

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120

TECHNIQUE OF ASSESSMENT OF THE SAFE NAVIGATION IN THE «CONSTRAINED» WATER AREA

M. P. Lebedeva, S. D. Aizinov, A. O. Lebedev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The concise description of new method of ship safe passage in restricted waters of harbor was described. This method was introduced by employees of the laboratory of Seaworthiness and Makarov Training center specially to solve the problem of ship's safe (accident-free) operation in Saint-Petersburg seaport. The method can be used with ship of any displacement maneuvering in real fairways.

The method consists of two parts – calculated part – used to analyse all possible variants of the problem, and the ship motion simulation to analyse the ship motion ability in real time taking into account navigation restrictions.

The calculated part based on simplified mathematical model. It allows to consider greater number of variants of ships and ship's steering scenarios. The simplified mathematical model differs from the full one only by the ship's environment absence. Method allows to change mathematical description of forces and moments acting on the ship, and easily adapt it to particular situation. It enables to obtain more accurate result.

The result of analysis allows to exclude negative variants and thus reduce number of ship's steering scenarios to test. This reduce the total amount of time required for the work.

The second part of the method includes the ship motion investigation using the navigation simulator. One or several models are tested in real time. The experienced pilots con the models to examine the problem, taking into account all peculiarity of navigation situation.

Keywords: ship maneuverings, restricted waters, shallows, aerodynamic properties, mathematical model, ship motion simulation.

For citation:

Lebedeva, Marina P., Sergei D. Aizinov, and Aleksei O. Lebedev. "Technique of assessment of the safe navigation in the «constrained» water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 111–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120.

УДК 629.12

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОГО ДВИЖЕНИЯ СУДОВ В СТЕСНЕННОЙ АКВАТОРИИ

М. П. Лебедева, С. Д. Айзинов, А. О. Лебедев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В работе приводится краткое описание новой методики оценки безопасного маневрирования судна на закрытой акватории порта. Методика разработана совместно лабораторией мореходных качеств судов и Морского УТЦ ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова для решения задач о возможности прохода судов к причалам Санкт-Петербургского морского порта. Методика применима для решения указанной задачи применительно к любому водоизмещающему судну, маневрирующему на любой акватории. Метод включает две части: расчетную часть, которая позволяет выполнить анализ всех возможных сценариев управления судном, и моделирование движения на морских тренажерах, где рассматриваются наиболее опасные для этой акватории случаи. В основу расчетной части положена упрощенная математическая модель, которая позволяет существенно расширить область исследуемых вариантов решения задачи. Однако упрощение модели означает только отказ от подробного моделирования внешней обстановки и формирования пространственного изображения судна. Первая часть методики позволяет изменять

алгоритм описания сил и моментов, действующих на судно, легко адаптировать модель к конкретному случаю и, как следствие, получить более точный результат. По результатам анализа различных «сценариев» движения судна можно отбросить те из них, которые очевидно не позволяют выполнить заданный маневр, сокращая, таким образом, общее время выполнения работы. Вторая часть включает исследование возможности движения на морском тренажере одной или нескольких моделей судов. Объектами исследования являются наиболее опасные из возможных «сценариев» движения, выявленные на первом этапе. Испытания выполняются в режиме реального времени опытными судоводителями с целью оценки достаточности судовой обстановки для выполнения поставленной перед судном задачи.

Ключевые слова: маневренные качества, стесненная акватория, мелководье, аэродинамические характеристики, математическая модель, тренажер.

Для цитирования:

Лебедева М. П. Методика оценки безопасного движения судов в стесненной акватории / М. П. Лебедева, С. Д. Айзинов, А. О. Лебедев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 111–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120.

Введение

При строительстве новых причалов или переоборудовании старых, при изменении размеров судов или появлении судов нового назначения возникает проблема обеспечения безопасного маневрирования как самого судна, так и сохранности портовых сооружений [1] – [7]. Особую важность этот вопрос имеет для крупнотоннажных судов.

Сложность поставленной задачи состоит в том, что один и тот же фарватер является трудно проходимым для одних судов и легко проходимым для других. Это связано с размерениями судна, относительной площадью парусности, характеристиками управляемости, типом движительно-рулевого комплекса и др. Оценить степень опасности маневрирования «на глаз» не всегда возможно. В предлагаемой статье приводится краткое описание методики количественной оценки возможности безопасного маневрирования.

