

УДК 629.12.011.001.24

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАПАСУ МІЦНОСТІ КАБЕЛЬ-ТРОСУ ГІДРОАКУСТИЧНОЇ СТАНЦІЇ, ЩО БУКСИРУЄТЬСЯ НАДВОДНИМ КОРАБЛЕМ

Соломенцев О. І.,

*доктор технічних наук, професор НУК**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**Україна, м. Миколаїв**solomen@mksat.net*

Анотація. Наведені аналітичні залежності для визначення запасу міцності кабель-тросу гідроакустичної станції, що буксирується надводним кораблем. В основі цих залежностей лежить пошук оптимального компромісу між витратами та можливими втратами.

Ключові слова: оптимальний компроміс, буксирована гідроакустична станція, міцність кабель-тросу

Вступна частина. При проектуванні гідроакустичної станції (ГАС), що буксирується за кораблем, слід виключити можливий відрив кабель-тросу від спуско-підйомного пристрою корабля у зв'язку із дією на корабель додаткових зусиль, що пов'язані із хитами. На кабель-буксир діє не випадкова сила розтягу T_0 та пов'язана із хитами випадкова сила розтягу T_h . Ординати сили T_h розподілені центровано та нормально, і відповідно амплітуди - за центрованим законом Релея із дисперсією D_{KT} , що залежить від висоти хвилі 3%-забезпеченості h_3 . Визначення цієї дисперсії розглянуте у монографії Б.А. Бугаєнка, [1]. Що ж до визначення власної сили T_h , то в роботі [1, с. 145] пропонується орієнтуватися на закон розподілу ординат та застосувати відоме «правило трьох стандартів», і тоді

$$T_h = T_h(h_3) = 3\sqrt{D_{KT}(h_3)} = 3\sigma_{KT}(h_3).$$

Тут неявно приймається, що ймовірність відриву кабель тросу і відповідно втрати ГАС і неможливості подальшого виконання бойового завдання $P_{KT} = 0,003$, а $\sigma_{KT}(h_3) = \sqrt{D_{KT}(h_3)}$. є стандарт випадкової складової сили розтягу.

Але, на думку автора, зазначену ймовірність більш правильно розраховувати на засадах оптимального компромісу між витратами та втратами, ніж призначати. При цьому більш доцільно орієнтуватися на закон розподілу саме амплітуд, а не ординат. Отримання відповідних залежностей і є темою даної доповіді.

Мета роботи. Метою роботи є отримання аналітичних залежностей, що відповідають оптимальному компромісу між витратами та можливими втратами при визначенні випадкової сили розтягу кабель-тросу при буксируванні ГАС надводним кораблем.

Основна частина. Вихідна розрахункова залежність для ймовірності P_{KT} має наступний простий вигляд:

$$P_{KT} = \frac{\tau_c}{T_B} = \frac{1}{N_{\Pi}},$$

де $N_{\Pi} = \frac{T_B}{\tau_c}$ - кількість циклів дії хвиль на кабель-трос на протязі часу буксирування T_B .

а τ_c - середній період хвилювання.

Тоді додаткова сила розтягу, що діє на кабель-трос і обумовлена хвилюванням, яка може бути перебільшена не частіше, ніж один раз протягом часу буксирування ГАС, визначиться наступним чином:

$$T_h = T_h(P_{KT}, h_3) = \sqrt{-2 \ln P_{KT} D_{KT}} = \sqrt{2 \ln \frac{T_B}{\tau_c} D_{KT}}$$

Нехай розрив кабель – тросу із одиничною ймовірністю настає за умови

$$T_{KT} = T_0 + T_h(P_{KT}, h_3) = [T_{KT}],$$

де $[T_{KT}]$ є не випадкова паспортна характеристика кабель-тросу заданого типу.

Тоді максимальна висота хвилі 3%-обеспеченности $h_3 = [h_3]$, при якій можливе використання ГАС, що буксирується протягом часу T_B , визначиться у такому вигляді:

$$T_{KT} = T_0 + K_B \sqrt{2 \ln \frac{T_B}{\pi \sqrt{\frac{10\beta_6 h_3}{g}}} D_{KT}(h_3)} = [T_{KT}], \quad h_3 = [h_3] \quad (1)$$

де $K_B > 1$ - коефіцієнт безпеки, β_6 - коефіцієнт зв'язку між величинами h_3 та τ_c ,

$\tau_c = \pi \sqrt{\frac{10\beta_6 h_3}{g}}$, $\beta_6 = 0,7-0,8, 1,0, 1,3-1,5$ для хвилювання, що розвивається, розвелось та затухає відповідно, [2].

