

Marek SZCZOTKA

SYSTEM WSPOMAGAJĄCY "LARS" DO OBSŁUGI URZĄDZEŃ WYDOBYWCZYCH Z DNA MORSKIEGO

Wiele istotnych, rozpoznanych zasobów metali rzadkich znajduje się w miejscach styku płyt kontynentalnych. Dochodzi tam do podwodnych erupcji, w wyniku których materiały transportowane są z wnętrza ziemi i osadzają się tworząc charakterystyczne formy. Metale te, znajdujące się na dnie mórz i oceanów, mogą być dostępne przy użyciu metod i technologii opracowanych dla przemysłu wydobywania ropy naftowej i gazu. Ich potencjalne wydobycie przeważnie oznacza konieczność prac na głębokości kilku kilometrów, stwarzając jednocześnie szereg wyzwań dla znanych metod i istniejących konstrukcji. W artykule przedstawiono system wspomagający operacje opuszczania i podnoszenia przy użyciu specjalistycznego systemu LARS (Launch and Recovery System), zaprojektowanego i wykonanego dla potrzeb transportu maszyn wytwarzających urobek z osadów wulkanicznych na dnie morza. Koszty oraz rozmiary tych urządzeń są znaczne, co wymusiło przyjęcie możliwie prostej konstrukcji sprzętu dźwigowego. Od bezawaryjnej pracy całego systemu zależy m.in. rentowność przedsięwzięcia, stąd próba opracowania układu wspomagającego operatora, zastępującego bardziej zaawansowane rozwiązania. Celem tego systemu jest wskazanie możliwości podważania ładunku z dna lub posadowienia na nim urządzenia wydobywczego w taki sposób, aby nie dopuścić do niekontrolowanego kontaktu z dnem, do którego może doprowadzić ruch jednostki pływającej. Przedstawiono opis założeń systemu oraz przykładowe wyniki obliczeń.

WSTĘP

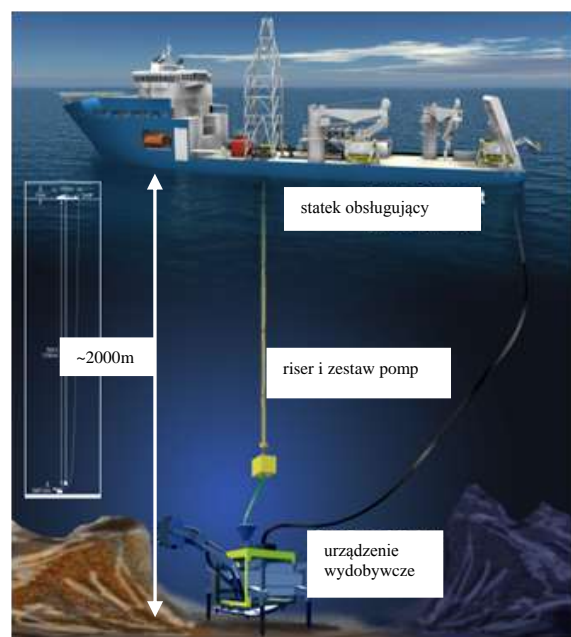
Prognozuje się rosnące zapotrzebowanie przemysłu na materiały (np. miedź) stosowane w układach elektronicznych, telekomunikacji i innych nowoczesnych gałęziach gospodarki. Wydobycie rud metali szlachetnych i rzadkich z dna mórz będzie prowadzone na skalę przemysłową, pomimo istniejących trudności. Wydobycie tych surowców w warunkach morskich będzie się jednak wiązało z pokonaniem wielu wyzwań. Do podstawowych należy z całą pewnością bezpieczeństwo załogi oraz uniknięcie (minimalizacja) dewastacji lub skażenia środowiska naturalnego (w tym dna morskiego), co generuje ogromne koszty inwestycji. Jednak postęp techniczny umożliwia skuteczny dostęp do zasobów, które jeszcze kilka czy kilkanaście lat temu uważano za niemożliwy lub nieopłacalny.



Rys. 1. Schemat jednostki pływającej z trzema systemami LARS do obsługi maszyn górniczych (schemat poglądowy)

Pierwszym przedsięwzięciem wydobywczym tego typu na przemysłową skalę jest projekt "Solwara" usytuowany na Morzu Bismarckim należącym do Papui Nowej Gwinei a jego realizacji zamierza podjąć się firma Nautilus Minerals. Uruchomienie planowane jest obecnie w perspektywie najbliższych kilku lat (jednostka pływająca jest już w fazie budowy). Głębokość akwenu w miejscu wydobycia sięga od 1600 do 2500m (w dalszej perspektywie jeszcze więcej, po rozszerzeniu obszaru). Złoże zawiera zasoby miedzi, srebra, złota i

cynku w ilości kilkukrotnie większej niż w innych znanych źródłach [1]. Zaprojektowane i wykonane (przez firmę AXTech AS z Molde, Norwegia) trzy systemy LARS (Launch and Recovery System), wchodzi w skład wyposażenia specjalistycznej jednostki obsługującej proces wydobycia, Rys. 1. Głównym zadaniem systemów LARS jest transport z pokładu na dno morskie (i z powrotem) specjalistycznych urządzeń wydobywczych (o masach własnych odpowiednio 200t, 250t oraz 320t). Urządzenia te schematycznie pokazano na Rys. 2 (przytoczono z pracy [2]).