Методика была разработана сотрудниками лаборатории мореходных качеств судов и Тренажерного центра ГУМРФ и применима для водоизмещающих судов любого типа, маневрирующих на акватории ограниченной глубины в условиях ветра и течения. В настоящее время методика позволяет реализовать следующие процедуры: выполнять оценку возможности безопасного подхода конкретного судна к заданному причалу; рассчитывать предельную длину судна, способного выполнить все необходимые маневры; определять (в случае необходимости) радиусы закругления подходного канала; оценивать достаточность навигационной обстановки; рассчитывать степень риска при маневрировании и др.

1. Согласование параметров судна и акватории

Целью разработки методики является комплексное рассмотрение вопроса о возможности безаварийного маневрирования судна при различных «сценариях» управления им. Перед началом работ выполняется согласование параметров возможного движения рассматриваемого судна [8], [9] и геометрических особенностей акватории, в пределах которой судно должно маневрировать. В качестве критерия соответствия принимается относительная кривизна траектории судна и относительная кривизна линии его перемещения, определяемая принятым «сценарием» управления судном.

Разрабатываемый «сценарий» движения судна предполагает задание начальной точки маневра, относительной кривизны траектории и времени разворота, обусловленное геометрическими характеристиками участка фарватера, изображенного на карте рассматриваемого района. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты предварительной обработки карты района Новой Канонерской гавани.

Обработка карты выполняется в два этапа. На первом этапе на основе анализа глубин и с учетом осадки судна определяются и наносятся на карту границы фарватера (рис. 1, синий пункт). При этом должно учитываться, что глубина водоема не может быть менее 1,1 осадки

судна. На этой стадии выполнения работы можно сделать предварительный вывод о возможности движения судна в заданной акватории: *если осадка судна превышает значения существующих глубин, то заход судна на акваторию порта невозможен и рассмотрение задачи прекращается на первом этапе.*

На втором этапе выполняется разработка «сценариев» движения. «Сценарии» управления судном выполняются с участием опытных судоводителей. Из нескольких предложенных «сценариев» для дальнейших расчетов выбирается наиболее опасный.

