

DOI 10.15589/jnn20150201
УДК 629.5.017
С60

ON TWO METHODS OF DETERMINING
THE FORCED SPEED REDUCTION DUE TO THE DECK WETNESS
О ДВУХ МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННОГО СНИЖЕНИЯ
СКОРОСТИ СУДНА ПРИ ЕГО ЗАРЫВАНИИ

Oleh I. Solomentsev
solomen@mksat.net
ORCID: 0000-0002-5106-6486
Li Tkhan Bin
thanhbinh_ua@yahoo.com
ORCID: 0000-0003-4194-8829

О. И. Соломенцев
д-р техн. наук, проф.

Ли Тхань Бин
асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. Two methods of calculation of the forced ship speed reduction due to the deck wetness because of the longitudinal motions in head seas have been compared. According to the first method, the standard frequency of the deck wetness occurrence is viewed as constant. However, the recommendations of different authors on the selection of the parameter vary significantly within this approach. Consequently, the traditional method does not show the actual conditions of the captain's making a decision about the forced ship speed reduction.

As opposed to the traditional method, in the second method the standard frequency of the deck wetness occurrence is found as a function of the ship speed and the wave intensity. The new approach, which is based on visual impression criterion, allows us to clarify the choice of standard frequency of deck wetness occurrence. It is assumed that the visual determination, which is assessed in the experiment as a high degree of the deck wetness, corresponds to the actual conditions, in which the captain makes a decision about the forced ship speed reduction.

Keywords: deck wetness; forced ship speed reduction in seaways; frequency of the deck wetness occurrence; relative bow motions.

Аннотация. Сопоставляются два способа расчёта вынужденных потерь скорости при зарывании судна из-за продольной качки на волнении. В первом случае нормативная частота зарывания рассматривается как постоянная величина, а во втором — находится как функция скорости судна и интенсивности волнения на основании визуального определения в модельном эксперименте.

Ключевые слова: зарывание судна; вынужденное снижение скорости судна на волнении; частота зарывания; относительные перемещения судна на волнении.

Анотація. Порівнюються два способи розрахунку вимушених втрат швидкості судна під час заривання в умовах поздовжньої хитаючої на хвилюванні. У першому випадку нормативна частота заривання розглядається як постійна величина, а у другому — знаходиться як функція швидкості судна та інтенсивності хвилювання на підставі візуального визначення в модельному експерименті.

Ключові слова: заривання судна; вимушене зниження швидкості судна на хвилюванні; частота заривання; відносні переміщення судна на хвилюванні.

REFERENCES

- [1] Solomentsev O. I. Obshchie printsipy rascheta poteri skorosti katamaranov na volnenii [General principles for calculating the loss of speed of catamarans in seaways]. *Sudostroenie — Shipbuilding*, 1986, no. 10, pp. 10–13.
- [2] Solomentsev O. I. Raschet dinamicheskogo podema vody pri prodolnoy kachke odno- i dvukhkorpusnykh sudov [Calculation of the dynamic water rise at the longitudinal motions of single- and double-hull ships]. *Zbirnik naukovykh prats UDMTU* [Collection of scientific publications of Ukrainian State Maritime Technical University], 1998, no. 12, issue 360, pp. 17–28.
- [3] Solomentsev O. I. Metody rascheta vynuždennykh poter skorosti sudna na vstrechnom volnenii, svyazannye s normirovaniem sleminga i zalivaemosti [Methods of calculation of the forced speed reduction in head seas which consider slamming and deck wetness]. *Visnyk NUK* [NUS Journal. Electronic Edition], 2011, no. 4.