Rys. 2. Poglądowy schemat systemu wydobycia minerałów z dna morskiego

Z powodu zużycia głowic roboczych maszyn operujących na dnie wymaga się (dla zapewnienia ciągłej pracy całej instalacji), aby były one co kilka dni serwisowane na pokładzie jednostki. Stawia to ogromne wymagania dla systemów podnoszenia LARS (spełnienie gwarantowanej trwałości), które dla zapewnienia prostej i ekonomicznej konstrukcji nie posiadają funkcjonalności układów aktywnej kompensacji ruchów jednostki (AHC, *Active Heave Compensation*), często stosowanych w podobnych rozwiązaniach (np. żurawiach off-shore). Brak tego systemu, przy falowaniu morza i ruchach jednostki pływającej, stanowi groźbę poważnego uszkodzenia maszyn podczas końcowej fazy opuszczania urządzeń na dno, a także w pierwszej fazie ich podnoszenia z dna (groźba uderzenia o dno przy ruchu jednostki).

Niniejsza praca przedstawia propozycję systemu wspomagającego operatora systemu LARS, którym jest oprogramowanie komputerowe umożliwiające poprawę bezpieczeństwa operacji. Zostanie ono wbudowane w interfejsy HMI wszystkich trzech systemów, sterując sygnalizacją świetlną/dźwiękową umożliwiającą operatorowi wybór najlepszych warunków do rozpoczęcia danej fazy operacji posadowienia lub podjęcia ładunku z dna.

Warto wspomnieć, iż zastosowanie tego systemu znacznie redukuje ryzyko uderzenia maszyny wydobywczej o dno (kosztowne naprawy i przerwy eksploatacyjne) jak również decydująco wpływa na trwałość lin nośnych (istotne koszty ewentualnej wymiany) oraz całego systemu LARS. Uzyskano to bez kosztownego i energochłonnego systemu AHC, zapewniającego kontrolowany ruch ładunku pomimo ruchów jednostki pływającej.

1. MODEL UKŁADU

1.1. Założenia

Uproszczenia modelu obliczeniowego wprowadzono celem umożliwienia implementacji na komputerach przemysłowych stosowanych w układach sterowania, zatem zostały w nim uwzględnione tylko główne, najbardziej charakterystyczne cechy. Uproszczenia są również podyktowane czasem symulacji (odpowieź układu - wysłanie sygnału do operatora - powinna być bezwzględna).

Do najważniejszych założeń przyjętych w modelu i jego implementacji komputerowej należą:

- Rozpatruje się tylko pionowe ruchy ładunku (poprzeczne ruchy i siły nie są uwzględniane),
- Kontakt maszyny wydobywczej z dnem morskim jest traktowany jako liniowy i może być zredukowany do pojedynczego punktu,
- Sztywność i tłumienie układu redukuje się to zastępczych, liniowych współczynników opisujących główne cechy układu,

d) Oddziaływanie wody na ładunek (skomplikowana geometria) jest uproszczone – przyjmuje się szacunkowe wartości współczynników oporu hydrodynamicznego oraz masy dodanej.

Bazując na powyższych założeniach przyjęto model o jednym stopniu swobody, który określa pionowe ruchy ładunku. Zakłada się przy tym, iż przemieszczenia ładunku (zakres pracy wciągarki) w trakcie analizy nie są większe niż kilka lub kilkanaście metrów ponad dno morza. Jednakże uwzględnia się przestrzenne ruchy jednostki pływającej, które określają składowe wektora:

$$\mathbf{q}_s = [x \ y \ z \ \psi \ \theta \ \varphi]^T \quad (1)$$

Zakłada się, że we wstępnym etapie składowe w (1) będą określone za pomocą funkcji harmoniczných:

$$(\mathbf{q}_s)_{j=1,\dots,6} = A_j \cos(\omega_e t + \varepsilon_j) \quad (2)$$

gdzie:

$A_j = A_j(H, \omega_e, \gamma)$ – amplituda kołysania statku

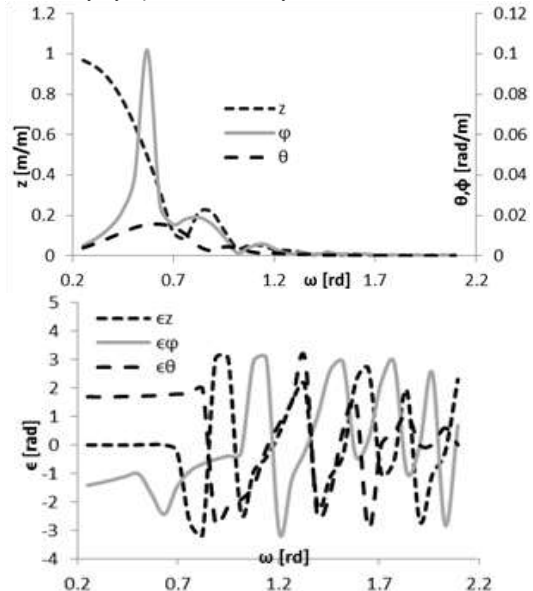
$\varepsilon_j = \varepsilon_j(H, \omega_e, \gamma)$ – kąt fazowy,