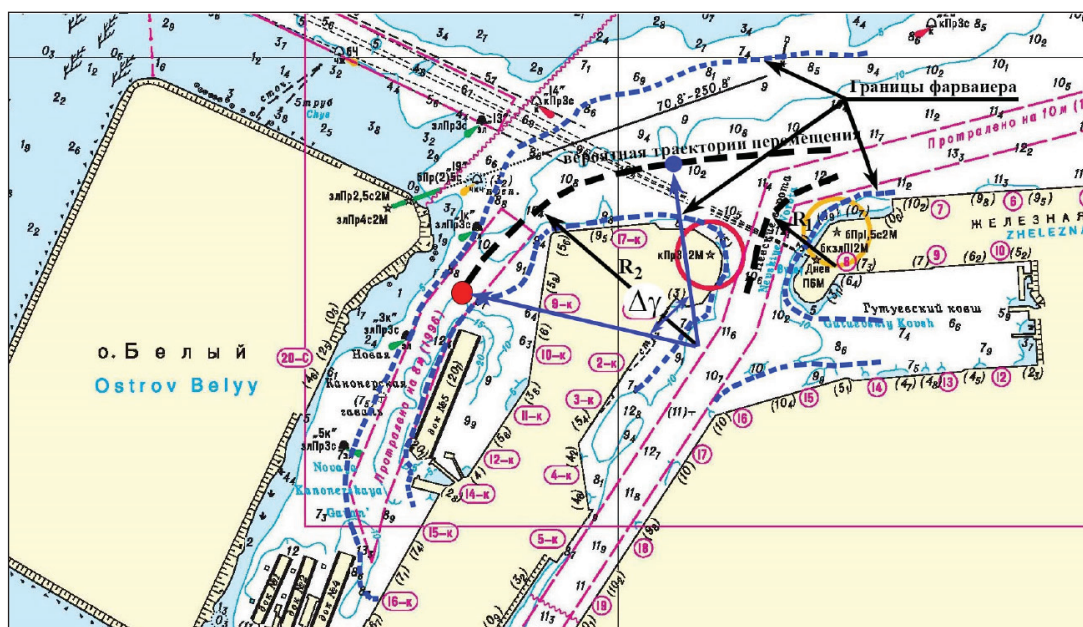


Рис. 1. Подготовка карты района

В качестве примера на рис. 1 черным пунктиром показана траектория перемещения судна при заходе в Новую канонерскую гавань. Принятый для расчета «сценарий» был следующим: судно, движущееся Морским каналом, в районе Невских ворот выполняет разворот вправо, останавливается, а затем буксируется задним ходом в Новую Канонерскую гавань. Предполагаемая траектория движения судна разбивается на отдельные элементы, состоящие из прямолинейных участков и участков постоянной кривизны. Затем рассчитывается относительный радиус кривизны $\bar{R}_{tk}$ и кривизна каждого участка $\bar{\omega}_{tk}$ по формулам:

$$\bar{R}_{tk} = \frac{R_{tk}}{L}; \quad \bar{\omega}_{tk} = \frac{1}{R_{tk}}, \quad (1)$$

где R_{tk} — радиус кривизны выделенного участка траектории; L — длина рассматриваемого судна; $\bar{\omega}_{tk}$ — относительная кривизна выделенного участка траектории.

Далее определяется угол между радиус-векторами точек начала и окончания маневра $\Delta\gamma$ и оценивается длина пути, который должно пройти судно при выполнении маневра, т. е. $S = R_{tk} \cdot \Delta\gamma$, и определяется контрольное время выполнения маневра:

$$t_k = \frac{S}{V}, \quad (2)$$

где V — скорость движения судна перед началом разворота.

На второй стадии выполнения работы можно сделать следующий вывод о возможности движения судна в заданной акватории: *если относительная кривизна траектории при входе судна в циркуляцию с максимальным углом перекладки руля превышает относительную кривизну выделенного участка траектории, то движение в соответствии с заданным «сценарием» возможно.*

Для выполнения работ по согласованию данных необходимо иметь карту района и данные о судне, включающие главные размерения, тип движительно-рулевого комплекса, буклет маневренных характеристик.

2. Анализ возможности безопасного маневрирования

Первое приближение

При рассмотрении задачи в первом приближении должны быть получены ответы на следующие вопросы:

- какова скорость хода судна, по достижении которой возможен удар корпуса о грунт;
- способно ли судно самостоятельно выполнить разворот по траектории заданной кривизны в условиях тихой погоды;
- способно ли судно самостоятельно выполнить разворот по траектории заданной кривизны в условиях ветра;
- какова минимально допустимая скорость хода судна при ветре;
- какова суммарная тяга буксиров, при которой разворот судна обеспечен как в условиях безветрия, так и при ветре.

Рассмотрим последовательность решения указанных вопросов.

Определение максимально допустимой скорости хода судна. Предельно допустимая скорость хода судна может быть рассчитана по любой из существующих методик, например, по методике Данда и Фергюссона [10], [11]. Согласно результатам исследований, при движении на мелководье с увеличением скорости хода изменяется посадка судна, что может завершиться ударом корпуса о грунт. Задача решается применительно к наиболее опасному случаю прямолинейного движения судна.

Величина относительной просадки судна ($\Delta T/L$) может быть рассчитана по формуле [10]:

$$\Delta T/L = (0,027 - 0,152F_{nh} + 1,894F_{nh}^2), \quad (3)$$

где $F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ — число Фруда по глубине.

Расчет по формуле (3) позволяет оценить запас воды под килем в условиях крайнего мелководья при различных скоростях хода. Уменьшение запаса воды под килем, наблюдаемое с ростом скорости хода, приведено на рис. 2, откуда следует, что с ростом скорости хода запас воды под килем уменьшается, и при скорости хода, большей 10 уз, возможен удар о грунт.



Рис. 2. Изменение запаса воды под килем при увеличении скорости хода: $h/T = 1,16$

Если скорость хода рассматриваемого судна не превышает 10 уз, то проход судна по заданному фарватеру будет безударным.

Оценка возможности судна самостоятельно выполнить разворот по траектории заданной кривизны. Способность судна самостоятельно выполнить разворот по траектории заданной кривизны оценивается расчетом с привлечением специально разработанной математической модели рассматриваемого судна.