Тут для кожного перерізу кабель-тросу величина T_{KT} буде своя. Обрив (тобто ситуація, коли $T_{KT} > [T_{KT}]$) можливий у будь-якому перерізі кабель - тросу. Тому умова (1) має бути перевірена для ряду точок по довжині - тросу.

Необхідність введення коефіцієнту безпеки, що перевищує одиницю, пов'язана із тим, що, у відповідності із визначенням розрахункової забезпеченості, випадку, коли $K_B = 1$ відповідає поодинокий обрив кабель-тросу протягом часу буксирування T_B . А для того, аби цей обрив із певною ймовірністю виключити, і введено коефіцієнт $K_B > 1$. Величина цього коефіцієнту визначається співвідношенням між витратами, що необхідні для підвищення границі міцності кабель-тросу на розрив, та втратами, що пов'язані із можливим обривом кабель-тросу та втратою ГАС разом із зривом виконання бойової задачі. Тоді знаходимо, [4]:

$$K_B = \sqrt{\frac{\ln(P_{KT}[Q_P])}{\ln P_{KT}}}, \quad (2)$$

де $[Q_P]$ - нормативна ймовірність, оптимальне значення якої визначається умовами економічної рівноваги.

Далі формується цільова функція (критерій оптимізації) як $Z([Q_P]) = Z_1([Q_P]) + Z_2([Q_P])$. Тут $Z([Q_P])$ - сумарні витрати, $Z_1([Q_P])$ - складова сумарних витрат, обумовлена необхідністю забезпечити той чи інший рівень нормативної ймовірності $[Q_P]$, це функція, що монотонно знижується із збільшенням $[Q_P]$ - бо ж чим менше ймовірність обриву кабель-тросу, тим дорожче обійдеться її забезпечення. Величина $Z_2([Q_P])$ являє собою збиток внаслідок втрати ГАС, що буксирується. Это лінійно зростаюча функція $[Q_P]$. Аналіз функції $Z([Q_P])$ дозволяє зробити висновок, що ця функція випукла, і що, відповідно, умова

$$[Q_{Popt}]: \frac{\partial Z([Q_P])}{\partial [Q_P]} \Big|_{[Q_P]=[Q_{Popt}]} = \left\{ \frac{\partial Z_1([Q_P])}{\partial [Q_P]} + \frac{\partial Z_2([Q_P])}{\partial [Q_P]} \right\} \Big|_{[Q_P]=[Q_{Popt}]} = 0$$

є не тільки необхідною, але й достатньою умовою екстремуму (мінімуму) цієї функції. Тут $[Q_{Popt}]$ є економічно оптимальне значення ймовірності $[Q_P]$, що відповідає мінімізації затрат Z , а запис « $x: f_1(x) = f_2(x)$ » означає, що величина x визначається за умови, що $f_1(x) = f_2(x)$.

Величину $Z_2([Q_P])$ (тобто збиток) можна розглядати як узятий із протилежним знаком корисний ефект, що вимірюється у грошових одиницях. $\Delta([Q_P]) = -Z_2([Q_P])$. Тоді умова економічної рівноваги для визначення ймовірності $[Q_P]$ приймає такий вигляд:

$$[Q_{Popt}]: \frac{\partial Z_1([Q_P])}{\partial [Q_P]} = \frac{\partial \Delta([Q_P])}{\partial [Q_P]}.$$

Далі приймемо, що вартість кабель-троса та його міцність на розрив пов'язані приблизним співвідношенням наступного вигляду:

$$Z_1 = Z_1^{(0)} \left(\frac{[T_{KT}^*] - T_0}{[T_{KT}] - T_0} \right)^{n_{KT}},$$

де $Z_1^{(0)}$ - вартість кабель - троса, паспортне розривне зусилля якого є $[T_{KT}]$;

Z_1 - вартість кабель - троса, паспортне розривне зусилля якого є $[T_{KT}^*]$;

n_{KT} - показник ступеня, що визначається згідно із статистичними даними.

Тоді, після ряду перетворень, які аналогічні наведеним у роботі [3], знаходимо оптимальну нормативну ймовірність $[Q_P] = [Q_{Popt}]$ чисельними методами (одним з методів послідовних наближень) із наступного співвідношення;

$$\frac{\partial Z_1([Q_P])}{\partial [Q_P]}_{[Q_P]=[Q_{Popt}]} = -Z_1^{(0)} \ln \left(\frac{\ln P_{KT}[Q_P]}{\ln P_{KT}} \right)^{\frac{n_{KT}}{2}-1} \frac{1}{[Q_P] \ln P_{KT}} - (\Delta + \Delta\Delta) = 0,$$

де $-\Delta$ - прямі збитки, що відповідають вартості втраченої внаслідок обриву кабель-тросу ГАС (у грошовій формі);

$-\Delta\Delta$ - непрямі збитки, що пов'язані із зривом виконання бойового завдання (теж у грошовій формі).