H – wysokość fali,

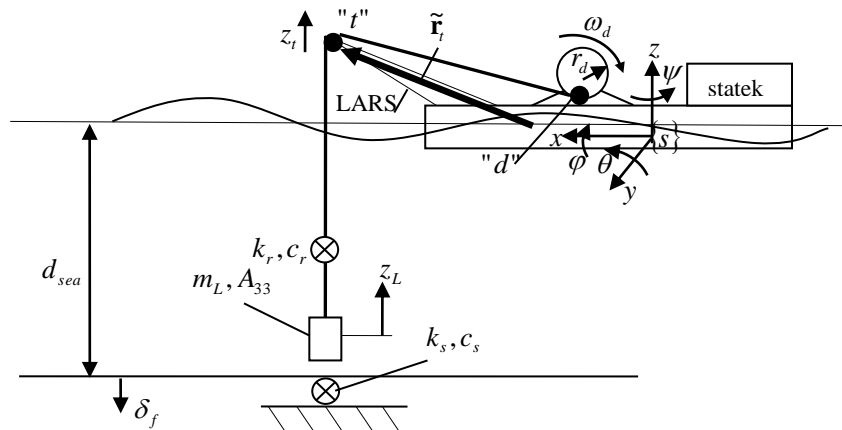
ω_e – częstość wymuszenia fali,

γ – kąt natarcia fali.

Wartości A_j oraz ε_j w (2) są wyznaczane na podstawie rodziny charakterystyk amplitudowo-fazowych jednostki pływającej [3]. Przykład charakterystyk przedstawia Rys. 3.



Rys. 3. Charakterystyka amplitudowo-fazowa statku dla $\gamma = 50^\circ$



Rys. 4. Schemat modelu obliczeniowego

A_j oraz ε_j są więc określone jako:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix} (H, \omega_e, \gamma) = \begin{bmatrix} \mathbf{RAO}_A \\ \mathbf{RAO}_\varepsilon \end{bmatrix} (H, \omega_e, \gamma) \quad (3)$$

gdzie:

$\mathbf{RAO}_A(H, \omega_e, \gamma)$ – wektor amplitud odpowiedzi jednostki,

$\mathbf{RAO}_\varepsilon(H, \omega_e, \gamma)$ – wektor przesunięć fazowych odpowiedzi jednostki.

Wartości \mathbf{RAO}_A oraz \mathbf{RAO}_ε przyjmowano za wytycznymi projektantów jednostki pływającej.

1.2. Opis ruchu ładunku

W najprostszej, efektywnej numerycznie wersji modelu, równanie ruchu masy zawieszony na sprężystej linie przyjmuje postać:

$$(m_L + A_{33})\ddot{z}_L + c\dot{z}_L + k_r\Delta L + c_r\dot{\Delta L} = F_L(t) \quad (4)$$

gdzie:

m_L - masa obiektu

A_{33} - masa wody towarzyszącej

c - współczynnik tłumienia obiektu

ΔL - odkształcenie liny nośnej,

k_r, c_r – współczynniki sztywności i tłumienia liny nośnej

$F_L(t)$ – suma sił oddziałujących na ładunek (ciężkości, hydrodynamiczne, reakcje od podłoża).

Celem wyznaczenia odkształcenia ΔL , można wygenerować macierz przekształcenia jednorodnego [4] $\mathbf{B}_s(\mathbf{q}_s, t)$, określoną przez znane ruchy statku, przy czym na mocy przyjętych uproszczeń macierz ta redukuje się (potrzebne jest określenie tylko ruchu pionowego) do postaci:

$$\mathbf{B}_s = \begin{bmatrix} -s\theta & c\theta s\varphi & c\theta c\varphi & z \end{bmatrix} \quad (5)$$

gdzie: $c\chi = \cos(\chi), s\chi = \sin(\chi), \chi \in \{\theta, \varphi\}$.

Odkształcenie liny można zapisać jako (podobnie wyznacza się prędkość jej odkształcenia):

$$\Delta L = L_0 - [z_t(t) - z_L] - \omega_d(t) \cdot r_d \quad (6)$$

gdzie:

L_0 - początkowa długość liny (pomija się odcinek „t-d” jako nieznaczący w porównaniu do głębokości akwenu),

$z_t(t) = \mathbf{B}_s(t, \mathbf{q}_s) \cdot \hat{\mathbf{r}}_t$ - pionowa współrzędna punktu „t” zejścia liny,

$\hat{\mathbf{r}}_t = [x_t \ y_t \ z_t \ 1]^T$ - położenie punktu „t” zejścia liny w układzie $\{s\}$ jednostki, Rys.4.,

$\omega_d(t)$ - prędkość kątowna bębna wciągarki (określona dalej),

r_d - promień bębna wciągarki.

Równanie (4) całkowano metodą Rungego-Kutty IV-go rzędu ze stałym krokiem całkowania.

1.3. Model odpowiedzi wciągarki

Określenie dokładnej odpowiedzi wciągarki na zadany przez operatora sygnał jest zadaniem złożonym. W modelu przyjęto, że prędkość obrotowa bębna, po otrzymaniu sygnału od operatora przybliżana pewną znaną funkcją (Rys. 5.):

$$\omega_d = f(t) \quad (7)$$

przy czym wartość przejściowa prędkości kątownej bębna jest interpolowana funkcją sklejaną.