- [4] Solomentsev O.I., Li Than Bin. Vynuzhdennoe snizhenie skorosti sudna v rezultate chrezmernogo intensivnogo zaryvaniya [The forced reduction in the vessel speed due to excessive intensive burrowing]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 2012, no. 3–4, pp. 4–9.
- [5] Newton R. Wetness, Related to Freeboard and Flare. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, 1960, Vol. 102, issue 1, pp. 51–64.
- [6] STANAG 4154. *General Criteria and Common Procedures for Seakeeping Performance Assessment*. Brussels, North Atlantic Treaty Organization-Military Agency for Standardization, 2000.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Определение естественных и вынужденных потерь скорости проектируемого судна является важной задачей для адекватной оценки его экономических показателей. Нахождение естественных потерь скорости судна изложено в [3]. Общие зависимости для нахождения вынужденных потерь скорости приведены в [2]. В этой работе предлагается простейший алгоритм для поиска указанных потерь для случая, когда критерием снижения скорости на волнении является превышение частотой отказов (ударов при слеминге, зарываний, забрызгиваний) некоторой нормативной частоты. При этом частота зарывания (равно как и слеминга, и забрызгивания) $n_3 = n_3(\text{Fr}, h_3)$, где Fr , h_3 — число Фруда и высота волны 3 %-обеспеченности соответственно. При этом справедливы зависимости:

$$n_3(\text{Fr}, h_3) = 573 \omega_\zeta(\text{Fr}, h_3) P_3(\text{Fr}, h_3); \quad (1)$$

$$P_3(\text{Fr}, h_3) = \exp \left[-\frac{(H_f - \Delta)^2}{2 D_\zeta(\text{Fr}, h_3)} \right]; \quad \omega_\zeta(\text{Fr}, h_3) = \sqrt{\frac{D_\zeta(\text{Fr}, h_3)}{D_\zeta(\text{Fr}, h_3)}},$$

где H_f — высота надводного борта в расчётном сечении; $D_\zeta(\text{Fr}, h_3)$, $D_\zeta(\text{Fr}, h_3)$ — дисперсии относительных перемещений и скоростей относительных перемещений от продольной качки с учётом динамического подъёма [4]; $\omega_\zeta(\text{Fr}, h_3)$ — средняя частота относительных перемещений от продольной качки; Δ — статический подъём при продольной качке; $P_3(\text{Fr}, h_3)$ — вероятность зарывания.

Если частота ω_ζ измеряется в 1/с, то при использовании формулы (1) частота n_3 измеряется в 1/ч. Зависимость $\omega_\zeta = \omega_\zeta(\text{Fr}, h_3)$ получается обычно менее существенной, чем зависимости $D_\zeta(\text{Fr}, h_3)$ и $D_\zeta(\text{Fr}, h_3)$. Нормативная частота $[n_3]$ в элементарной постановке не зависит ни от скорости, ни от интенсивности волнения. Например, по стандарту НАТО [6] это 30 зарываний в час, так что $[n_3] = 30$ (1/ч). Критерий вынужденного снижения скорости в простейшей постановке имеет, таким образом, вид:

$$n_3(\text{Fr}, h_3) \geq [n_3]. \quad (2)$$

Такой подход не в полной мере отражает те практические условия, при которых реально происходит снижение скорости, поэтому в работе [2] рассмотрено применение и некоторых более сложных критериев вынужденного снижения скорости и расчёт вынужденных потерь для этого случая. В частности, для зарывания приводится допущение, что капитан судна снижает

скорость в том случае, если попавшая на судно в результате предшествующего зарывания вода не успевает слиться за борт до последующего зарывания, и дается определение коэффициента вынужденных потерь скорости для этого случая. В то же время корректный анализ течения по палубе попавшей туда при зарывании воды представляет собой достаточно сложную теоретическую проблему динамики жидкости со свободными границами, которая пока что в полной мере не решена.

В связи с этим в одной из предшествующих работ авторов [1] предлагается ещё один нетрадиционный подход к решению указанной задачи. Как и ранее, критерием снижения скорости на волнении является превышение фактической частотой зарываний n_3 некоторой нормативной величины $[n_3]$. Если в традиционной постановке величина $[n_3]$ является постоянной, то по предложениям [1] эта величина рассматривается как переменная, зависящая от интенсивности волнения и скорости. Для того чтобы установить эту зависимость, в [1] были приняты за основу данные модельных экспериментов [5], в которых фиксировалось визуальное определение степени заливания судна. Эксперименты [5], которые относятся к регулярному волнению, были обобщены на нерегулярное волнение в работе [1] на основе стандартных методических приёмов. Это позволило получить в [1] зависимости для нахождения нормативной вероятности отказа по зарыванию $[P_3]$. Если же фактическая вероятность отказа P_3 превысит нормативную вероятность отказа $[P_3]$, то степень заливания судна в соответствии с экспериментами [5] будет визуально расцениваться как чрезмерная. Тогда логично предположить, что именно в этом случае капитан судна, оценивая степень его зарывания в соответствии со своим визуальным определением как чрезмерную, снизит скорость судна. Критерий снижения скорости в этом случае по аналогии с (2) и с учётом (1) будет:

$$n_3(\text{Fr}, h_3) \geq [n_3](\text{Fr}, h_3); \quad (3)$$

$$[n_3](\text{Fr}, h_3) = 573 \omega_\zeta(\text{Fr}, h_3) [P_3](\text{Fr}, h_3). \quad (4)$$

В критерии (3), в отличие от критерия (2), от скорости и интенсивности волнения зависит не только левая, но и правая часть соотношения (3). При этом зависимость величины $[n_3]$ от скорости и интенсивности волнения связана, в первую очередь, с зависимостью от этих величин определённой по [5] нормативной вероятности $[P_3]$.

Далее от критериев вынужденного снижения скорости на волнении в формах (2) и (3) необходимо перейти непосредственно к алгоритму поиска вынужденных потерь скорости. Если для критерия (2) такая задача решена в [2], то для критерия в форме (3) соответствующее решение нам неизвестно. Представляет интерес и задача сопоставления результатов расчётов по критериям (2) и (3). Эти вопросы и являются проблемами, решаемыми в данной статье.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Общая схема определения естественных и вынужденных потерь скорости судна на волнении приведена в [3], а расчёт вынужденных потерь скорости при зарывании из-за продольной качки, не связанный с использованием визуального определения при зарывании, изложен в [2]. Эксперименты по оценке степени заливания судна в условиях продольной качки на регулярном волнении на основе визуального определения представлены в [5]. Эти результаты обобщены авторами на случай нерегулярного волнения в [1].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — разработать метод расчета вынужденного снижения скорости судна, основанного на визуальном определении степени зарывания в модельном эксперименте.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим последовательно практические результаты применения критериев вынужденного снижения скорости судна из-за зарывания в формах (2) и (3). Расчёт был проведен для грузового судна дедвейтом 6500 т со следующими характеристиками: длина между перпендикулярами составляет 95,98 м, ширина — 15,99 м, осадка — 6,90 м, коэффициент общей полноты — 0,737.

На рис. 1 сплошными линиями изображена зависимость естественных потерь скорости судна в условиях ветра и волнения вида $Fr_{h1} = Fr_{h1}(h_3)$. Ясно, что $Fr_{h1}(0) = Fr = 0,25$, где $Fr = 0,25$ — число Фруда на тихой

воде. На рис. 2 сплошными линиями показаны зависимости вида $n_3 = n_3(Fr, h_3)$, и там же пунктиром нанесена зависимость вида $[n_3] = 30$ (1/ч). Точки пересечения пунктирных и сплошных кривых позволяют получить зависимость вида $Fr'_{h2} = Fr'_{h2}(h_3)$, которая представлена на рис. 1 в виде пунктирной кривой. В точках $h_3 = h_3^*$ эти зависимости пересекаются, при $0 \leq h_3 \leq h_3^*$ имеем $Fr'_{h2}(h_3) > Fr_{h1}(h_3)$, и вынужденного снижения скорости по сравнению с достижимым на волнении уровнем $Fr_{h1}(0) = Fr_{h1}(h_3)$ не требуется. При $h_3 > h_3^*$ имеем $Fr'_{h2}(h_3) < Fr_{h1}(h_3)$, и в этом диапазоне интенсивностей волнения скорость должна быть снижена с величины, отвечающей $Fr_{h1}(h_3)$, до величины, отвечающей $Fr'_{h2}(h_3)$.

