

БОРТОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОВРЕЖДЁННОГО СУДНА В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, БЛИЗКОГО К БЕЛОМУ ШУМУ

Соломенцев О.И., Кондратьева Л.Ю.

*Национальный университет кораблестроения
имени адмирала С. О. Макарова, г. Николаев*

Статья посвящена особенностям бортовой качки поврежденного судна в условиях устойчивого порывистого ветра. Применяется метод постоянного водоизмещения. Затопление предполагается на миделе, а затопленный отсек считается прямоугольным параллелепипедом. Пренебрегается влиянием нелинейностей по бортовым колебаниям. Это позволяет отдельно рассматривать наклонения корабля под действием постоянной и пульсационной составляющих скоростей ветра. Учитывается первый тон колебаний воды в затопленном отсеке. Жидкость в затопленном отсеке предполагается идеальной, а течение этой жидкости – потенциальным. Спектральная плотность пульсационной составляющей скорости ветра определяется путём применения преобразования Фурье к эмпирической корреляционной функции. Возмущение, связанное с действием на судно пульсационной составляющей скорости ветра, предполагается близким к белому шуму в узком смысле. В результате получена приближённая зависимость для дисперсии бортовых колебаний корабля под действием устойчивого порывистого ветра.

Ключевые слова: бортовые колебания повреждённое судно, затопление, спектральная плотность, дисперсия бортовых колебаний, порывистый ветер, белый шум.

Постановка проблемы. В теории бортовой качки неповреждённого судна на реальном нерегулярном волнении известна приближённая зависимость для дисперсии линейной бортовой качки, не связанная с численным нахождением интеграла от спектральной плотности бортовой качки по всему частотному диапазону. Принципиальная возможность получения такой формулы связана с тем, что передаточная функция данного вида качки характеризуется узкой полосой пропускания. А это обстоятельство позволяет без значительной ошибки заменить фактическую зависимость спектральной плотности волновых ординат от частот элементарных гармоник нерегулярного волнения постоянным значением спектральной плотности. Это значение должно быть вычислено при частоте, отвечающей максимуму передаточной функции (т.е. при частоте собственных бортовых колебаний неповреждённого судна n_0). Такое внешнее воздействие на колебательную систему, когда спектральная плотность оказывается не зависящей от частоты, носит, как известно, название белого шума. Замена фактической зависимости спектральной плотности волновых ординат белым шумом более приемлема для слабо упорядоченного ветрового волнения.

Соответствующая зависимость для дисперсии линейной бортовой качки неповреждённого судна может быть получена разными способами. Так, её можно получить даже безотносительно к бортовой качке из анализа воздействия белого шума на линейную динамическую систему второго порядка [1]. Эту же зависимость можно найти по методу статистических моментов [2], а также на основе спектральной теории качки [3].

Аналогичный подход возможно использовать и при расчёте дисперсии тех бортовых колебаний неповреждённого судна, которые связаны с воздействием пульсационной составляющей скорости ветра, что приводит к воздействию на судно динамического кренящего момента. Соответствующая зависимость была получена в 2011 г. одним из авторов [4] в предположении, что динамическое ветровое воздействие характеризуется экспоненциальной корреляционной функцией скорости ветра, эмпирический параметр которой известен из экспериментальных данных [5]. Дисперсия угла ветрового крена судна может быть найдена и иным путём [6], причём результаты

расчётов по обоим способам удовлетворительно согласуются между собой, [4]. Однако соответствующие зависимости для повреждённых судов авторам неизвестны.

Анализ последних достижений и публикаций. Различные подходы к расчёту дисперсии линейной по демпфированию бортовой качки под воздействием близкого к белому шуму волнения описаны в [1, 2, 3]. Обобщение этих материалов на квадратичное демпфирование выполнено в [2], а на линейно-квадратичное демпфирование – в [7]. Различные подходы к нахождению дисперсии бортовых колебаний корабля, обусловленных пульсационной составляющей скорости ветра, рассмотрены в [4, 6]. В работе [8] рассмотрено составление обобщённого уравнения бортовой качки для повреждённого корабля, которое с точностью до обозначений аналогично такому же уравнению для неповреждённого корабля.

Выделение нерешенных ранее задач. Все приведенные выше данные в части расчёта дисперсии бортовых колебаний корабля относятся к неповреждённому судну. А для расчётов бортовой качки и остойчивости в условиях волнения для повреждённых судов представляет очевидный интерес обобщение известных зависимостей для расчёта дисперсии бортовых колебаний неповреждённого судна на повреждённое судно, имеющее затопленный отсек (отсеки). При этом должны быть рассмотрены как ветровые колебания, обусловленные пульсационной составляющей скорости устойчивого порывистого ветра, так и бортовые колебания, обусловленные волнением (бортовая качка). Проблема, решаемая в данной статье, посвящена определению дисперсии бортовых колебаний повреждённого корабля, связанных с ветром. Определение дисперсии бортовой качки повреждённого корабля под действием волнового возмущения, близкого к белому шуму, будет рассмотрено авторами позднее.

Изложение основного материала работы. Рассмотрим далее, следуя в основном работе [4], дифференциальное уравнение бортовых колебаний повреждённого корабля под действием ветра. Указанная работа относится к неповреждённому кораблю. А для учёта повреждения мы, по аналогии с работой [8], введём следующие допущения:

- жидкость в затопленном отсеке предполагается идеальной, а течение этой жидкости – потенциальным;
- пренебрегается влиянием поперечно – горизонтальной качки, а также влиянием нелинейностей по бортовой качке;
- учитывается только первый тон колебаний воды в затопленном отсеке;
- затопление предполагается на миделе, а затопленный отсек считается прямоугольным параллелепипедом;
- применяется метод постоянного водоизмещения;
- дополнительное демпфирование, обусловленное затоплением отсека, считаем отсутствующим;
- затоплен отсек второй категории (в отсеке имеется свободная поверхность, но отсек не сообщается с забортной водой);
- уровень воды в отсеке совпадает с уровнем воды за бортом.

Исходное дифференциальное уравнение накренения корабля под действием устойчивого порывистого ветра предполагается линейным по восстанавливающему моменту и по демпфирующему моменту. В силу этого оно разделяется на два уравнения следующего вида:

$$Dh_{a62}^{(0)}\theta = M_{KP1}; \quad (1)$$

$$J_{X\Sigma a}\ddot{\theta} + 2N_{\theta}\dot{\theta} + Dh_{a62}\theta = M_{KP2}(\Omega, t); \quad (2)$$

$$\frac{J_{X\Sigma a}}{J_X + \lambda_{\theta}} = \varphi_{11}(\Omega, \sigma_1) = 1 + \frac{F_3 U_1(\Omega, \sigma_1)}{g(J_X + \lambda_{\theta})};$$

$$\frac{h_{ae2}}{h_{ae1}} = \varphi_h(\Omega, \sigma_1) = 1 - \frac{U(\Omega, \sigma_1)}{Dh_{ae1}}; h_{ae1} = h + \Delta h_{ae1}; \frac{\bar{v}_{30}}{\delta} \left[1 + \frac{\bar{v}_{30}}{2(\alpha - \bar{l}_{30}\mu_V)} - \frac{1 - \bar{h}_\theta}{2} \right] T;$$

$$U(\Omega, \sigma_1) = \frac{\rho g \beta_1^2 (\sigma_1^2 + \lambda_1 \Omega^2 F_3)}{\sigma_1^2 - \Omega^2} N_\theta = \mu_\theta n_\theta (J_X + \lambda_\theta);$$

$$F_3 = -\zeta_3 - \frac{2B}{\pi} th \frac{\pi d_{ae}}{2B}; \beta_1 = \frac{4\sqrt{B^3 l_{30}}}{\sqrt{2\pi^2}}; \lambda_1 = \frac{\pi}{B} th \frac{\pi \cdot d_{ae}}{B}; \sigma_1 = \sqrt{g\lambda_1}$$

$$\zeta_3 = z_g - T - \Delta T_0; d_{ae} = T + \Delta T_0 - h_\theta \bar{v}_{30} = \bar{l}_{30} \mu_V (1 - \bar{h}_\theta); \bar{l}_{30} = \frac{l_{30}}{L},$$

где $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ – ординаты углов, угловых скоростей и угловых ускорений бортовых колебаний повреждённого корабля; d_{ae} – глубина воды в затопленном отсеке; J_X, λ_θ – собственный и присоединенный моменты инерции массы при бортовой качке для неповреждённого корабля; μ_θ – безразмерный линеаризованный коэффициент демпфирования для неповреждённого корабля; $J_{X\Sigma a}$ – суммарный (с учётом присоединённых масс) момент инерции массы при бортовой качке для повреждённого корабля, учитывающий движение воды в затопленном отсеке; l_{30} – длина затопленного среднего отсека; h_θ – высота двойного дна; μ_V – коэффициент проницаемости для затопленного отсека; ζ_3 – расстояние между центром тяжести корабля и невозмущённой свободной поверхностью воды в отсеке; h_{ae1} – начальная поперечная метацентрическая высота повреждённого корабля, определённая в предположении, что вода в затопленном отсеке представляет собой твёрдый груз (т.е. для отсека первой категории, когда свободная поверхность отсутствует); h_{ae2} – начальная поперечная метацентрическая высота повреждённого корабля, определённая с учётом наличия свободной поверхности в затопленном отсеке совершающего бортовую качку корабля; $h_{ae2}^{(0)}$ – тоже при частоте порывов ветра $\Omega = 0$; σ_1 – частота первого тона колебаний воды в затопленном отсеке; λ_1 – собственное число (волновое число) для первого тона колебаний воды в отсеке; β_1 – коэффициент разложения в ряд Фурье по собственным функциям ординаты свободной поверхности внутренней жидкости (сохранён только первый член этого ряда).

Правомерность разделения уравнений показана также и в работе [9]. Здесь первое уравнение (1) даёт тот тривиальный результат, что при наличии постоянной составляющей скорости устойчивого порывистого ветра колебания будут происходить вокруг положения статического равновесия, отвечающего статическому углу крена $\theta_{Ca} = \frac{M_{кр1}}{Dh_{ae2}^{(0)}}$. Кроме того, $\theta_{Ca} = \bar{M}_\theta$, где \bar{M}_θ – первый статистический момент (математическое ожидание) случайного угла крена повреждённого корабля при воздействии ветра.

А, собственно, ветровые колебания повреждённого корабля характеризуются вторым статистическим моментом случайного угла крена – дисперсией $D_{\theta a}$. В нашей работе [4] задача отыскания этой дисперсии решена для неповреждённого корабля. Рассмотрим обобщение указанной задачи на повреждённый корабль с использованием сформулированных выше допущений.

Для поиска дисперсии $D_{\theta a}$ применим уравнение (2). Разделив все члены этого уравнения на коэффициент при старшей производной, находим

$$\ddot{\theta} + 2\nu_{\theta a} \dot{\theta} + n_{\theta a}^2 \theta = \Xi(\Omega, t);$$

$$n_{\theta a} = \sqrt{\frac{Dh_{a\theta 2}}{J_{X\Sigma a}}}; \nu_{\theta a} = \frac{N_{\theta}}{J_{X\Sigma a}} = \frac{k_I N_{\theta}}{J_X + \lambda_{\theta}} = k_I \nu_{\theta}; k_I = \frac{J_X + \lambda_{\theta}}{J_{X\Sigma a}};$$

$$\Xi(t) = \frac{M_{KP2}(\Omega, t)}{J_{Xa}} = n_{\theta a}^2 \frac{M_{KP2}(\Omega, t)}{Dh_{a\theta 2}},$$

где $n_{\theta a}$ – частота собственных свободных бортовых колебаний корабля с затопленным средним отсеком второй или третьей категорий.

В реальных ветровых условиях динамический ветровой кренящий момент $M_{KP2} = M_{KP2}(\Omega, t)$ есть случайная величина, которая может быть задана, в частности, своей спектральной плотностью $S_M(\Omega)$. Пусть корреляционная функция скорости ветра задана эмпирическим соотношением:

$$R_u(\tau) \approx D_u \exp(-\beta_u |\tau|),$$

где β_u – параметр аппроксимации, имеющий размерность частоты, по данным экспериментов [3] $\beta_u \approx 0,1 \text{ 1/сек}$; D_u – дисперсия пульсационных скоростей ветра, $D_u = \overline{D_u} \bar{u}_B^2$, где \bar{u}_B – средняя скорость ветра на стационарном волновом режиме на высоте 6 м над уровнем моря, которая считается заданной, а безразмерная дисперсия пульсационной скорости ветра $\overline{D_u} \approx 0,017 - 0,020$, [10]

Тогда спектральная плотность пульсационной составляющей скорости ветра определится путём применения к эмпирической корреляционной функции преобразования Фурье, [1], а спектральная плотность динамического кренящего момента определится с учётом результатов работы [4] как:

$$S_M(\Omega) \approx \frac{8\overline{D_u} \beta_u \bar{u}_B^4 \kappa_M}{\pi(\Omega^2 + \beta_u^2)} \left[\frac{S_{\Pi a}(z_{\Pi a} - z_{\Pi a})}{k_1^2 k_2^2} \right]^2; \kappa_M = \frac{z_{\Pi a} - z_{\Pi a}}{z_{\Pi a} - z_{Ra}}; k_1 = \sqrt{\frac{2}{C_M^0 \rho_{B3}}};$$

$$k_2 = \frac{\bar{u}_B}{\bar{u}_{BZ}(z_{\Pi a})} = \frac{\ln \frac{6}{z_0}}{\ln \frac{z_{\Pi a}}{z_0}} \approx \frac{10}{8 + \sqrt{z_{\Pi a} - T - \Delta T_0} - 1} \approx 1,12 - 0,02(z_{\Pi a} - T - \Delta T_0);$$

где ΔT_0 – размерное и безразмерное (в долях осадки неповреждённого корабля) изменение средней осадки T , $C_M \approx 1,2$ – коэффициент неинерционного аэродинамического кренящего момента; ρ_{B3} – плотность воздуха; $S_{\Pi a}$ – площадь парусности для повреждённого корабля; $z_{\Pi a}$ – аппликата центра парусности для повреждённого корабля; $z_{Ra} z_{\Pi a}$ – плечи кренящей силы при динамическом приложении ветровой нагрузки; \bar{u}_{BZ} – средняя скорость устойчивого порывистого ветра, заданная применительно к повреждённому кораблю на уровне $z_{\Pi a}$ от поверхности моря; $z_0 \approx 0,002 \text{ м}$ – характеристика шероховатости подстилающей

поверхности.

При этом спектральная плотность $S_M(\Omega)$ есть относительно медленно меняющаяся функция частоты пульсаций Ω . В то же время ветровые бортовые колебания существенны только в относительно узкой окрестности резонансной частоты. К такому выводу можно прийти, анализируя решения уравнения (2). Этот же вывод справедлив и для морского волнения, когда на регулярном волнении в правой части уравнения, аналогичного (2), находится обусловленный воздействием волнения возмущающий момент. Тогда, без значительной ошибки можно принять, что возмущение $\Xi(t)$ представляет собой белый шум в узком смысле [1].

Далее можно использовать зависимости из монографии А. А. Свешникова [1] в части прохождения белого шума через линейную динамическую систему второго порядка и учесть, что у нас $0 < \Omega < +\infty$ (в отличие от [1], где принято $-\infty < \Omega < +\infty$). Можно принять, что величины $S_M = S_M(\Omega)$, $J_{X\Sigma a} = J_{X\Sigma a}(\Omega)$ и $h_{a\theta 2} = h_{a\theta 2}(\Omega)$ определяются при средней частоте порывов ветра Ω_c . В свою очередь, средняя частота порывов $\Omega_c = n_{\theta 2}$. А условие вида $\Omega = n_{\theta 2}$ объясняется тем, что в приповерхностном слое воздуха на высоте 10–20 м, который и представляет интерес в решаемой задаче, сказывается обратное влияние динамики волнения на динамику ветровой нагрузки [11]. Тогда для дисперсии бортовых колебаний повреждённого корабля под действием пульсационной составляющей скорости ветра $D_{\theta a 1}$ можно сразу записать:

$$D_{\theta a 1} = \frac{n_{a \max} S_M^*}{(Dh_{a\theta 2}^*)^2} \cdot \frac{\pi}{4\mu_{\theta} K_{n1} K_I}, \quad (3)$$

где $h_{a\theta 2}^* = h_{a\theta 2}(n_{\theta a \max})$, $S_M^* = S_M(n_{\theta a \max})$, $\mu_{\theta} = \frac{v_{\theta}}{n_{\theta}}$ – безразмерный коэффициент линейного демпфирования при бортовой качке, определяемый в данной работе так же, как и для неповреждённого корабля, $n_{\theta} = \sqrt{\frac{Dh}{J_X + \lambda_{\theta}}}$ – частота собственных бортовых колебаний для неповреждённого корабля, $K_I = \frac{J_X + \lambda_{\theta}}{J_{X\Sigma a}(n_{\theta a \max})}$; а коэффициент $K_{n1} = \frac{n_{\theta}}{n_{\theta a \max}}$.

Здесь $n_{\theta a \max}$ есть частота, отвечающая максимуму передаточной функции бортовых колебаний корабля. Эта частота отлична в общем случае от частот n_{θ} и $n_{a\theta 2}$, она должна определяться путём численного анализа указанной передаточной функции. Формула (3), относящаяся к чисто линейному демпфированию, может быть по аналогии с неповреждённым судном обобщена на случаи квадратичного демпфирования [2] или линейно-квадратичного демпфирования [7]. Возможен также и учёт дополнительного демпфирования, связанного с затоплением.

Некоторые результаты расчётов по приведенным выше зависимостям приведены на рис. 1. Предполагалось, что амплитуды колебаний, обусловленных пульсационной составляющей скорости ветра, распределены по закону Релея. Тогда выраженная в градусах амплитуда 3% обеспеченности $\theta_3 \approx 151\sqrt{D_{\theta a}}$, где дисперсия $D_{\theta a}$ измеряется в rad^2 .

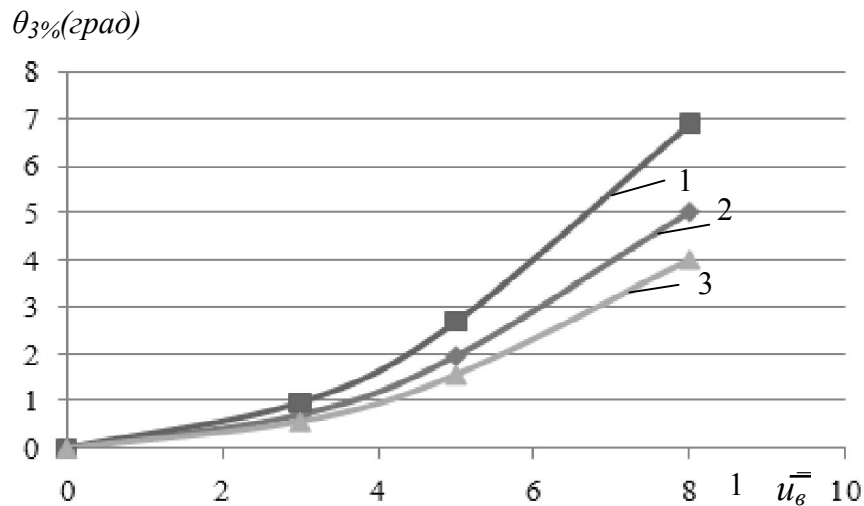


Рисунок 1 – Залежності амплитуди бортових коливань 3%-обеспеченності θ_3 (град) от середньої швидкості вітру \bar{u}_6 для пошкодженого судна:

1–довжина затопленого отсека $l=0,15L$; 2–довжина затопленого отсека $l=0,1L$; 3–довжина затопленого отсека $l=0,075L$

Выводы. 1. В результате выполненного исследования получена простая зависимость для дисперсии бортовых колебаний, повреждённого корабля под действием устойчивого порывистого ветра.

2. Выполненные расчёты позволили установить связь между амплитудами бортовых колебаний заданной обеспеченности, длиной затопления и скоростью пульсационной составляющей устойчивого порывистого ветра.

3. Направлениями последующих исследований являются получение расчётных зависимостей для дисперсии бортовой качки повреждённого корабля под воздействием волнового возмущения, близкого к белому шуму, учёт нелинейности по демпфированию и учёт влияния затопления на демпфирование.

4. Полученные в данной работе и в процессе последующих исследований результаты могут быть использованы при совершенствовании норм аварийной остойчивости судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций [Текст] / А. А. Свешников. – М. : Наука, 1968. – 404 с.
2. Некрасов В. А. Вероятностные задачи мореходности судов [Текст] / В. А. Некрасов. – Л. : Судостроение, 1978. – 304 с.
3. Севастьянов Н. Б. О возможности контроля за остойчивостью судна на море по периоду бортовой качки [Текст] / Н. Б. Севастьянов // Теоретические и практические вопросы остойчивости и непотопляемости морских судов : научно-технический сборник Регистра СССР. – Л. : Морской транспорт, 1963. – С. 83-104.
4. Соломенцев О. И. Расчёт дисперсии динамического ветрового крена судна по эмпирической корреляционной функции пульсационной составляющей скорости ветра [Текст] / О. И. Соломенцев // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 5. – С. 3-12.
5. Волосенко Е. Е. Остойчивость судна по критерию погоды с учётом действия ветра с порывами [Текст] / Е. Е. Волосенко, Д. В. Кондриков, О. В. Озимова // Перспективные типы судов. Мореходные и ледовые качества : сборник научных трудов ЦНИИ морского флота. – Л. : Транспорт, 1985. – С. 90-97.

6. Приходько С. Б. Исследование неопрокидывания судов под действием ветра и волнения [Текст] / С. Б. Приходько // Труды НКИ. – Николаев : НКИ, 1981. – Вып. 176. – С. 74-82.

7. Соломенцев О. И. Влияние формы шпангоутов на амплитуды нелинейной по демпфированию бортовой качки [Текст] / О. И. Соломенцев, Е. О. Снопик // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 67-71.

8. Гарькавый В. В. Стандартная форма уравнения бортовой качки судна с жидким грузом [Текст] / В. В. Гарькавый, В. И. Яковлев // Труды КТИРПиХ. – Калининград : КТИРПиХ, 1980. – Вып. 90. – С. 3-10.

9. Andrewartha T. Seakeeping Behaviour of the Damaged Warship [Text] / T. Andrewartha, G. Thomas, S. Cannon // Defense Science and Technology Organisation. – Maritime Platform Division. – Melbourne, 2008. – 12 p.

10. Луговский В. В. Динамика моря [Текст] / В. В. Луговский. – Л. : Судостроение, 1976. – 200 с.

11. Абрамовский В. А. Влияние структуры поля скоростей ветра над волнением на динамику морских объектов [Текст] / В. А. Абрамовский // Судостроение, 2009. – № 6. – С.41-46.

REFERENCES

1. Sveshnykov A. A. Prykladnie metodi teoryy sluchainikh funktsyi [Applied methods of the theory of random functions], M.: Nauka publ, 1968. – p. 404.

2. Nekrasov V. A. Veroyatnostnyye zadachy morekhodnosti sudov [The probabilistic problems of seagoing vessels], Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1978. – p. 304 .

3. Sevastianov N. B. O vozmozhnosti kontrolya za ostoichyvostiu sudna na more po peryodu bortovoi kachky [About the possibility of control over the ship stability at the sea on a rolling period] Teoretycheskiye y prakticheskiye voprosi ostoichyvosti y nepotopliaemosti morskoykh sudov: Nauchno-tekhnicheskyy sbornyk Rehystra SSSR. – Scientific and Technical Collection USSR Register Leningra., Morskoi transport publ., 1963. – pp. 83-104

4. Solomentsev O. Y. Raschot dyspersyy dynamycheskoho vetrovoho krena sudna po ampyrycheskoi korrelyatsyonnoi funktsyy pulsatsyonnoi sostavliaiushchei skorosty vetra [The calculation of the dispersion of the dynamic wind of the vessel heelin] Zbirnyk naukovykh prats NUK. – Collection of scientific papers of NUOS, Mykolaiv: NUK publ., 2011. – issue 5. – pp. 3-12.

5. Volosenko E. E., Kondrykov D. V., Ozymova O. V Ostoichyvost sudna po kryteriyu pohody s uchotom deistviya vetra s porivamy [The stability of the vessel on the weather criterion in view of effect of wind with gusts], Perspektivnyye typy sudov. Morekhodnie i ledovie kachestva: Sbornyk nauchnykh trudov TSNYY morskoho flota. Proceedings of the Central Research Institute of the marine fleet. – Leningrad : Transport publ., 1985. – pp. 90-97.

6. Prykhodko S. B. Yssledovanye neoprokydывanyia sudov pod deistvyem vetra y volneniya [Tekst] Trudy NKY. – Proceedings NSI Nykolaev: NKY publ., 1981. issue. 176. – pp. 74-82.

7. Solomentsev O. Y., Snopyk E. O Vlyianye formy shpanhoutov na amplytudy nelyneinoi po dempfyrovanyiu bortovoi kachky [Influence of the form of frames on the amplitude of the nonlinear damping roll] Materialy Vseukrainskoi naukovykh tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Suchasni tekhnolohii proektuvannya, pobudovy, ekspluatatsii i remontu suden, morskoykh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud».- Mykolaiv : NUK, 2012. – p. 67-71.

8. Harkaviy V. V., Yakovlev V. Y. Standartnaia forma uravneniya bortovoi kachky sudna s zhydkym hruzom [The standard form of the equations of roll with liquid cargo] Trudy KTYRPIKh – Proceedings KTIРPiH. Kalynynhrad : KTYRPIKh, 1980 – issue. 90. – pp. 3-10.

9. Andrewartha T. Seakeeping Behaviour of the Damaged Warship [Text] / T. Andrewartha, G. Thomas, S. Cannon // Defense Science and Technology Organisation. – Maritime Platform Division. – Melbourne, 2008. – 12 p.

10. Luhovskiy V. V. Dynamika moria [The dynamics of the sea], Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1976, p. 200.

11. Abramovskiy V.A. Vliyaniye strukturi polia skorostei vetra nad volneniyem na dynamyku morskyykh obektov [The influence of the structure of the field of wind velocities over the seaway on the dynamics of marine facilities], Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 2009, issue 6. – pp. 41-46.

Соломенцев О.І., Кондратьєва Л.Ю. БОРТОВІ КОЛИВАННЯ ПОШКОДЖЕНОГО СУДНА В УМОВАХ ДІНАМІЧНОГО ВІТРОВОГО ВПЛИВУ БЛИЗЬКОГО ДО БІЛОГО ШУМУ

Стаття присвячена особливостям бортової хитавиці пошкодженого судна в умовах стійкого поривчастого вітру. Застосовується метод постійної водотоннажності. Затоплення передбачається на міделі, а затоплений відсік вважається прямокутним паралелепіпедом. Не беруться до уваги нелінійні ефекти, що пов'язані із бортовими коливаннями. Це дає можливість роздільно розглядати нахили корабля, що обумовлені постійною та пульсуючою складовими швидкості вітру. Береться до уваги перший тон коливань води в затопленому відсіку. Рідина в затопленому відсіку передбачається ідеальною, а течія цієї рідини – потенційною. Спектральна щільність пульсуючої складової швидкості вітру визначається шляхом застосування перетворення Фур'є до емпіричної кореляційної функції. Збурення, пов'язане з дією на судно пульсуючої складової швидкості вітру, вважається близьким до білого шуму у вузькому сенсі. У результаті отримана наближена залежність для розрахунку дисперсії бортових коливань корабля під дією стійкого поривчастого вітру.

Ключові слова: бортові коливання, пошкоджене судно, затоплення, спектральна щільність, дисперсія бортових коливань, поривчастий вітер, білий шум.

Solomentsev O.I., Kondratieva L.Yu. THE HILL ANGLE OF DAMAGED VESSEL IN CONDITIONS OF THE DYNAMICAL WIND INFLUENCE CLOSE TO THE WHITE NOISE

The article devoted to the features of rolling of damaged vessel because of a gusty wind. The method of the constant displacement is applied in this research. Flooding is expected to midsection, and flooded compartment considered rectangular parallelepiped. Rolling non-linearities are not taken into account. So, it became possible to divide non-time dependent and time-dependent parts of the wind heeling moment. First harmonic of moving water in the flooded compartment is taken into account. The liquid in the flooded compartments assumed as ideal, and flow this fluid is potential. Spectral density of the gusty part of the wind velocity is determined with the help of the using of Fourier transformation to the empirical correlation function of wind velocity. Perturbation, connected with the gust part of the wind on the ship, is close to the white noise in a narrow sense. As a result, was got a simple formula for the variance of the hill angle, connected with the gusty part of wind velocity.

Keywords: rolling, damaged ship, flooding, spectral density, variance, gusty winds, white noise.

© Соломенцев О. І., Кондратьєва Л. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 28.09.15