Podstawowymi parametrami określającymi założony przebieg (7) są:

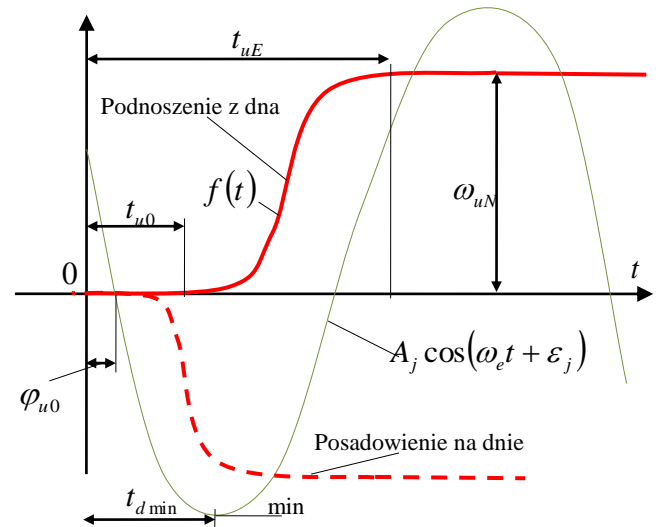
t_{u0} - czas upływający od momentu zadania sygnału przez operatora do pojawienia się przyspieszenia bębna,

t_{uE} - czas uzyskania zadanej prędkości kątownej bębna,

ω_{uE} - prędkość bębna (zadana),

φ_{u0} - przesunięcie fazowe pomiędzy wymuszeniem jednostki oraz momentem uruchomienia wciągarki przez operatora.

Funkcja obrotu bębna wciągarki przy posadowieniu obiektu na dnie również została założona podobnie jak na Rys. 5.



Rys. 5. Funkcja obrotu bębna wciągarki

Dodatkowo wprowadza się założenie, że operator rozpoczyna posadowienie jeśli ładunek znajduje się w bezpiecznej odległości od dna (przyjmowano dystans równy podwójnej amplitudzie przemieszczeń pionowych punktu zejścia liny), a włączenie wciągarki następuje t_{dmin} sekund przed osiągnięciem maksymalnego zanurzenia jednostki w cyklu falowania.

W przykładowych obliczeniach przedstawionych dalej przyjmowano parametry jak określone w Tab.1.

Tab. 1. Parametry ruchu wciągarki

Parametr	Opis	Wartość	Uwagi
ω_{uE}, ω_{dE}	Zadana prędkość bębna	16 1/min, -16 1/min	Wartość nominalna
t_{uE}, t_{dE}	Czas rozpedzania	1s	Max. ciśnienie
t_{u0}, t_{d0}	Czas zwłoki rozruchu	0sec	-
φ_{u0}	Przesunięcie fazowe	0deg	Założenie
t_{dmin}	Moment uruchomienia fazy posadowienia (wyrzuczenie względem chwili wystąpienia największego zanurzenia statku)	1/8 okresu fali	
r_d	Promień bębna	1.25m	

2. SCHEMAT DZIAŁANIA SYSTEMU

2.1. Klasyfikacja warunków dopuszczalnych

Celem systemu jest określenie warunków, przy których dany system (LARS) może zostać uruchomiony bez prawdopodobieństwa (szacunkowego) uderzenia ładunku o dno. Uderzenie takie może powstać, jeżeli ruch statku będzie na tyle duży, że długość liny nawinięta na bęben będzie niewystarczająca do uniknięcia kontaktu ładunku z dnem podczas kolejnego cyklu zanurzenia jednostki. Może to mieć miejsce, jeśli początek procesu podrywania lub opuszczania jest wybrany źle, lub dostępna prędkość podnoszenia jest zbyt mała (przy aktualnych warunkach morskich).

Posadowienie ładunku na dnie morza

Przyjmuje się:

- $i_{td} = 0$ – licznik (zerowany na początku obliczeń, dla $t = 0$),
- $N_{sb} = g \cdot m_L \cdot \mu$ – minimalna reakcja podłoża (μ – parametr przyjmowany dowolnie, w niniejszej pracy $\mu = 0.2$),
- $N_{sb}^{(p)} = \alpha \cdot m_L \cdot g$ – wartość dopuszczalna siły kontaktu między podłożem (przerwanie obliczeń, przyjmowano $\alpha = 4$)

– F_{sb} – siła reakcji dna ($F_{sb} > 0$ jeżeli ładunek jest w kontakcie).
W każdym kroku obliczeń t :

$$i_{td} = \begin{cases} i_{td} + 1 & \text{jeżeli } F_{sb}(t) > N_{sb} \\ 0 & \text{gdy } F_{sb}(t) = 0 \text{ i } i_{td} > n_{td} \end{cases} \quad (8)$$

gdzie: n_{td} – współczynnik, przyjmowano $n_{td} = 2$.

Przypadek jest klasyfikowany jako nieakceptowalny, jeżeli spełnione jest (dla dowolnej chwili czasowej t symulacji) jedno z poniższych warunków:

$$\begin{aligned} & i_{td} > 5 \text{ oraz } F_{sb} = 0 \\ & i_{td} > n_{td} \text{ oraz } F_{sb} > N_{sb}^{(p)} \end{aligned} \quad (9)$$

Pierwszy warunek przerywa obliczenia gdyż doszło do ponownego oderwania się ładunku od dna. Drugi warunek wyklucza powstawanie zbyt dużych sił które mogą doprowadzić do zniszczenia urządzenia wydobywczego (n_{td} przyjęto jako równą 3 dla dopuszczenia kilku dużych wartości traktowanych jako akceptowalne).