Математическая модель представляет собой систему трех нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Система уравнений имеет вид [8], [9]:

$$\frac{dV_x}{dt} \cdot (m + \lambda_{11}) = X_{bh}(\beta, \bar{\omega}) + F_{\text{цб}} \cdot \sin \beta + T_p(J_p) + X_a(\gamma_k); \quad (4)$$

$$\frac{dV_y}{dt} \cdot (m + \lambda_{22}) = Y_{bh}(\beta, \bar{\omega}) + F_{\text{цб}} \cdot \cos \beta + Y_R(\beta, \bar{\omega}, \delta) + Y_a(\gamma_k); \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} \cdot (I_z + \lambda_{66}) = M_{bh}(\beta, \bar{\omega}) + Y_R(\beta, \bar{\omega}, \delta) \cdot l_R + M_a(\gamma_k), \quad (6)$$

где V_x, V_y, ω_z — продольная и боковая скорость хода; m, J_z — соответственно масса судна и момент инерции относительно оси z ; X_{bh}, Y_{bh}, M_{bh} — соответственно продольная и боковая составляющие гидродинамической силы и гидродинамический момент на корпусе судна; X_a, Y_a, M_a — соответственно продольная и боковая составляющие аэродинамической силы и аэродинамический момент на надводной части корпуса судна; T_p — тяга гребного винта; Y_R — боковая сила на руле; l_R — плечо руля.

Система координат и силы, действующие на корпус судна при вращении, показаны на рис. 3. Результатом решения этой системы уравнений будут изменения во времени значений относительной кривизны движения судна: $\bar{\omega} = L/R$, где R — мгновенный радиус кривизны траектории.

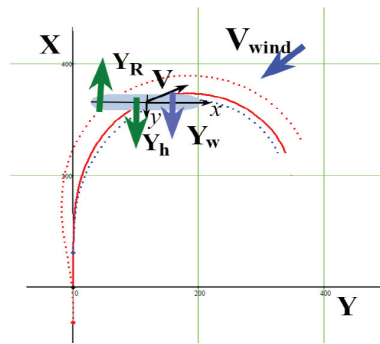


Рис. 3. Схема действия сил на судне

Вывод о способности судна выполнить маневр делается на основе сопоставления относительной кривизны траектории, которая может быть обеспечена рулевым устройством судна, и относительной кривизны траектории, нанесенной на карте района.

Изменения относительной кривизны траектории $\bar{\omega}$, обеспечиваемой судном, полученные с помощью расчета, представляются в виде зависимости от времени. Параметром служит угол перекадки руля (рис. 4). Расчет может выполняться как для условий безветрия, так и при ветре. В качестве примера на рисунке приведены значения относительной кривизны одновинтового сухогрузного судна.

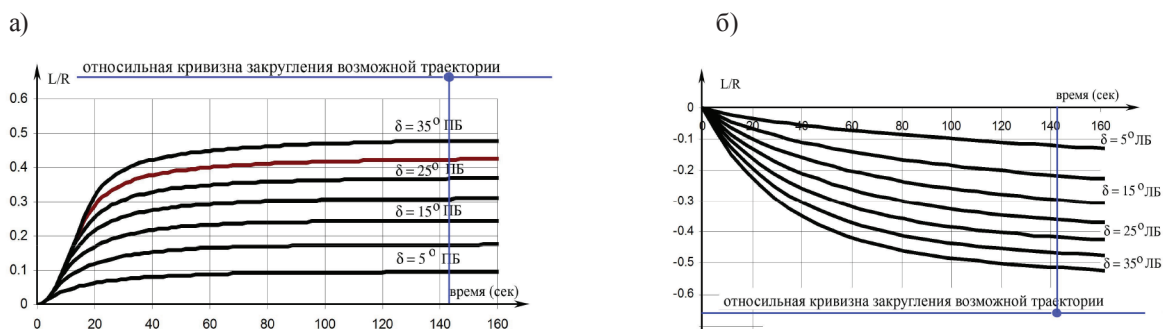


Рис. 4. Вид кривых изменения во времени относительной кривизны траектории при различных углах перекадки руля на одновинтовом судне:

а — правая циркуляция; б — левая циркуляция

На тех же графиках приведены значения относительной кривизны траектории для выбранного «сценария» движения $\bar{\omega}_{ik}$. Время выполнения маневра $t_k = 145$ с.

