają wartość 1 mm. Podsumowując, konstrukcja ramy jest w stanie przenieść zadane obciążenie z najmniejszym współczynnikiem bezpieczeństwa wynoszącym 2,5.



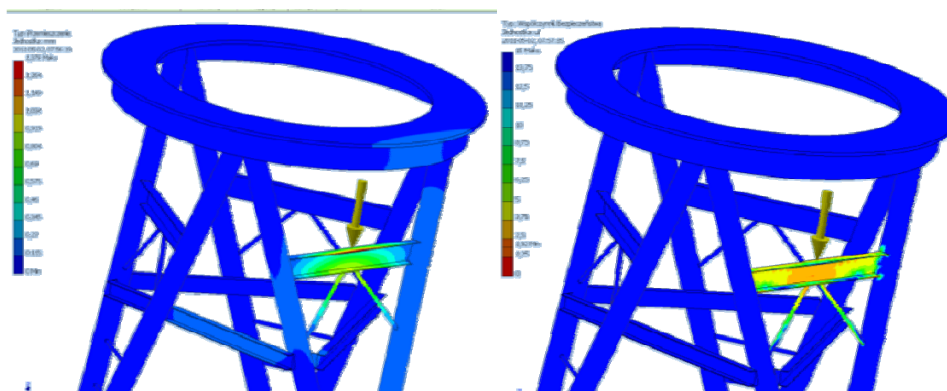
Rys. 16. Stan naprężeń zredukowanych Hubera w ramie fundamentowej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 17. Maksymalne naprężenia zredukowane Hubera w ramie fundamentowej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 18. Stan przemieszczenia i współczynnika bezpieczeństwa w ramie

Źródło: opracowanie własne.

WNIOSKI

Założenia techniczne do budowy trenażera zostały poprawnie sformułowane. Zmiany konstrukcyjne w ramie fundamentowej wykonano zgodnie z intuicją inżynierską. Ramę fundamentową przekonstruowano tak, że zapewnia ona prawidłową nośność ze współczynnikiem bezpieczeństwa wynoszącym 2,5. Naprężenia zredukowane Hubera w ekstremalnych warunkach obciążeń wynoszą 107 MPa i są dalekie od wartości granicznych.

Na podstawie przyjętych założeń technicznych, przy współpracy z Zakładem Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX w Gdańsku, budowa trenażera morskiego przeciwlotniczego zestawu artyleryjsko-rakietowego TR ZU-23-2MR została zrealizowana. Trener umieszczony jest w budynku należącym do Instytutu Uzbrojenia Okrętowego na Wydziale Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej. Pozytywnie przeszedł próby i testy.



Rys. 19. Trener morskiego zestawu artyleryjsko-rakietowego ZU-23-2MR

Źródło: zdjęcie wykonane przez autorów.

BIBLIOGRAFIA

1. *Album rysunków*, MON — DMW, Marynarka Wojenna, 461/70, Gdynia 1972.
2. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z., *Wytrzymałość materiałów*, t. 1, WNT, Warszawa 2007.

3. Jaskulski A., *Autodesk Inventor 2010PL/2010*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
4. Kobierski J., Chmieliński M., *Uwarunkowania projektu trenażera morskiego przeciwlotniczego zestawu raketowo-artyleryjskiego ZU-23-2MR jako demonstratora technologii*, VI Konferencja Naukowa „Kierowanie ogniem systemów obrony powietrznej (przeciwlotniczej)”, Ustka 2010.
5. Niezgodziński T., *Wytrzymałość materiałów*, PWN, Warszawa 2004.
6. *Sprawozdanie merytoryczne z projektu rozwojowego NR O R00 0034 09 „Trenażer morskiego przeciwlotniczego zestawu raketowo-artyleryjskiego ZU-23-2MR”*, AMW, Instytut Uzbrojenia Okrętowego i Informatyki WNiUO.
7. http://pl.wikipedia.org/wiki/ZU-23-2MR_Wróbel_II.

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR DEVELOPING TRAINING SIMULATOR OF ZU-23-2MR MARINE GUN-MISSILE SET

ABSTRACT

The paper presents the basic functional and technical assumptions related to installing a ZU-23-2MR set on the existing foundation frame in the compartment designated for a simulator of a marine gun-missile set. It proposes a platform which makes it possible for a mount of the set to turn in all planes with appropriate constraints, and to simulate motion of a ship deck on a wave according to the pre-set sea state. It also includes the results of calculations concerned with stress and deformation in the steel foundation frame adapted for the purpose of building the gun-missile training simulator. Autodesk Inventor is used to represent geometry of the ZU-23-2MR set, the platform and the foundation frame, and to do statistical calculations with finite elements method (FEM).

Keywords:

training simulator of gun-missile set, ZU-23-2MR, cal. 23 mm, FEM.