Podrywanie ładunku z dna

Akceptacja dla przypadku podnoszenia może być wyznaczona podobnie jak wyżej. Dla $t = 0$ określone są:

- $i_{lo} = 0$ – zerowanie licznika sterującego,
- N_{sb} – graniczna reakcja podłoża (jak poprzednio),
- $y_L|_{t=0} \leq d_{sea}$

Podnoszenie obiektu z dna morza jest traktowane jako niebezpieczne, gdy:

$$i_{lo} > n_{lo} \quad (10)$$

gdzie: n_{lo} - liczba kolejnych wartości granicznych reakcji zaliczanych jako niedopuszczalny kontakt (przyjęto $n_{lo} = 3$), przy czym i_{lo} dobierane jest w każdym kroku analizy dla $t > 0$, jeżeli dla $y_L|_{t-\Delta t} >$

d_{sea} oraz $F_{sb}(t - \Delta t) = 0$ wystąpi $F_{sb}(t) > N_{sb}$, wówczas $i_{lo} = i_{lo} + 1$, w przeciwnym wypadku przyjmuje się $i_{lo} = 0$.

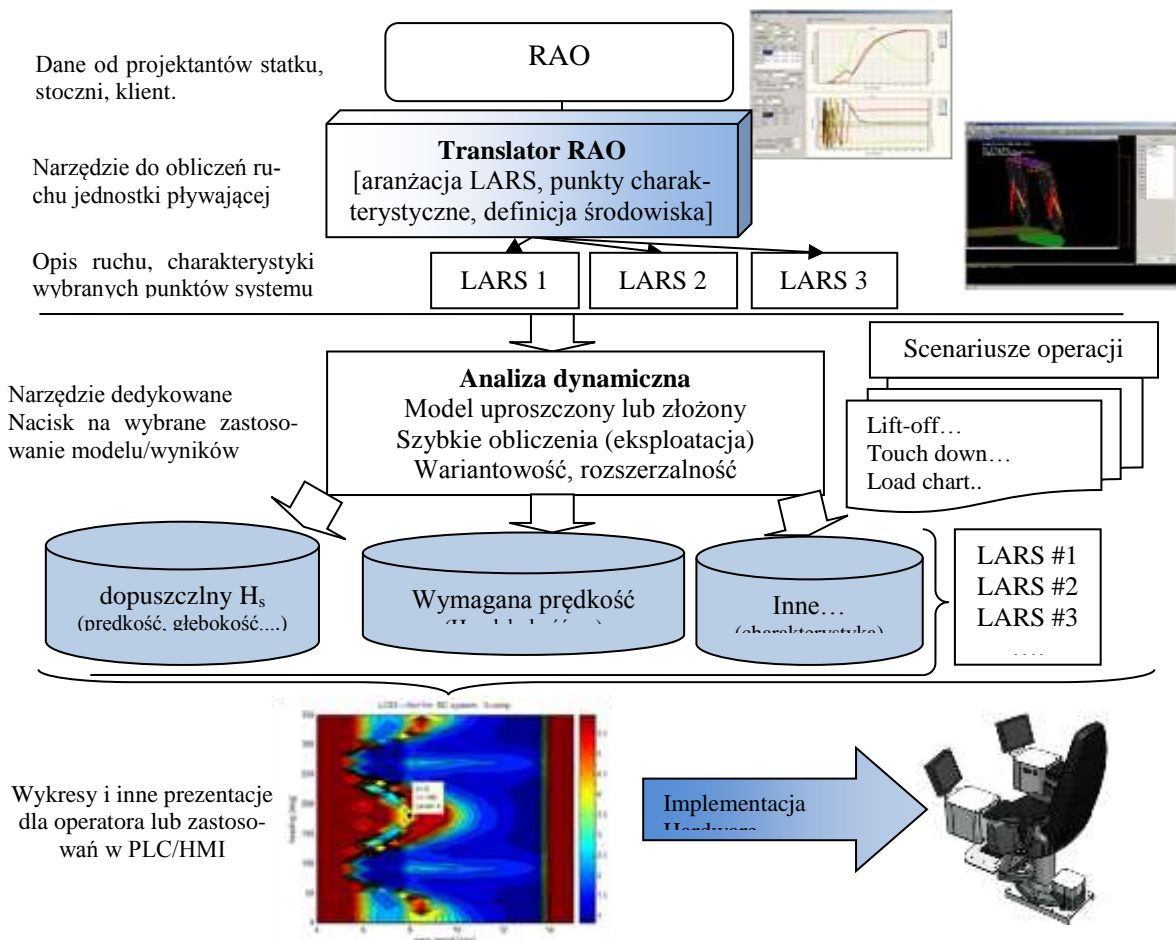
Warunek (10) zatrzymuje symulację przy n_{lo} następujących po sobie wartościach dodatnich reakcji dna, co oznacza ponowny kontakt obiektu z dnem morskim i generowaniu siły przewyższającej przyjętą wartość graniczną.

2.2. Schemat systemu

Główne etapy obliczeń przedstawiono na Rys. 6.

1. Przetwarzanie RAO dla żądanego stanu obciążenia jednostki.
2. Generowanie charakterystycznych wielkości związanych z ruchem statku. Obliczenia przeprowadza się dla wszystkich możliwych usytuowań statku względem fali i dla całego spektrum parametrów falowania. Wyniki zapisywane są w pamięci celem późniejszego wykorzystania.
3. Dla aktualnych warunków falowania (np. pomiary w czasie rzeczywistym) oblicza się odpowiedź układu na drodze symulacji. Wyniki obliczeń (cząstkowe) przekazywane są do modułu sterującego informacją dla operatora.
4. Następnie system automatycznie wykonuje obliczenia dla wszystkich kombinacji ustawień jednostki oraz okresów fal celem wyznaczenia obszarów dozwolonych i niebezpiecznych (groźnych dla ładunku)
5. W ostatnim kroku tworzone są mapy i inne wyniki wspomagające pracę operatora.