Таким образом, нижняя огибающая кривых $Fr_{h1}(h_3)$ и $Fr'_{h2}(h_3)$ даёт нам суммарные (естественные и вынужденные) потери скорости. Из рис. 1 видно, что для рассматриваемого судна, когда $[n_3] = 30$ (1/час) = const, имеем $h_3^* \approx 4,0$ м.

На рис. 3, как и рис. 2, сплошными линиями обозначены зависимости вида $n_3 = n_3(Fr, h_3)$. Здесь же пунктиром показаны определённые по формуле (4) с учётом данных работ [1, 5] зависимости вида $[n_3] = [n_3](Fr, h_3)$.

Сопоставляя зависимость рис. 3 вида $[n_3] = [n_3](Fr, h_3)$ с часто применяемой зависимостью вида $[n_3] \neq [n_3](Fr, h_3) = \text{const}$ (например, когда $[n_3] = 30$ (1/ч), [6], рис. 2), можно сделать следующий вывод. Анализ степени зарывания судна по визуальному определению в модельном эксперименте, выполненный в [5] для регулярного волнения и обобщённый авторами на случай нерегулярного волнения в [1], позволяет уточнить нормативную частоту зарывания, рассматривая её не как постоянную величину, а как функцию скорости судна и интенсивности волнения. В свою очередь, норматив вида $[n_3] = 30$ (1/ч) может быть получен путём усреднения найденной на основе визуального определения зависимости $[n_3] = [n_3](Fr, h_3)$, что видно на рис. 3. Погрешность, допускаемая при усреднении, также представлена

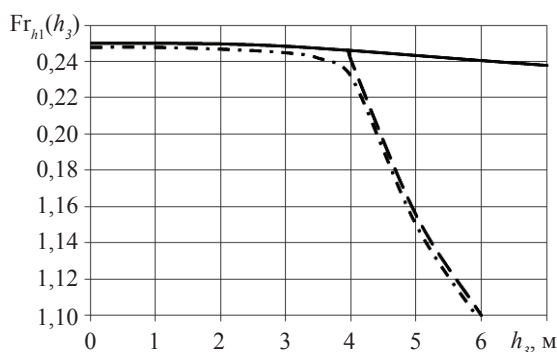


Рис. 1. Кривые потерь скорости на волнении в традиционной постановке: — — — естественные потери скорости; — — — — вынужденные потери скорости из-за зарывания в традиционной постановке (рис. 2); — • — — суммарные потери скорости на волнении (нижняя огибающая)

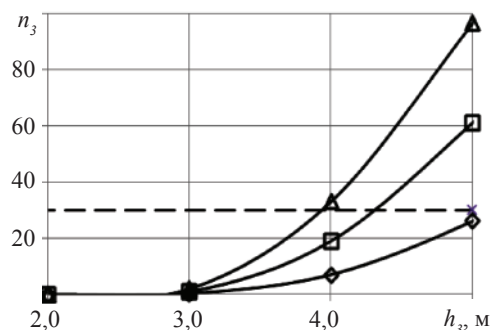


Рис. 2. К определению вынужденных потерь скорости из-за зарывания в традиционной постановке: — — — фактические частоты зарывания как функции высоты волны 3%-обеспеченности h_3 и числа Фруда Fr : о — $Fr = 0,15$; □ — $Fr = 0,20$; Δ — $Fr = 0,25$; — — — — нормативная частота зарывания, принятая постоянной

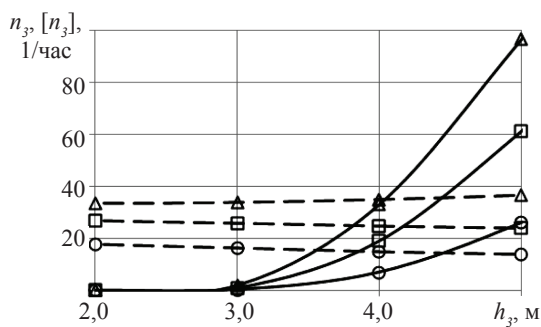


Рис. 3. К определению вынужденных потерь скорости из-за зарывания в предлагаемой постановке: — — фактические частоты зарывания как функции высоты волны 3%-обеспеченности h_3 и числа Фруда Fr : $\circ$ — $Fr=0,15$; $\square$ — $Fr=0,20$; Δ — $Fr=0,25$; - - - — нормативные частоты зарывания, которые в предлагаемой постановке определяются по (4) и являются функциями высоты волны 3%-обеспеченности h_3 и числа Фруда Fr : $\circ$ — $Fr=0,15$; $\square$ — $Fr=0,20$; Δ — $Fr=0,25$

на рис. 3. При этом норматив $[n_3]$ зависит от скорости более существенно, чем от интенсивности волнения.

