

Третьей Сахалинской региональной морской науч.-техн. конф.; под общ. ред. В. Н. Храмушина. — Южно-Сахалинск: Сахалинский гос. ун-т, 2011. — С. 64–81.

5. Суров О. Э. Методика проектирования формы корпуса судна с учётом продольной качки и волновых изгибающих моментов / О. Э. Суров, П. П. Карпов // Морские интеллектуальные технологии. — 2013. — № 2. — С. 49–55.

6. Храмушин В. Н. Согласование элементов формы корпуса и общекорабельной архитектуры для достижения эффективности и безопасности штормового плавания / В. Н. Храмушин // Морские интеллектуальные технологии. — 2010. — Спецвыпуск. — С. 55–61.

7. Умрихин В. П. Программное обеспечение для решения задачи выхода судна из зоны резонансной качки / В. П. Умрихин, С. В. Петровский // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2010. — № 1. — С. 107–109.

8. Антоненко С. В. Динамика корабля в штормовом море и нормы остойчивости / С. В. Антоненко, Н. И. Восковщук // Мореходство и морские науки. — 2011: избр. докл. Третьей Сахалинской региональной морской науч.-техн. конф.; под общей ред. В. Н. Храмушина. — Южно-Сахалинск: Сахалинский гос. ун-т, 2011. — С. 24–33.

9. Бармин А. Н. Классификация опасных природных явлений / А. Н. Бармин, Е. А. Колчин, Н. С. Шубаев // IX Межрегиональная науч.-практ. конф. студ. и асп., 10 апр. 2009 г.: в 3 т. / НФИ ГОУ ВПО «Кемеровский гос. ун-т»; под общ. ред. Ф. И. Иванова, С. А. Шипилова, Л. А. Проскуряковой, М. Р. Геты. — Новокузнецк, 2009. — Т. 1. — С. 70–72.

10. Stewart R. Introduction to Physical Oceanography / R. Stewart. — Texas: Department of Oceanography Texas A&M University. — 2008. — P. 353.

11. Мاستрюков С. И. Гидрометеорологическое обеспечение безопасности общего мореплавания / С. И. Мастрюков // Навигация и гидрография. — 2009. — № 28. — С. 124–134.

УДК 655.62.052.4

А. А. Ершов,
д-р техн. наук, доц.;

Д. А. Хухарев,
инж.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОГО ЗАХОДА СУДНА В ПОРТ

CONDITIONS FOR SAFE ENTRY OF SHIPS IN PORT

В статье рассматривается расчетный способ определения безопасных условий с использованием определения безопасной ширины канала для прохода конкретного судна. Он включает в себя расчет гидродинамических и аэродинамических характеристик судна с учетом его конкретных особенностей, а также проверку его возможности двигаться по каналу определённой ширины в условиях конкретного ветра. Использование предлагаемого метода позволяет учесть влияние судов и других объектов, находящихся возле причала, а также влияние глубины и стенок канала на движение судна. В случае использования данного метода может учитываться возможность столкновения проходящего судна с другими объектами на канале во время движения. Предлагаемый метод может использоваться администрация портов для оценки безопасности захода конкретного судна в порт, в частности при автоматизации решения подобных задач.

In the article considers the method of determining a current safe condition using the definition of safety channel width for the passage of a specific vessel. It includes the calculation of hydrodynamic and aerodynamic characteristics of the vessel, taking into account its specific characteristics, test its ability to move in a certain channel width in a particular wind. Using the proposed method allows to take into account the impact of vessels and other objects that are near the pier, and the influence of the depth and the channel walls on the movement of the ship. With this method may take into account the possibility of vessel collisions with other objects on the channel

during movement. The proposed method can be used by port authorities for the safety assessment of a specific ship entering the port. This approach can be used to automate such tasks.

Ключевые слова: рассчитанные условия безопасности, повышение безопасности заходов в российских портах.

Key words: a specially designed safety conditions, improving the safety of navigation in the Russian ports.

АНАЛИЗ аварийных ситуаций, произошедших с судами в российских и иностранных портах, показывает, что многие из них явились результатом навалов на суда, стоящие возле причалов. При этом заходящее судно двигалось по ограниченным по глубине и ширине каналам и фарватерам порта в условиях ветра. Таким образом, в случае аварии при проходе по каналам и фарватерам порта заходящее судно не «уложилось» в отведенную ему безопасную ширину канала или фарватера [1], [2]. Подобные задачи решались в работах [3] – [7] и др. Для оценки безопасности движения судна по каналам и фарватерам с учетом стоящих у причалов судов будем использовать текущую безопасную ширину канала или фарватера, безопасную для прохода судна (рис. 1). Аналогичный подход был использован в работе [8]:

$$\text{Ш}_6(t) = |K_2(t) - K_1(t)|, \quad (1)$$

где $\text{Ш}_6(t)$ — текущая безопасная ширина канала для прохода заходящего судна, м; $K_2(t)$ — текущая координата конечной (второй) безопасной кромки канала в направлении перпендикулярном движению судна, м; $K_1(t)$ — текущая координата начальной (первой) безопасной кромки канала в направлении, перпендикулярном движению судна, м.

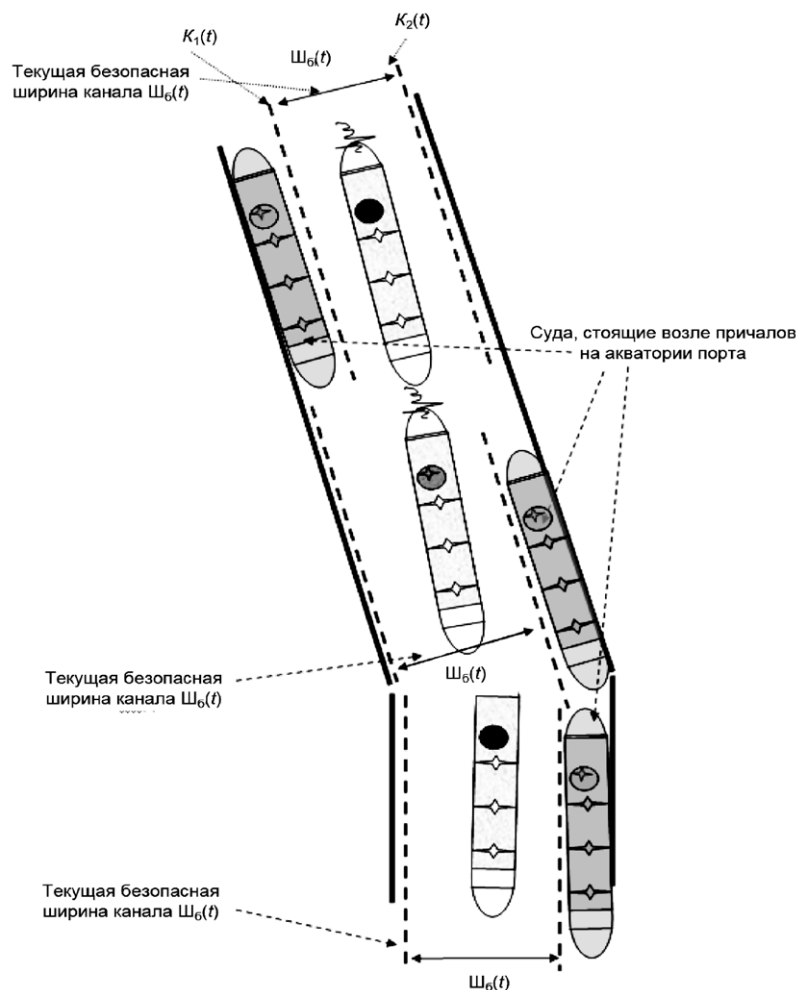


Рис. 1. Схема определения текущей безопасной ширины канала $\text{Ш}_6(t)$ для прохода заходящего судна

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, уравнения сил и моментов, действующих на судно при равномерном движении по мелководному и ограниченному по ширине (с учетом стоящих возле причала судов) каналу (см. рис. 1), могут быть записаны в виде:

$$\begin{cases} Y\beta_{\text{МК}}(t) - Y_a(t) - Y_r(t) = 0; \\ M\beta_{\text{МК}}(t) + M_a(t) - Y_r(t)l_{\text{рм}} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $Y_r(t)$ — текущая боковая сила на руле судна, кН; $Y\beta_{\text{МК}}(t)$ — текущая проекция гидродинамической силы на ось Y с учетом влияния мелководья и эффекта канала, кН; $Y_a(t)$ — текущая проекция аэродинамической силы на ось Y , кН; $Y_r(t)$ — текущая проекция боковой силы на руле на ось Y , кН; $l_{\text{рм}}$ — отстояние баллера руля от центра тяжести (ЦТ) судна, кН; $M\beta_{\text{МК}}(t)$ и $M_a(t)$ — текущие моменты гидро- и аэродинамических сил (момент гидродинамических сил рассчитывается с учетом влияния мелководья и эффекта канала), кН·м.

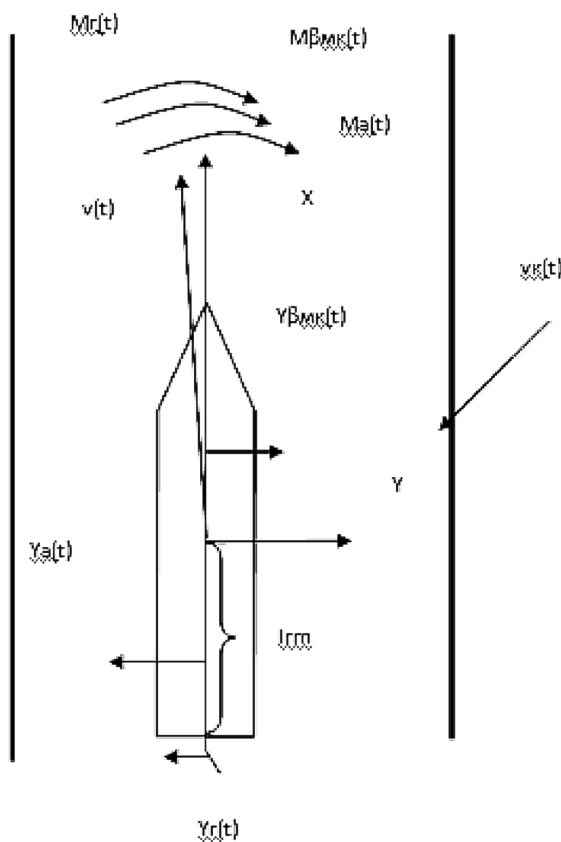


Рис. 2. Схема расчета сил и моментов движения судна на канале или фарватере

Выражая Y_r из первого уравнения системы (2) и подставляя его значение во второе уравнение, получим:

$$\begin{cases} Y\beta_{\text{МК}}(t) - Y_a(t) = Y_r(t); \\ M\beta_{\text{МК}}(t) + (Y\beta_{\text{МК}}(t) - Y_a(t))l_{\text{рм}} + M_a(t) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

или

$$\begin{cases} Y\beta_{\text{МК}}(t) - Y_a(t) = Y_r(t); \\ M\beta_{\text{МК}}(t) + Y\beta_{\text{МК}}(t)l_{\text{рм}} = Y_a(t)l_{\text{рм}} - M_a(t) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Раскроем выражения (4) с использованием [9]:

$$\begin{cases} C_{Y_{\beta_{MK}}}(t)\rho \frac{v(t)^2}{2} A_{L\sigma} - C_{Y_a}(t)\rho_a \frac{vk(t)^2}{2} A_{VL} = C_{Y_r}^\alpha (\delta - \eta\beta)\rho \frac{v(t)^2}{2} A_r; \\ C_{m_{\beta_{MK}}}(t)\rho \frac{v(t)^2}{2} A_{L\sigma}L + C_{Y_{\beta_{MK}}}(t)\rho \frac{v(t)^2}{2} A_{L\sigma}l_{rm} = C_{Y_a}(t)\rho \frac{vk(t)^2}{2} A_{VL}l_{rm} - C_{m_a}(t)\rho \frac{vk(t)^2}{2} A_{VL}L, \end{cases} \quad (5)$$

где $C_{Y_{\beta_{MK}}}(t)$ — текущий коэффициент позиционной силы корпуса с учетом влияния мелководья и эффекта канала; $C_{m_{\beta_{MK}}}(t)$ — текущий коэффициент позиционного момента корпуса с учетом влияния мелководья и эффекта канала; $A_{L\sigma}$ — приведенная площадь погруженной части ДП судна, м²; $C_{Y_a}(t)$ — текущий приведенный коэффициент нормальной составляющей силы ветра; $C_{m_a}(t)$ — текущий приведенный коэффициент ветрового момента корпуса; A_{VL} — площадь проекции надводной части судна на продольную вертикальную плоскость; L — длина судна по действующей ватерлинии, м; $v(t)$ — текущая скорость движения судна, м/с; $vk(t)$ — текущая скорость кажущегося ветра, м/с; η — коэффициент влияния корпуса; β — угол дрейфа судна, рад; δ — угол перекладки руля, рад; A_r — площадь руля, м²; ρ — плотность воды, кг/м³; ρ_a — плотность воздуха, кг/м³.

Второе уравнение системы (5) зависит при данных значениях скорости движения судна, скорости кажущегося ветра и угла кажущегося ветра зависит только от угла дрейфа судна $\beta(t)$.

Первое уравнение системы (5) позволяет определить значение угла перекладки руля $\delta(t)$, необходимое для того, чтобы удержать судно при данном угле дрейфа

$$\frac{C_{Y_{\beta_{MK}}}(t)\rho \frac{v(t)^2}{2} A_{L\sigma} - C_{Y_a}(t)\rho \frac{vk(t)^2}{2} A_{VL}}{C_{Y_r}^\alpha \rho \frac{v(t)^2}{2} A_r} + \eta\beta(t) = \delta(t). \quad (6)$$

Решение уравнений (5) и (6) предлагается вести в приведенной последовательности.

1. Задаваясь значениями необходимой скорости движения судна, направлением и скоростью кажущегося ветра, по второму уравнению системы (5) определяется угол дрейфа судна, с которым данное судно будет двигаться по данному каналу или фарватеру определенной ширины и глубины (глубина и ширина фарватера заранее известны из промеров и других гидрографических работ).

2. В соответствии с уравнением (6) определяется необходимый угол перекладки руля для осуществления такого движения.

3. Если угол перекладки руля, определенный по выражению (6), превышает допустимое значение, значит, судно с данной скоростью в условиях конкретного ветра не может удержаться на канале с определенным углом дрейфа (движение судна не будет безопасным).

4. Если угол перекладки руля для удержания определенного угла дрейфа будет допустимым, то определяется текущая ширина канала, занимаемая судном при движении с данным углом дрейфа по выражению:

$$\text{Ш}_k(t) = L \sin \beta(t) + B \cos \beta(t), \quad (7)$$

где B — ширина судна.

5. Выполняется сравнение найденного значения $\text{Ш}_k(t)$ со значением $\text{Ш}_0(t)$, найденным по выражению (1) для данного участка движения судна.

6. Если величина $\text{Ш}_k(t)$ больше $\text{Ш}_0(t)$, то движение судна на данном участке может привести к навалу на суда, стоящие возле причала, или другие объекты, ограничивающие текущую безопасную ширину канала.

Выводы

Перед заходом крупнотоннажного судна по выражениям (1) – (7) могут быть определены условия безопасного прохода на участках каналов и фарватеров, где судно осуществляет равномерное прямолинейное движение в условиях данного ветра, а также способы маневрирования судна для снижения опасности возможного столкновения или навала [10].

На основании полученных данных администрациями морских портов может быть принято решение об особых условиях обеспечения безопасности захода конкретного судна.

Предлагаемый метод может использоваться администрациями портов для оценки безопасности захода конкретного судна в порт, в частности, при автоматизации решения подобных задач.

Список литературы

1. *Ершов А. А.* От «Титаника» до «Costa Concordia» неиспользованные возможности для спасения: монография / А. А. Ершов. — Германия, 2013. — 146 с.
2. *Ершов А. А.* Некоторые аварии и катастрофы отечественных и иностранных судов: монография / А. А. Ершов, В. И. Никольский. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — 196 с.
3. *Логиновский В. А.* Моделирование оценки вероятности посадки судна на грунт с помощью нечетких чисел / В. А. Логиновский, А. А. Струков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1 (20). — С. 89–96.
4. *Астерин В. В.* Принципы координации подсистем судна для предупреждения столкновений / В. В. Астерин, Е. В. Хекерт // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 2 (21). — С. 13–22.
5. *Сазонов А. Е.* Прогнозирование траектории движения судна при помощи нейронной сети / А. Е. Сазонов, В. В. Дерябин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (22). — С. 6–13.
6. *Бурмака А. И.* Стратегия расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения / А. И. Бурмака // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 20–22.
7. *Некрасов С. Н.* Навигационные риски буксировки судна в стесненных навигационных условиях / С. Н. Некрасов, К. И. Ефимов, Д. В. Трененков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 13–19.
8. *Ершов А. А.* Использование зон безопасного расхождения для движения судов на подходах к портам и внутренних водных путях: сб. науч. тр. проф.-преп. сост. ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. — 2014. — С. 6–13.
9. *Паринов П. П.* Новые способы обеспечения безопасного движения судов в Большом порту Санкт-Петербург и на подходах к порту: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19. — Защищена 21.12.2010; Утв. 12.06.2011 / П. П. Паринов. — СПб., 2010 — 120 с.
10. *Ершов А. А.* Разработка системы интеллектуальной поддержки судоводителя для снижения опасности столкновений судов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.19. — Защищена 19.11.2012; Утв. 20.05.2013 / А. А. Ершов. — СПб., 2012. — 366 с.