W skład opracowanego systemu wchodzi różne moduły, m.in. system do transformacji charakterystyk amplitudowo-fazowych dowolnej jednostki. Może on być przydatny do różnych analiz, w tym



Rys. 6. Schemat blokowy układu wspomagania operatora systemu „LARS”

przedstawianej w tej pracy dotyczącej podrywania i posadowienia ładunku na dnie morza (szybkie obliczenia testowe, wstępne).

3. WARUNKI DOPUSZCZALNE DLA PODNOSZENIA

3.1. Określenie maksymalnego stanu morza

Celem analiz jest wyznaczenie dopuszczalnej wysokości fali morza dla zaprojektowanego systemu. Rozpoczynając obliczenia przy założeniu nieznacznego falowania morza, np.:

$$H = H_{min} = 0.5m \quad (11.1)$$

zwiększono iteracyjnie H o ustaloną wartość, np. $\Delta H = 0.1m$, czyli w każdym przejściu ustalano:

$$H = H + \Delta H \quad (11.2)$$

oraz wykonywano obliczenia symulacyjne (wg schematu jak pokazano poprzednio) poszukując akceptowalnego przypadku podnoszenia, przy czym:

$$\gamma \in \Gamma \wedge \omega_d \in \Omega \quad (12)$$

gdzie:

Γ jest zbiorem możliwych/dopuszczalnych kątów natarcia fali (w obliczeniach zdefiniowano $\Gamma = \{0^\circ, 15^\circ, \dots, 360^\circ\}$),

Ω jest zbiorem możliwych częstości kołowych fali (przyjmowano $\Omega = \cdot 2\pi\{4^{-1}, 5^{-1}, \dots, 15^{-1}\}$).

Jeśli aktualna para $\{\gamma, \omega_e\}$ nie spełnia warunków akceptowalności wg klasyfikacji przedstawionej w sekcji 2.1, zostaje wykluczona ze zbiorów (12), a wynik dla pary $\{\gamma, \omega_e\}$ zapisuje się jako:

$$H_{max}(\gamma, \omega_e) = H - \Delta H \quad (13)$$

Obliczenia zostają zakończone jeżeli $\Gamma = \emptyset \wedge \Omega = \emptyset$, w przeciwnym wypadku następuje powrót do (11.2) i wykonuje się kolejne poszukiwanie granicznego $H_{max}(\gamma, \omega_e)$.

3.2. Określenie wymaganej prędkości podnoszenia

W tym przypadku, zakłada się ustaloną wysokość fali (reprezentującą stan morza i warunki), zatem $H = const$.

Przyjmując $\omega_d = \omega_{d_{min}}$ oraz przyrost prędkości $\Delta\omega$, podobnie jak w (11) definiuje się zbiory Γ i Ω określające możliwe pary $\{\gamma, \omega_e\}$. Następnie prowadzi się obliczenia całkując równanie (4) używając kryterium akceptowalności podnoszenia. Jeżeli jest ono negatywne dla pary $\{\gamma, \omega_e\}$, zwiększa się $\omega_d = \omega_d + \Delta\omega$, (aż do uzyskania przyjętej wartości $\omega_{d_{max}}$) w przeciwnym przypadku para zostaje wykluczona ze zbiorów (12). Warunkiem zakończenia obliczeń jest $\Gamma \neq \emptyset \wedge \Omega \neq \emptyset$.

4. PRZYKŁADOWE WYNIKI

4.1. Dane przyjęte w obliczeniach

Dane przyjęte do obliczeń zestawiono w Tabeli 2.

Tab. 2. Główne dane systemu do analiz podrywania ładunku

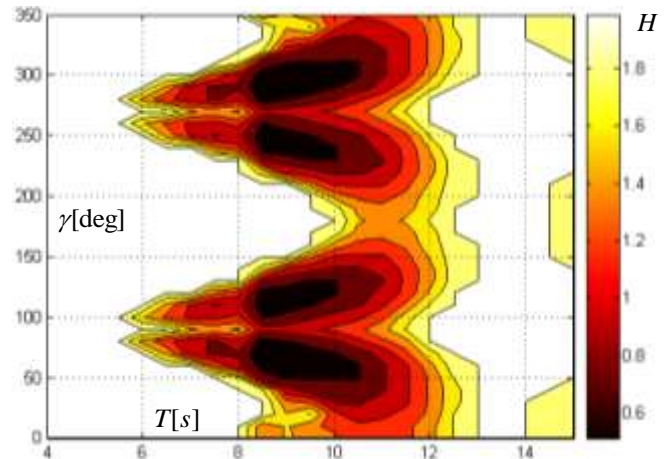
Parametr	Opis	Wartość	Uwagi
\dot{m}_L	Masa ładunku (nominalna)	320000kg	w powietrzu
m_i	- -	262000kg	w wodzie
A_{33}	Masa dodana	240000kg	
d_{sea}	Głębokość morza	2000m 2500m	
F_D	Współczynnik oporu hydrodynamicznego	1.45	
A_l	Powierzchnia obliczeniowa obiektu	62m ²	
A_r	Pole przekroju liny	8470mm ²	
E_r	Moduł Younga liny	130GPa	
F_{r0}	Wstępne napięcie liny	~10%	założenie
m_r	Masa liny	87kg/m	
k_s	Zastępczy wsp. sztywności dla materiału dna	52MN/m	
c_s	Zastępczy wsp. tłumienia dla materiału dna	0.2 x k_s	