Отсутствие общих точек на кривых $\bar{\omega}(\delta)$ и $\bar{\omega}_{ik}$ указывает на то, что судно самостоятельно выполнить маневр не сможет.

Таким образом, рассматриваемое судно в условиях безветрия не сможет развернуться самостоятельно при выбранном «сценарии» движения.

Возможность самостоятельно выполнить разворот по траектории заданной кривизны при ветре рассчитывается с применением той же математической модели. Расчет должен выполняться при значениях начальной скорости хода, соответствующей минимальным устойчивым оборотам главного двигателя. Направление ветра задается в системе координат, связанной с Землей, и для каждого варианта расчета сохраняется неизменным. Расчет повторяется для двенадцати направлений ветра в пределах от 0° (направление на север) до 360° для каждого из пятнадцати вариантов угла перекадки руля. Для расчетов использовались аэродинамические характеристики, приведенные в работе [12]. На рис. 5 приведены значения относительной кривизны траектории судна для максимальных углов перекадки руля при различных направлениях скорости ветра.

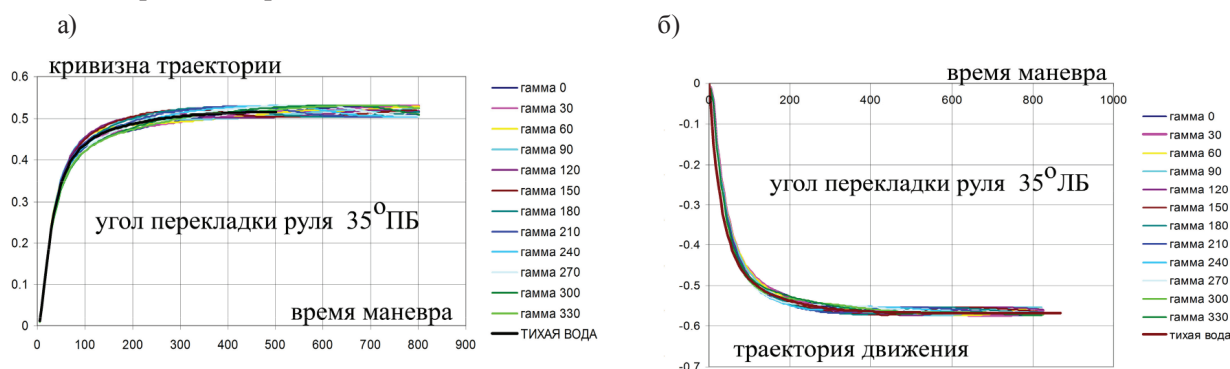


Рис. 5. Вид кривых изменения во времени относительной кривизны траектории при различном направлении ветра:

а — правая циркуляция; б — левая циркуляция

Из графиков, приведенных на рисунке, следует, что влияние ветра на параметры движения рассматриваемого судна невелико, что объясняется сравнительно небольшой площадью парусности. Максимальные значения относительной кривизны траектории при правой циркуляции составляет $\bar{\omega}(\delta) < 0,55$, а при левой циркуляции $\bar{\omega}(\delta) < 0,58$, что меньше требуемого значения относительной кривизны вероятной траектории, которая составляет $\bar{\omega}_i = 0,65$.

Таким образом, рассматриваемое судно, движущееся самым малым ходом в условиях ветра силой 6 баллов, не сможет развернуться самостоятельно при выбранном «сценарии» движения.

Оценка возможности разворота судна с помощью буксиров. Для приближенной оценки количества буксиров, необходимых для проводки судна, рассчитывалась величина дополнительной силы, приложенной в кормовой оконечности, при которой обеспечено движение по траектории заданной кривизны (рис. 6).