Далі згідно із співвідношенням (2) може бути визначений оптимальний коефіцієнт безпеки, для усіх $[Q_P] < 1$ буде $K_B > 1$.

Розглянемо частковий випадок, коли згідно із статистичними даними припустимо прийняти, що $n_{KT} \approx 2$. В цьому випадку можна отримати аналітичну залежність для коефіцієнту безпеки у замкненій формі, по аналогії з роботою [3]:

$$K_B = K_{Bopt} = \sqrt{\frac{\ln \left(-\frac{Z_1^{(0)} P_{KT}}{(\Delta + \Delta\Delta) \ln P_{KT}} \right)}{\ln P_{KT}}}.$$

З цих формул випливає, що оптимальна нормативна ймовірність буде тим менше, а оптимальний коефіцієнт безпеки буде тим більше перевищувати одиницю, чим дешевше обійдеться перехід до більш міцного кабель-тросу і чим більше матеріальна шкода від втрати ГАС внаслідок обриву кабель-троса.

Висновок. Замість раніш відомого підходу до нормування міцності кабель-тросу, що був заснований на «правилі трьох сігм», у доповіді запропоновано більш досконалий підхід, заснований на умовах економічної рівноваги.

Література

1. Бугаенко, Б.А. Динамика судовых спускоподъёмных операций [Текст] / Б.А. Бугаенко. - К.: «Наукова думка», 2004.-320 с.
2. Липис, В.Б. Расчёт дополнительного сопротивления движению судна на нерегулярном волнении. Труды ЦНИИ морского флота. - Л.: Транспорт, 1977. - Вып. 221-с. 43-61
3. Бойцов, Г.В. Проблемы оптимизации судового корпуса . Судостроение, 1983.- № 2.- с. 7-13

Determination of the tow cable for the towed array sonar strength standard

Solomentsev O. I.

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Ukraine, Nikolayev

Abstract. Was learned the determining the optimal strength standard of the tow cable for the towed array sonar. Also was taken into account equivalence between two characteristics. This characteristics are: tow cable cost, from one hand, and cost of the lost sonar and of the failed underwater detection, from the other hand.

Key words: optimal compromise, towed array sonar, strength of the tow cable.

УДК 629.12.011.001.24

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОРМИ НОСОВИХ ОБВОДІВ НАДВОДНОГО КОРАБЛЯ НА ЗАРИВАННЯ В УМОВАХ ЗУСТРІЧНОГО ХВИЛЮВАННЯ

Соломенцев О. І.,

доктор технічних наук, професор НУК

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, м.Миколаїв

solomen@mksat.net

Аннотація. Виконано аналіз форми обводів носових шпангоутів на зариваання корабля в умовах зустрічного хвилювання. Беруться до уваги співвідношення між кількостями води, що потрапили на корабель та відкинуті від корабля, а також швидкість переміщення води уздовж палуби.

Ключові слова: багатоцільові кораблі, форма шпангоутів; заривання

Вступна частина. Форма носових шпангоутів корабля визначається, як правило, мінімізацією ступеня залиття корабля. Поняття ж залиття включає в себе дві основних частини: це заривання, яке являє собою занурення носової кінцівки корабля під струмені води, які не розпалися, та це забризкування, яке являє собою дію на корабельні конструкції зруйнованих водяних струменів (бризок). В роботі [1] було зроблено висновок про те, що загалом еволюцію обводів носових шпангоутів есмінців, фрегатів та корветів на протязі ХХ ст. можна виразити співвідношенням « $U \rightarrow Y \rightarrow V$ »- від U- образних обводів до Y- образних і від них до суто V- образних. Припустимо далі, що критерій формування бризок не виконується, тож ми маємо справу із незруйнованим струменем води, що обтікає контур шпангоута. З огляду на дані роботи [1], Y-образні обводи можна відкинути, зосередившись на U- образних та V- образних обводах. Для того, щоб зробити остаточний вибір, слід проаналізувати відомі експериментальні дані. Але це виявляється пов'язаним із певними складнощами.

Так, у роботі [2], с. 32 проаналізовані відомі на середину 1980-х р.р. експериментальні дані, що стосуються впливу ступеня розвалу бортів в носу (тобто. U-V обводів носових шпангоутів) на інтенсивність заривання. Однак з 11 розглянутих робіт в шести випадках