Wartości w powyższej tabeli odnoszą się do systemu LARS 3 (na rufie) o znamionowym udźwigu SWL320t. Maksymalna głębokość, na którą można opuszczać ładunki tym systemem wynosi 2800m. Założono, iż system posiada następujące ograniczenia projektowe odnośnie prędkości podnoszenia (ładunek na dnie akwenu):

- $\omega_{d_{max}} = 16 \frac{1}{min}$ dla $d_{sea} = 2000m$, max. $H = 2.5m$,
- $\omega_{d_{max}} = 12.8 \frac{1}{min}$ dla $d_{sea} = 2500m$, max. $H = 2.0m$.

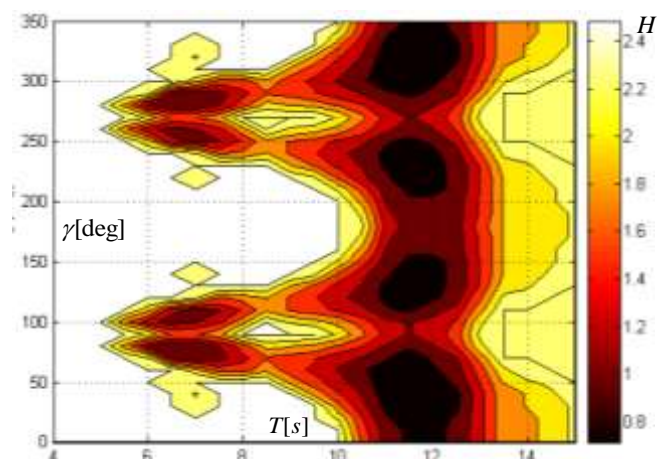
4.2. Dopuszczalna wysokość fali

Rys. 7. przedstawia wyniki obliczeń dla głębokości $d_{sea} = 2500m$. Założono, iż wartością dopuszczalną jest $H \leq 2.0m$, dlatego wykres ograniczono do tej wysokości fali.



Rys. 7. LARS1: dopuszczalna wysokość fali, $d_{sea} = 2500m$

Przy dopuszczalnej prędkości maksymalnej wciągarki, występują ograniczenia podrywania maszyny wydobywczej w zakresie okresów fal $6s < T < 13s$. Przy okresie fal $T = 11s$ najwyższa dopuszczalna wysokość falowania to $H \approx 1.4m$ dostępna jedynie przy odpowiednim ustawieniu statku (kąt natarcia musi być $\gamma = \pm 180^\circ$). Wszystkie kombinacje $\{\gamma, \omega_e = \frac{2\pi}{T}\}$ dla których widoczny jest kolor biały oznaczają pomyślnie podrywanie ładunku (bez powtórzonego uderzenia o dno) przy $H = 2m$ (lub więcej).



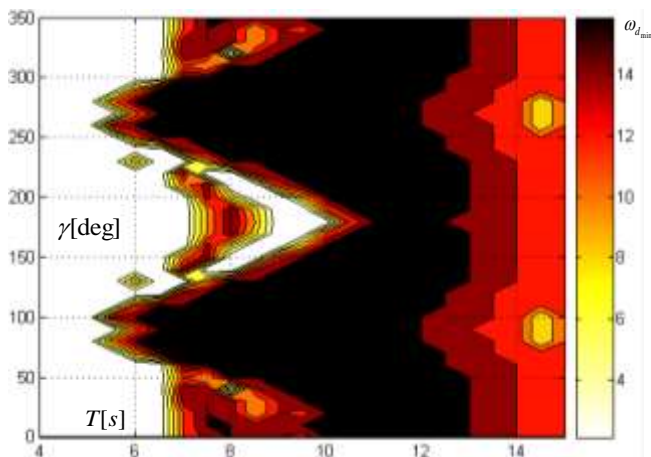
Rys. 8. LARS1: dopuszczalna wysokość fali, $d_{sea} = 2000m$

Podobny wykres wygenerowano dla głębokości 2000m (Rys. 8.). Założono przy tym $H \leq 2.5m$. Również w tym przypadku poszukiwano maksymalnej wysokości fali, przy której (w danych warunkach ustawienia statku i częstotliwości falowania) możliwe jest bezpieczne podnoszenie urządzenia z dna.

4.3. Wymagana prędkość wciągarki

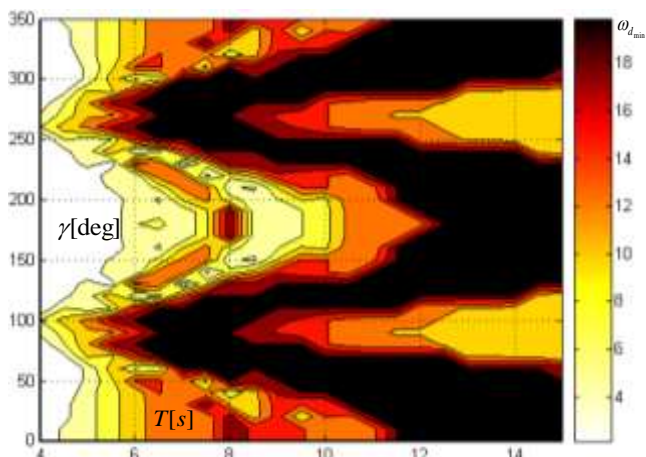
Przyjmując ograniczenia prędkości maksymalnej wciągarki jak w rozdziale 4.1, poszukiwano minimalnej prędkości wciągarki dla osiągnięcia akceptowalnego podnoszenia bez uderzenia o dno.