Как и в предыдущем случае, точки пересечения сплошных и пунктирных кривых дают нам зависимость $Fr_{h_2}(h_3)$. Дальнейший ход расчёта не отличается от приведенного ранее. Соответствующий график изображен на рис. 4.

ВЫВОДЫ. 1. Предложен уточнённый частотный метод расчёта вынужденных потерь скорости судна, обусловленных зарыванием. При этом, в отличие от традиционного метода, нормативная частота зары-

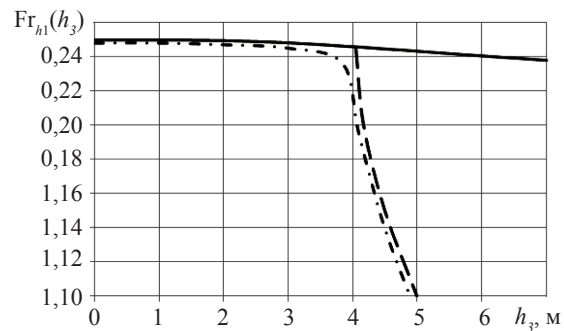


Рис. 4. Кривые потерь скорости на волнении в предлагаемой постановке: — — естественные потери скорости; - - - — вынужденные потери скорости из-за зарывания в предлагаемой постановке (рис. 3 и формула (4)); - • - — суммарные потери скорости на волнении (нижняя огибающая)

вания принимается не постоянной величиной, а функцией от скорости судна и интенсивности волнения.

2. Результаты расчётов показывают, что при использовании традиционного статистического подхода для нахождения нормативной частоты зарывания происходит не всегда обоснованное усреднение статистических данных.

3. Благодаря учету влияния скорости хода судна и интенсивности волнения на нормативную частоту зарывания предлагаемый метод позволяет более адекватно учесть сущность и физические особенности процесса зарывания судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Соломенцев, О.И. Вынужденное снижение скорости судна в результате чрезмерного интенсивного зарывания [Текст] / О.И. Соломенцев, Ли Тхань Бин // Збірник наукових праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2012. — № 3–4. — С. 4–9.
- [2] Соломенцев, О.И. Методы расчёта вынужденных потерь скорости судна на встречном волнении, связанные с нормированием слеминга и заливаемости [Электронный ресурс] / О.И. Соломенцев // Електронне видання «Вісник Національного університету кораблебудування». — Миколаїв : НУК, 2011. — № 4. — Режим доступа : <http://www.ev.nuos.edu.ua/ua/material?publicationId=16337>.
- [3] Соломенцев, О.И. Общие принципы расчёта потери скорости катамаранов на волнении [Текст] / О.И. Соломенцев // Судостроение. — 1986. — № 10. — С. 10–13.
- [4] Соломенцев, О.И. Расчёт динамического подъема воды при продольной качке одно- и двухкорпусных судов [Текст] / О.И. Соломенцев // Збірник наукових праць УДМТУ. — Миколаїв : УДМТУ, 1998. — № 12 (360). — С. 17–28.
- [5] Newton, R. Wetness, Related to Freeboard and Flare [Text] / R. Newton // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, 1960. — Vol. 102. — № 1. — P. 51–64.
- [6] STANAG 4154. General Criteria and Common Procedures for Seakeeping Performance Assessment. North Atlantic Treaty Organization-Military Agency for Standardization: Brussels, 2000.

© О.И. Соломенцев, Лі Тхань Бін

Надійшла до редколегії 03.02.2015

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов