

Для цитирования: Абдуллаева З.М. Моделирование движения судна на мелководье по заданной траектории при переменной глубине. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):93-102. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-93-102

For citation: Abdullaeva Z.M. Modeling of ship movement in shallow water according to a specific trajectory at variable depth. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 44 (3):93-102. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-93-102

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.5.015

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-93-102

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЕ

Абдуллаева З.М.

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,
²e-mail: Zolotay83@yandex.ru

Резюме: Цель. В статье рассматриваются вопросы движения судна на мелководье при постоянной и переменной глубине района плавания. При ухудшении условий плавания понижается управляемость судна, что объясняется воздействием возмущающих факторов, из которых наиболее сильное влияние оказывает мелководье. На основе анализа существующих математических моделей движения судна на глубокой воде и мелководье с учетом их недостатков поставлена задача разработки математической модели движения судна на мелководье при постоянной и переменной глубине района плавания и ее программной реализацией. **Метод.** Одним из способов повышения точности маневра является получение математической модели, с учетом аналитических зависимостей влияния мелководья на гидродинамические коэффициенты при уравнениях гидродинамики судна, определяемые в функции отношения осадки судна к глубине акватории. **Результат.** Разработаны математические модели движения судна на мелководье с переменной глубиной района плавания, которые отличаются от существующих тем, что коэффициенты при переменных уравнений гидродинамики являются не постоянными, а переменными, полученными аппроксимацией кривых влияния мелководья на гидродинамические коэффициенты в виде полиномов третьего порядка. **Выводы.** Разработанные математические модели и их реализация обладают рядом достоинств, которые заключается в том, что проведенные исследования вносят вклад в развитие нового подхода при моделировании движения судна на мелководье при циркуляции с переменной глубиной района плавания, и при моделировании движение судна на мелководье с переменной глубиной района плавания по заданной криволинейной траектории. Программная реализация математических моделей и алгоритмов движения судна на мелководье с переменной глубиной района плавания могут быть использованы для дальнейших исследований по изучению динамических характеристик судов на мелководье с переменной глубиной района плавания, а также для анализа и оценки судоводительских причин аварий на морском транспорте.

Ключевые слова: мелководье, глубина района плавания, динамические характеристики судна, гидродинамика судна

TECHNICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

MODELING OF SHIP MOVEMENT IN SHALLOW WATER ACCORDING
TO A SPECIFIC TRAJECTORY AT VARIABLE DEPTH

Zalina M. Abdullaeva

*Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,
e-mail: Zolotay83@yandex.ru*

Abstract Objectives. *The movement of a ship in shallow water at both constant and variable depths of a navigation area is considered in the article. With the deterioration of the navigation conditions, the ship's handling is reduced; this is explained in terms of the influence of disturbing factors, among which shallow water has the strongest impact. Based on the analysis of existing mathematical models of ship movement in deep and shallow water – and taking into account their shortcomings – the task is to develop a mathematical model of ship movement in shallow water at a constant and variable navigation area depth, as well as its implementation in software. **Methods.** One way to improve the accuracy of a manoeuvre is to obtain a mathematical model, taking into account the analytical dependencies of the shallow water effect on the hydrodynamic coefficients on the hydrodynamic equations of the ship, defined as a function of the ratio of the ship draft to the depth of the water area. **Results.** Mathematical models of ship movement in shallow water at variable navigation depths, which differ from the existing ones, are developed: the coefficients of variable hydrodynamic equations are not constant values, but variables obtained by approximating the shallow water impact curves onto hydrodynamic coefficients in the form of third-order polynomials. **Conclusions.** The developed mathematical models and their implementation present a number of advantages, which consist in the conducted studies contribution to the development of a new approach in modelling ship movements in shallow water when operating at variable navigation area depths, as well as when simulating ship movements in shallow waters at variable navigation area depth according to a given curvilinear trajectory. The software implementation of mathematical models and algorithms for ship movement in shallow waters with variable depth of the navigation area can be used for further studies on the dynamic characteristics of ships in shallow waters having variable depths, as well as for the analysis and assessment of skipper-induced accidents in maritime transport.*

Keywords: *shallow water, depth of the navigation area, dynamic characteristics of the ship, ship hydrodynamics*

Введение. Качество системы автоматического управления судном определяется алгоритмом управления и управляемостью судна. При ухудшении условий плавания понижается управляемость судна. Это объясняется влиянием возмущающих воздействий, из которых наиболее сильное влияние оказывает мелководье, т.к. с уменьшением запаса воды под килем наблюдается рост сопротивления движению судна и уменьшение скорости движения. Большой интерес представляет исследование движения судна на мелководье при переменной глубине по криволинейной траектории.

Постановка задачи. На мелководье приходится учитывать соотношение между глубиной и осадкой судна, т.к. на мелководье возникают силы гидродинамического взаимодействия корпуса судна и грунта, поэтому ухудшается маневренность судов, повышается рыскливость, при неизменном значении угла перекладки руля радиус установившейся циркуляции увеличивается.

При плавании на мелководье, особенно при переменной глубине, необходима повышенная точность исчисления пути и высокая точность определения координат местоположения судна.

Построение математической модели движения судна на мелководье при переменной глубине по результатам ходовых испытаний и его компьютерное моделирование для дальнейшего использования с коррекцией на условия плавания является залогом повышения точности маневра.

Для моделирования взята система безразмерных дифференциальных уравнений для малых отклонений судна от криволинейной траектории в связанной с судном системе координат, приведенная в [5]

$$\left. \begin{aligned} m_{22}\dot{\beta} + \bar{n}_y^\beta \beta - \bar{n}_y^\omega \omega + n\beta\omega \operatorname{sign}(\beta, \omega) &= n_y^\delta \delta \\ m_{66}\dot{\omega} - \bar{m}_y^\beta \beta - \bar{m}_y^\omega \omega - m\beta\omega \operatorname{sign}(\beta, \omega) &= n_y^\delta \delta \bar{l}_p \\ \left(\frac{\dot{\bar{V}}}{\bar{V}} \right) + \beta \left(\frac{m_{22}}{m_{11}} \omega - \dot{\beta} \right) &= \frac{1}{m_{11}} (n_p - n_x) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(где, \bar{V} – линейная (приведенная) скорость судна $\bar{V} = \frac{V}{V_0}$; V – текущее значение ли-

нейной скорости судна; V_0 – начальное значение линейной скорости судна; β – угол дрейфа; ω – безразмерная угловая скорость судна $\omega = \frac{\Omega L}{V_0}$; L – длина судна между перпендикулярами;

Ω – угловая скорость судна; m_{11} , m_{22} , m_{66} – безразмерные гидродинамические коэффициенты; n_x – безразмерный коэффициент сопротивления движению судна; n_p – безразмерный коэффициент тяги движителей; n_y^δ – коэффициент, характеризующий эффективность установленных на судне средств управления; δ – угол перекладки руля, выраженный в радианах и отсчитываемый от диаметральной плоскости судна, причем перекладка руля на правый борт соответствует $\delta > 0$, а на левый борт значению $\delta < 0$; \bar{l}_p – приведенное отстояние баллера руля от центра тяжести судна (безразмерное плечо руля); n , m – коэффициенты нелинейности поперечной силы и момента, \bar{n}_y^β , \bar{m}_y^β – влияние мелководья на позиционные поперечной силы и момента рыскания, \bar{n}_y^ω , \bar{m}_y^ω – влияние мелководья на вращательные производные поперечной силы и момента рыскания).

Поставлена задача разработки математической модели движения судна на мелководье с постоянной и переменной глубиной района плавания с учетом аналитических зависимостей влияния мелководья на гидродинамические коэффициенты при уравнениях гидродинамики судна, определяемые в функции отношения осадки судна к глубине акватории с помощью кривых третьего порядка.

Методы исследования. В работе [3] выведены эмпирические зависимости вращательных k_1 , k_2 и позиционных производных k_3 , k_4 , от отношения T/H для значения $\lambda = 0,09$, а также для коэффициента влияния мелководья на кинематические характеристики судна, определяемые в функции T/H k_{11} , k_{22} , k_{66} аппроксимированные уравнениями 3-го порядка.

$$k_i = A \left(\frac{T}{H} \right)^3 + B \left(\frac{T}{H} \right)^2 + C \left(\frac{T}{H} \right) + D \quad (2)$$

где,

T – осадка судна;

H – глубина воды.

A , B , C , D – коэффициенты при полиноме, аппроксимирующем влияние мелководья на i -ю гидродинамическую характеристику судна.

Согласно [1] структурные выражения для коэффициента поперечной силы и момента, общие для глубокой воды и мелководья, имеет вид:

$$n = a_1\beta + a_2\beta/|\beta| + a_3\omega + a_4\beta|\omega| \quad m = b_1\beta - b_2\omega \quad (\text{при } \beta < 20^\circ; \omega < 0,65) \quad (3)$$

Коэффициенты $a_1, \dots, a_4; b_1, b_2$, входящие в выражения являются функциями основных параметров корпуса судна.

Численные значения этих коэффициентов можно получить с помощью интерполяционных кривых, часть которых аппроксимирована соответствующими формулами, а часть представлена непосредственно в виде графиков [1].

В работе [4] аппроксимированы интерполяционные кривые, представленные в виде графиков влияния мелководья на соответствующие коэффициенты.

В работе [6] приведена модель движения судна на мелководье с использованием аналитических зависимостей гидродинамических коэффициентов от отношения осадки судна к глубине акватории.

При управлении судном по заданной траектории, координаты судна определяются в маршрутной, подвижной системе координат, что поясняется на рис.1, где приведены геометрические соотношения, возникающие при движении судна по криволинейной траектории.

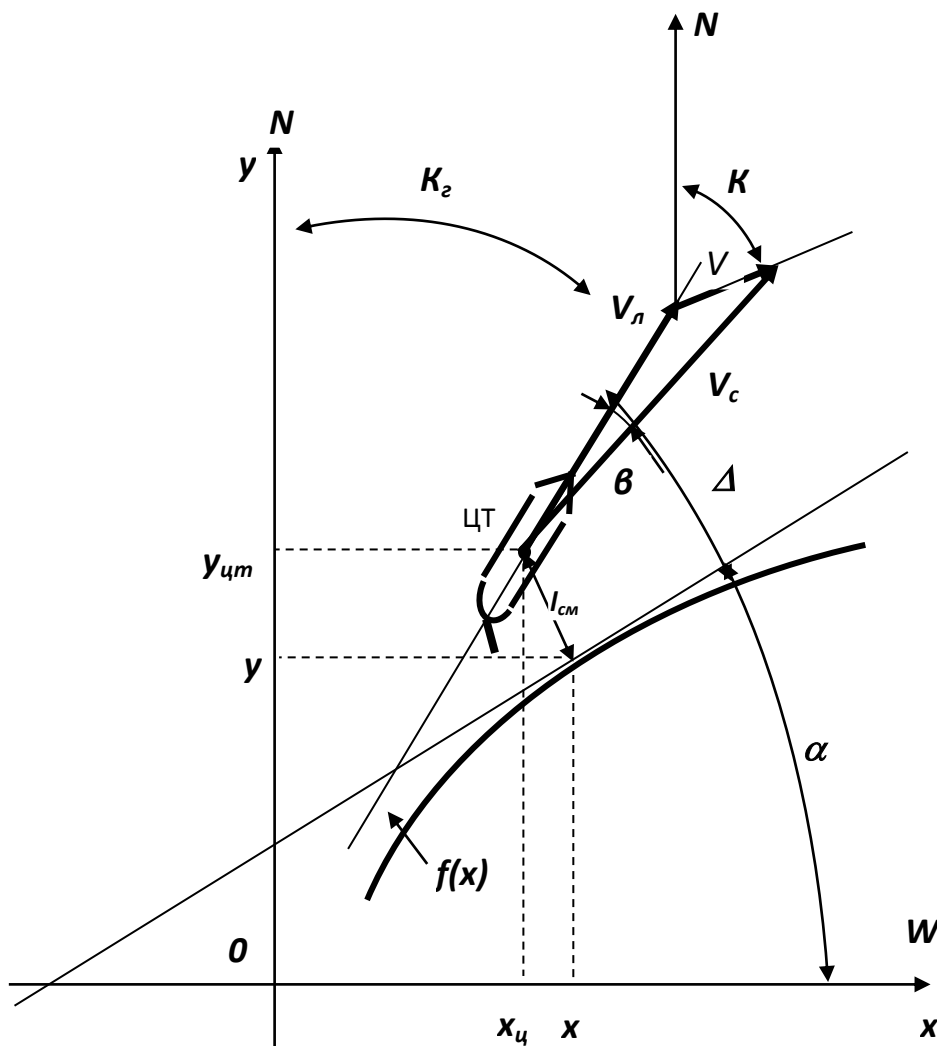


Рис. 1. Геометрические соотношения, возникающие при движении судна по криволинейной траектории
 Fig. 1. Geometric relations arising when the vessel moves along a curved trajectory

На рис.1 обозначены: α – заданное направление судна, которое является касательной к кривой $y=f(x)$, в точке пересечения перпендикуляра, опущенного из центра тяжести судна на кривую, $f(x)$ – заданная траектория движения судна; $\alpha = \arctg f'(x)$; N – направление на север; W – направление на восток; $K_{зк}$ – курс судна по гирокомпасу; K_m – курс течения; V_n – скорость судна по лагу; V_c – скорость судна с учетом течения; V_m – скорость течения; $\Delta K_{ГК}$ – курс судна в маршрутной системе координат; $l_{см}$ – смещение судна относительно заданной траектории; $ЦГ$ – центр тяжести судна; $x_{ум}$ – абсцисса центра тяжести судна; $y_{цт}$ – ордината центра тяжести судна; x, y – соответственно абсцисса и ордината точки пересечения нормали, опущенной из центра тяжести судна с заданной траекторией движения судна; β – угол дрейфа.

Представляет интерес моделирование движения судна по заданной траектории в подвижной системе координат, которое определяется выражениями:

$$x_{ум} = x_0 + \int_0^t V_n \sin K_{зк} dt + V_T \sin K_T t \quad (4)$$

$$y_{ум} = y_0 + \int_0^t V_n \cos K_{зк} dt + V_T \cos K_T t \quad (5)$$

$$K_{зк} = K_{зк0} + \int_0^t \Omega dt \quad (6)$$

где, x_0 – начальное значение абсциссы центра тяжести судна;
 y_0 – начальное значение ординаты центра тяжести судна;
 $K_{зк0}$ – начальное значение истинного курса судна.

Для управления судном по криволинейной траектории необходимо иметь значение бокового смещения судна от заданной траектории $l_{см}$ и отклонение от заданного курса ΔK .

Боковое смещение судна $l_{см}$ определяется как расстояние от центра тяжести судна до точки пересечения нормали, опущенной из центра тяжести судна на заданную траекторию движения [7, 10, 14].

Отклонение от заданного курса ΔK находится как угол между диаметральной плоскостью судна и касательной к точке пересечения нормали, проведенной от центра тяжести судна до пересечения нормали с заданной линией криволинейного движения [9, 12 -13, 18].

Для определения отклонений судна от заданий криволинейной траектории необходимо найти уравнение касательной к точке с координатами x, y (точка пересечения нормали, опущенной из центра тяжести судна на заданную траекторию), которое может быть найдено по формуле [8, 11, 16, 19,]:

$$y_{ум} - y = f'(x)(x_{ум} - x) \quad (7)$$

Из рис. 1 видно, что отклонение судна от заданного курса будет равно:

$$\Delta K = \pi/2 - K_{зк} - \alpha = \pi/2 - K_{зк} - \arctg f'(x) \quad (8)$$

На рис. 2 приведена структурная схема предполагаемой системы управления судном по заданной траектории.

Здесь по заданной траектории, координатам местоположения и курсу судна вычислительное устройство определяет ошибку по курсу и смещению от заданной траектории [15, 17, 19].

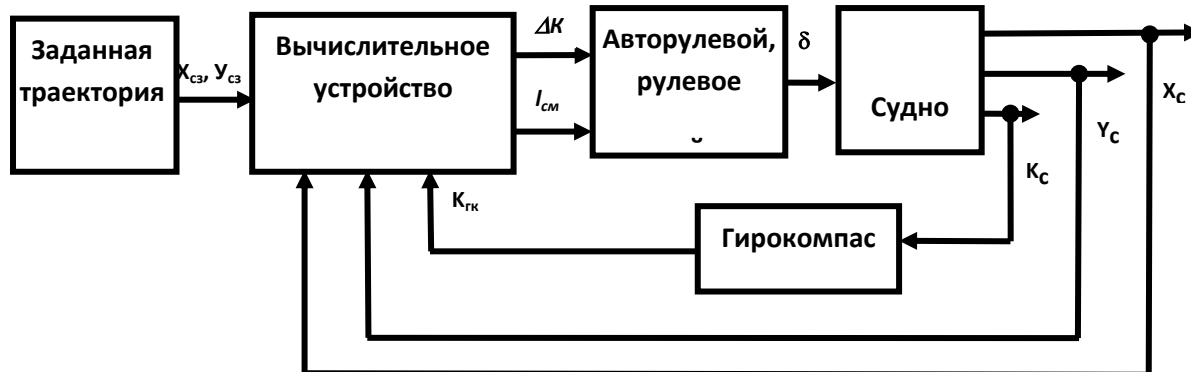


Рис. 2. Система управления судном по заданной криволинейной траектории
 Fig. 2. Ship control system for a given curvilinear trajectory

Исполнительной частью системы автоматического управления судном по заданной траектории является рулевое устройство, которое может быть описано как апериодическое звено первого порядка [2], то есть предполагается, что между управляющим воздействием и управляющим сигналом $U(t)$ существует связь, описываемая выражением:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{U(t) - \delta}{T} \quad (9)$$

где, T – инерционная постоянная времени, значения которой колеблются в пределах 3÷4 сек. При этом на скорость и величину угла кладки руля налагаются ограничения.

$$|\delta| \leq 35^\circ = 0,61 \text{ рад} \quad (10)$$

$$\left| \frac{d\delta}{dt} \right| \leq 2 \div 4 \text{ рад/с} = 0,035 \div 0,07 \frac{1}{c} \quad (11)$$

Рулевой привод имеет зону нечувствительности, которая обычно равна:

$$\Delta\delta = 0,5 \div 1^\circ$$

Для управления судном по величине бокового смещения и углу отклонения от заданного курса рекомендован следующий закон управления рулём [5]:

$$U(t) = K_1 \Delta K + K_2 \frac{d\Delta K}{dt} + K_3 I_{см} + K_4 \frac{dI_{см}}{dt} \quad (12)$$

На основании принципа суперпозиции, с использованием метода D-разбиения, определены области устойчивости отдельно для курса (на плоскости параметров K_1 и K_2) и бокового смещения судна от заданной траектории (на плоскости параметров K_3 и K_4).

Обсуждение результатов. На основе разработанной математической модели осуществлена ее программная реализация.

В доступной литературе моделирование движения судна на мелководье осуществлено при постоянной заданной глубине акватории. Разработанная модель позволяет задать профиль дна с помощью различных наклонных плоскостей и поверхностей второго порядка. Сравнительный анализ движения судна при ровном дне при одних и тех же условиях, но с разным шагом моделирования показывает, что при меньшем шаге увеличивается точность моделирования.

На рис. 3 скорость движения судна $V=5\text{ м/с}$, шаг моделирования равен $0,04$, но за $160,66$ секунды судно проходит путь, примерно равный 1200 метров, чего не может быть в реальных условиях. Самый большой шаг моделирования, которую может задать программа $h=0.6$.

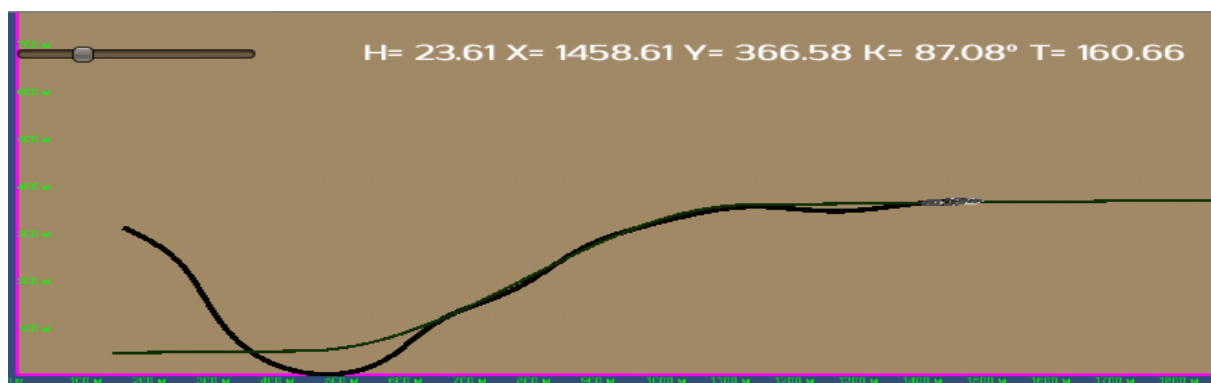
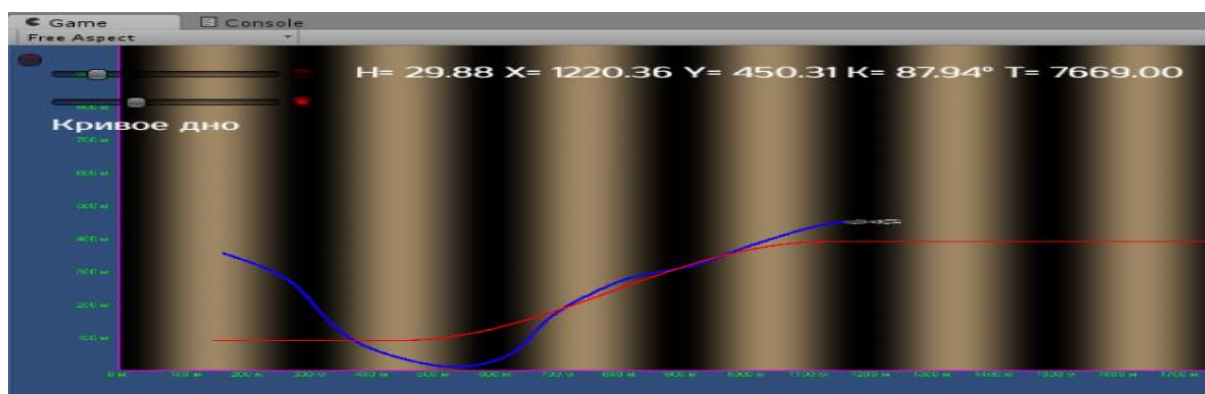
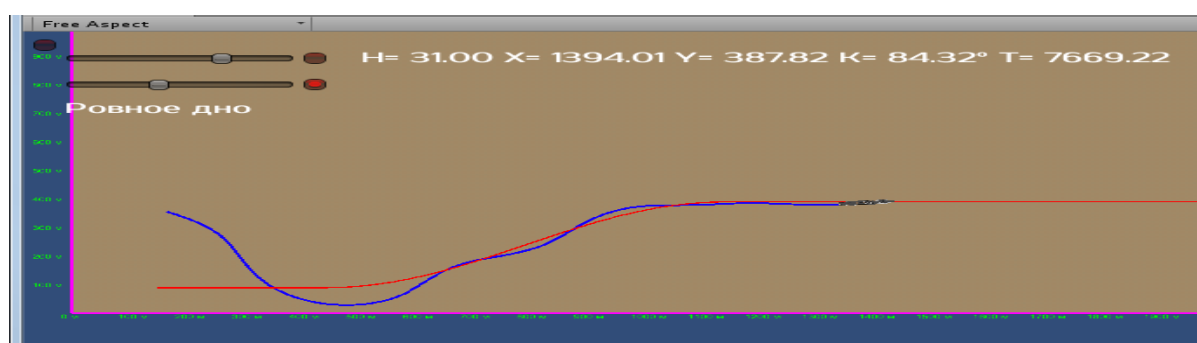


Рис. 3. Движение судна при ровном дне по заданной траектории: $H=23.609\text{ м.}$, $X=166\text{ м.}$, $Y=312\text{ м.}$, $X_T=150\text{ м.}$, $Y_T=195\text{ м.}$, $K=121.74^\circ$, $\delta=31.206^\circ$, $h=0.04$, $V=5\text{ м/с.}$, $K_1=5$, $K_2=400$, $K_3=0.03$, $K_4=-0.003$.

Fig. 3. Vessel's movement at a flat bottom along a given trajectory: $H = 23.609\text{ m.}$, $X = 166\text{ m.}$, $Y = 312\text{ m.}$, $X_T = 150\text{ m.}$, $Y_T = 195\text{ m.}$, $K = 121.74^\circ$, $\delta = 31.206^\circ$, $h = 0.04$, $V = 5\text{ m / s.}$, $K_1 = 5$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$.



а) при неровном дне



б) при ровном дне

Рис. 4. Движение судна при ровном дне по заданной траектории: $H=23.609\text{ м.}$, $X=166\text{ м.}$, $Y=312\text{ м.}$, $X_T=150\text{ м.}$, $Y_T=195\text{ м.}$, $K=121.74^\circ$, $\delta=31.206^\circ$, $h=0.04$, $V=5\text{ м/с.}$, $K_1=5$, $K_2=400$, $K_3=0.03$, $K_4=-0.003$.

а) при неровном дне б) при ровном дне

Fig. 4. Movement of the vessel at a flat bottom along a given trajectory: $H = 23.609\text{ m.}$, $X = 166\text{ m.}$, $Y = 312\text{ m.}$, $X_m = 150\text{ m.}$, $Y_m = 195\text{ m.}$, $K = 121.74^\circ$, $\delta = 31.206^\circ$, $h = 0.04$, $V = 5\text{ m / s.}$, $K_1 = 5$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$. а) with an uneven bottom б) on an even day

При этом моделирование движения судна осуществляется в течение $106,66$ секунд.

Анализ переходных процессов рисунков 3 и 4а показывает, что качественно они мало отличаются друг от друга. Поэтому для качественной оценки переходных процессов с меньшими затратами машинного времени для моделирования может быть использован шаг $h=0.04$ сек. Однако для количественной оценки переходных процессов использование большого шага моделирования недопустимо.

Анализ рис. 4 показывает, что система является склонной к колебательности, т. е имеет место большая интегральная квадратичная ошибка регулирования.

Из теории управления известно, что для уменьшения ошибки регулирования необходимо увеличить общий коэффициент усиления системы. Изменим коэффициент K_1 при составяющем курса. Вместо $K_1=5$, используем $K_1=10$. Результаты моделирования приведены на рис. 5 (шаг моделирования $h=0,6$) и на рисунке 6 (шаг моделирования $h=0,001$)

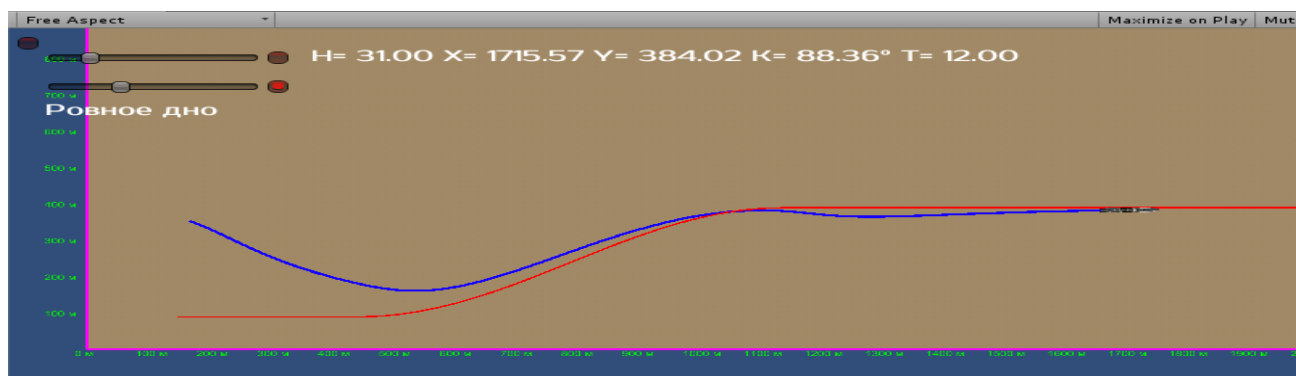


Рис. 5. Движение судна при ровном дне по заданной траектории: $H=31$ м., $X=166$ м., $Y=356$ м., $X_T=150$ м., $Y_T=240$ м., $K=121.74^0$, $\delta=30^0$, $h=0.6$, $V=5$ м/с., при $K_1=10$, $K_2=400$, $K_3=0.03$, $K_4=-0.003$

Fig. 5. Movement of the vessel at a flat bottom along a specified trajectory: $H = 31$ m, $X = 166$ m, $Y = 356$ m, $X_m = 150$ m, $Y_t = 240$ m, $K = 121.740$, $\delta = 300$, $h = 0.6$, $V = 5$ m / s., With $K_1 = 10$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$

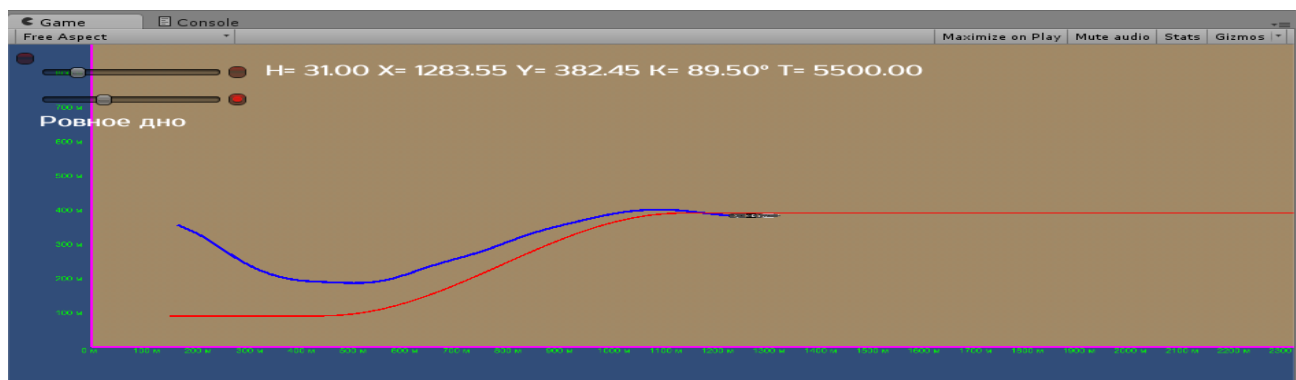


Рис. 6. Движение судна по заданной траектории: $H=31$ м., $X=166$ м., $Y=356$ м., $X_T=150$ м., $Y_T=240$ м., $K=121.740$, $\delta=300$, $h=0.001$, $V=5$ м/с., при $K_1=10$, $K_2=400$, $K_3=0.03$, $K_4=-0.003$.

Fig. 6. Movement of the vessel along a specified trajectory: $H = 31$ m, $X = 166$ m, $Y = 356$ m, $X_m = 150$ m, $Y_t = 240$ m, $K = 121.740$, $\delta = 300$, $h = 0.001$, $V = 5$ m / s., With $K_1 = 10$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$

Как видно из рис. 6, интегральная ошибка и ошибка регулирования, с увеличением коэффициента усиления K_1 значительно уменьшились.

Вывод. Результаты моделирования показывают, что при движении судна на мелководье при переменной глубине по заданной траектории получается большой выброс от заданной траектории по сравнению с движением на глубокой воде, что можно объяснить ухудшением управляемости судна на мелководье. Разработанные модели и алгоритмы позволяют прогнозировать возможность совершения того или иного маневра в заданных условиях плавания, а так же могут быть использованы для разбора судоводительских причин аварии на морском транспорте.

Библиографический список:

1. Гофман А. Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д.Гофман. - Л: Судостроение, 1971. -182 с.
2. Абдуллаева З. М. Математическая модель движения судна по криволинейной траектории / Г. К. Асланов, З. М. Абдуллаева // Молодежь, наука, инновации: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Грозный: ГГНТУ имени М. Д. Миллионщикова, 2013. – С. 27-34.
3. Абдуллаева З.М. Математическая модель движения судна на мелководье / Г.К. Асланов З. М. Абдуллаева// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. -2012. - №27. – С.36-41.
4. Абдуллаева З. М. Влияние мелководья на гидродинамические характеристики корпуса судна / З. М.Абдуллаева // Системные технологии. – Махачкала: МГОУ, 2013. – С.66-72.
5. Асланов, Г. К. Исследование систем автоматического вождения судов по ведущему кабелю: дис. ...канд. тех. наук: 05.22.16 / Асланов Гайдарбек Кадырбекович. - Л.: 1981. - 129с.
6. Асланов, Г.К. Результаты моделирования движения судна на мелководье / Г.К.Асланов, З.М. Абдуллаева, М. Л. Яхьяев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки -2014. - №36. – С.45-53.
7. Admiralty Manual of Navigation. Vol. 1. Revised 1987. Superseding the edition of 1967. London: The Stationery Office; 694 p.
8. Rowe R. W., Captain, FNI. The shiphandler's guide.England: The Nautical Institute; 2000. 172 p.
9. Carlyle J. Plammer Ship handling in narrow channels. Maryland: Cambridge; 1978. 77 p.
10. Clark I. C. Ship Dynamics For Mariners. London Nautical Institute. 2005. 298 p.
11. Fujii Y. Development of Marine Traffic Engineering in Japan. ElectronicNavigation Research Institute Papers. 1979;23:36-43.
12. Fujii Y. Introduction of Marine Traffic Theory. Kaibundo; 1971. 146 p.
13. Fujii Y., Sakaki S. et al. Studies in Marine Traffic Engineering. J. Navig.1971;4:521-552.
14. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship's Domain. J. Navig. 1975; 28(3):122-131.
15. Goodwin E. M., Kemp J. F. A Survey of Marine Traffic in the Southern North Sea. J. Navig. 1977; 30(3):378-387.
16. Navi Trainer 4000. Mathematical Models, Technical Description; Transas Marine. 2003. 104 p.
17. Navi-Trainer Professional 3000. User's manual. Transas Marine, 2000. 329 p.
18. A Guide to Ship Handling.Tokyo: Japan Captains Association; 2009. 187 p.
19. Rejnolds J. Ship's turning characteristics in different water depths. Safetyat SeaInternational. 1976;9.

References:

1. Gofman A.D. Teoriya i raschet povorotlivosti sudov vnutrennego plavaniya. L: Sudostroenie; 1971. 182 s. [Gofman A.D. Theory and calculation of the swivelness of inland navigation ships. L: Sudostroenie; 1971. 182 p. (In Russ.)]
2. Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Matematicheskaya model' dvizheniya sudna po krivolineynoy traektorii. Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Molodezh', nauka, innovatsii". Groznyy: GGNTU imeni M. D. Millionshchikova; 2013. S. 27-34. [Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Mathematical model of ship motion along a curvilinear trajectory. Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference "Youth, Science, Innovation". Groznyy: GSTOU named after M.D. Millionshchikov; 2013. P. 27-34. (In Russ.)]
3. Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Matematicheskaya model' dvizheniya sudna na melkovod'e. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2012;27:36-41. [Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Mathematical model of ship movement in shallow water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2012; 27:36-41. (In Russ.)]
4. Abdullaeva Z.M. Vliyanie melkovod'ya na gidrodinamicheskie kharakteristiki korpusa sudna. Sistemnyye tekhnologii. Makhachkala: MGOU, 2013. S.66-72. [Abdullaeva Z.M. The effect of shallow water on the hydrodynamic characteristics of the ship hull. System technologies. Makhachkala: MSOU, 2013. P.66-72. (In Russ.)]
5. Aslanov G.K. Issledovanie sistem avtomaticheskogo vozhdeniya sudov po vedushchemu kabelyu: Avtoreferatdissertatsiinasoiskanieuchenoystepenicand. tekhn. nauk: 05.22.16. L.: 1981. 129p. [Aslanov

- G.K. The study of systems of automatic driving of vessels on the leading cable: Published summary of Candidate of Technical Sciences thesis: 05.22.16. L.: 1981. 129 p. (In Russ.)]
6. Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M., Yakh'yaev M. L. Rezul'taty modelirovaniya dvizheniya sudna na melkovod'e. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2014;36: 45-53. [Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M., Yakh'yaev M. L. Results of simulation of ship movement in shallow water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2014;36: 45-53. (In Russ.)]
 7. Admiralty Manual of Navigation. Vol. 1. Revised 1987. Superseding the edition of 1967. London: The Stationery Office; 694 p.
 8. Rowe R. W., Captain, FNI. The shiphandler's guide. England: The Nautical Institute; 2000. 172 p.
 9. Carlyle J. Plammer Ship handling in narrow channels. Maryland: Cambridge; 1978. 77 p.
 10. Clark I. C. Ship Dynamics For Mariners. London Nautical Institute. 2005. 298 p.
 11. Fujii Y. Development of Marine Traffic Engineering in Japan. Electronic Navigation Research Institute Papers. 1979;23:36-43.
 12. Fujii Y. Introduction of Marine Traffic Theory. Kaibundo; 1971. 146 p.
 13. Fujii Y., Sakaki S. et al. Studies in Marine Traffic Engineering. J. Navig. 1971;4:521-552.
 14. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship's Domain. J. Navig. 1975;28(3):122-131.
 15. Goodwin E. M., Kemp J. F. A Survey of Marine Traffic in the Southern North Sea. J. Navig. 1977; 30(3):378-387.
 16. Navi Trainer 4000. Mathematical Models, Technical Description; Transas Marine. 2003. 104 p.
 17. Navi-Trainer Professional 3000. User's manual. Transas Marine, 2000. 329 p.
 18. A Guide to Ship Handling. Tokyo: Japan Captains Association; 2009. 187 p.
 19. Reynolds J. Ship's turning characteristics in different water depths. Safety at Sea International. 1976; 9.

Сведения об авторе

Абдуллаева Залина Мусаевна – аспирант.

Information about the author.

Zalina M. Abdullaeva – Post-graduate student

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 31.06.2017.

Принята в печать 10.09.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 31.06.2017.

Accepted for publication 10.09.2017.