Rys. 9. przedstawia wymaganą prędkość wciągarki aby nie doszło do kontaktu maszyny z podłożem. Dla przyjętej wysokości fali $H = 2.0m$ oraz $\omega_{dmax} = 12.8 \frac{1}{min}$, bezpieczne podnoszenie nie jest możliwe, chyba że występują odpowiednie kombinacje okresu fal i ustawienia jednostki.



Rys. 9. LARS1: wymagana prędkość wciągarki, $d_{sea} = 2500m$

Również na Rys. 10. przedstawiono zakresy $\{\gamma, \omega_e\}$ kiedy możliwe jest bezpiecznie podnieść ładunek z dna. Z kolei obszary o czarnym kolorze (na obu rysunkach) to obszary niedozwolone dla aktualnych warunków (operator otrzyma informację o braku możliwości używania LARS w tych warunkach). Czynnikiem ograniczającym jest dostępna prędkość (moc) zainstalowanego generatora.



Rys. 10. LARS1: wymagana prędkość wciągarki, $d_{sea} = 2000m$

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono schemat systemu wspomagania operatora systemu dźwigowego. Problem opisany w pracy bazuje na rzeczywistym projekcie, w którym, ze względu na założenia, rygory finansowe i warunki eksploatacyjne, zrezygnowano z zaawansowanych systemów umożliwiających automatyczne kompensowanie ruchów statku (jak np. układy AHC). Opracowany model i wyniki uzyskane przy jego pomocy zostały zaimplementowane w układzie sterowania pracą wciągarek systemów LARS. Tym sposobem, pomimo braku urządzeń kompensujących, operator będzie miał istotną informację w jakim momencie może rozpocząć proces posadowienia lub

podjęcia kosztownych urządzeń z dna, przy danych warunkach falowania.

Pomimo mocnych założeń upraszczających w przyjętym modelu matematycznym, w którym uwzględniono jedynie pionowy ruch ładunku, pozwala on na uzyskiwanie szacunkowych wyników (wystarczających biorąc pod uwagę na ich przeznaczenie). Został on dostosowany do systemu wspomagania operatora. Specyfikacja urządzenia wymaga dokładnych analiz, a jedynie szacunkowych, przybliżonych parametrów w danych warunkach eksploatacyjnych. System znajduje również zastosowanie przy planowaniu operacji oraz doborze konfiguracji sprzętu. Ponadto, stosowanie bardziej złożonych modeli wiąże się z dalszą komplikacją i podatnością na błędy i awarie (ich usuwanie oraz testy w warunkach morskich, uwzględniając nośność urządzeń, zawsze indukuje duże koszty i przestoje). Przy większych wymaganiach dotyczących dokładniejszych wyników, należałoby użyć pełniejszego modelu obliczeniowego - w tym celu wystarczy zastąpić odpowiedni moduł w opracowanym systemie.

Istotną zaletą proponowanego systemu jest również to, że pozwala on wyeliminować (w pewnym istotnym stopniu) przeciążenia w układzie. Operator, mając informacje o braku możliwości bezpiecznego podnoszenia, znacznie łatwiej i częściej uchroni system przed przeciążeniami. Ma to zdecydowanie pozytywny wpływ na trwałość wszystkich elementów układów (przekładnie, liny, struktury nośne, łożyska, itp.). Biorąc pod uwagę wymagany okres pracy i przewidywaną częstotliwość podnoszenia maszyn, również ten aspekt stosowania omawianego systemu nie jest bez znaczenia.

BIBLIOGRAFIA

1. Nautilus Minerals Inc., NI 43-101 Technical Report 2011 PNG, Tonga Fiji, Salomon Islands, New Zealand, Vanuatu and the ISA, SRK Consulting (Australasia) Pty Ltd, 2012
2. Szczotka M., Metoda sztywnych elementów skończonych w modelowaniu nieliniowych układów w technice morskiej, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Monografie 107, Gdańsk 2011.
3. Dudziak J., Teoria okrętu, Fundacja Promocji POiGM, Gdańsk 2008.
4. Craig J., Wprowadzenie do robotyki, WNT, Warszawa 1995.

A LARS for deep subsea mining machines with indication of the safety of lifting operations

Launch and recovery system (LARS) for a deep see mining application is considered in the paper. As the exploration of rare metals is stepping into a new phase consisting deep sea locations, the technology applied on such installations will be challenged. All systems must be reliable due to operational reasons, but also the safety of crew must be taken into account. As the presented LARS is not equipped with any of advanced load positioning systems (like AHC), a custom made software and model is used in order to aid both with lifting and lowering operations. The primary goal is to avoid uncontrolled contacts between subsea mining tools and the seafloor, which can be an issue during touch-down and lift-off operations. Such accidents may occur as the result of ship movements due to waves and winch speed limitation. Description of the system as well as some example results are presented.

Author:

dr hab. inż. **Marek Szczotka**

– Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel. +48 338 279 289

– AXTech AS, Fannestrandvegen 85, PO Box 2008, 6402 Molde, Norwegia, e-mail: marek.szczotka@axtech.no