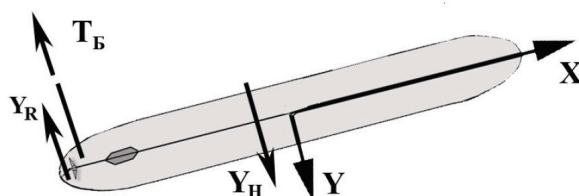


Рис. 6. К определению необходимой тяги буксира

Для расчета использовалась система уравнений движения (4) – (6), в которой в качестве дополнительного параметра добавлялась тяга двух буксиров. Тяга одного из них направлена вдоль диаметральной плоскости и по нормали к ней. Система уравнений имеет вид:

$$\frac{dV_x}{dt} \cdot (m + \lambda_{11}) = X_{bh}(\beta, \bar{\omega}) + F_{цб} \cdot \sin \beta + T_p(J_p) + X_a(\gamma_k) + T_{xб}; \quad (7)$$

$$\frac{dV_y}{dt} \cdot (m + \lambda_{22}) = Y_{bh}(\beta, \bar{\omega}) + F_{цб} \cdot \cos \beta + Y_R(\beta, \bar{\omega}, \delta) + Y_a(\gamma_k) + T_{yб}; \quad (8)$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} \cdot (I_z + \lambda_{66}) = M_{bh}(\beta, \bar{\omega}) + Y_R(\beta, \bar{\omega}, \delta) \cdot l_R + M_a(\gamma_k) + T_{yб} \cdot l_b, \quad (9)$$

где $T_{xб}$, $T_{yб}$ — дополнительная тяга буксира.

Относительная кривизна траектории полагается равной $\bar{\omega}_{ik}$. Решением системы уравнений (7) – (9) является потребная тяга буксиров. Потребная тяга буксиров может быть определена как в условиях безветрия, так и при ветре.

В качестве примера на рис. 7 приведена сила на гаке буксира, создающего тягу, нормальную к диаметральной плоскости, в зависимости от скорости ветра.

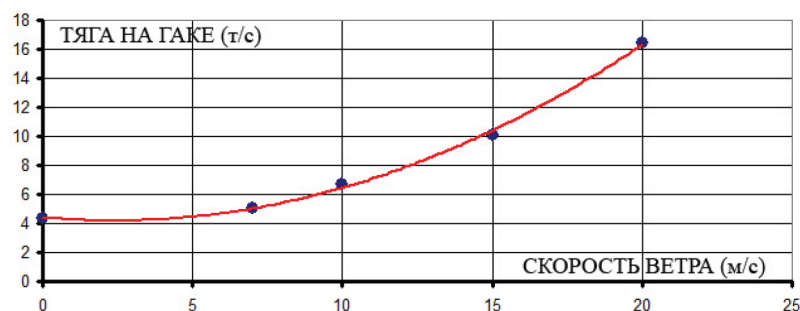


Рис. 7. Результаты расчета потребной тяги буксира

Таким образом, судно может развернуться на заданной акватории и при максимально возможном ветре с помощью двух буксиров: буксира, создающего продольную составляющую тяги, и буксира, создающего тягу, нормальную к диаметральной плоскости. Значения тяги будут зависеть от скорости ветра.

Второе приближение

Во втором приближении производится компьютерная визуализация движения судна с учетом реальных размеров судна, формы обводов корпуса, особенностей береговой линии и глубин в районе плавания. Визуализация движения судна производится с использованием программного обеспечения, разработанного сотрудниками лаборатории мореходных качеств судов (рис. 8).

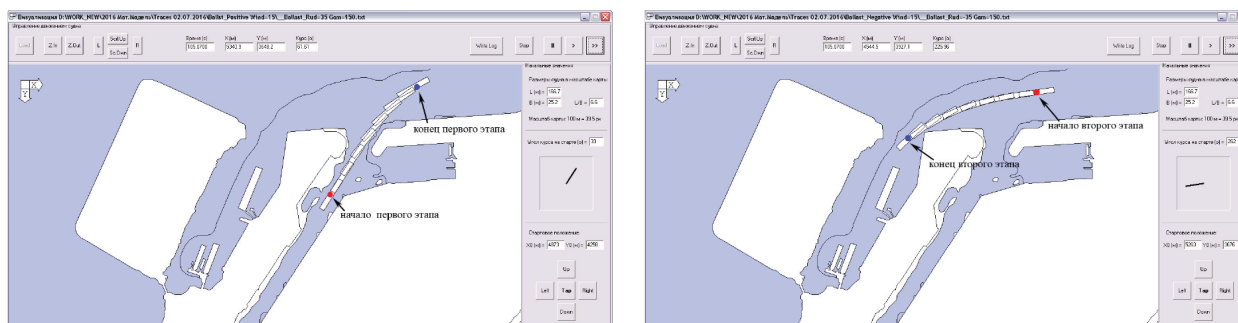


Рис. 8. Визуализация решения для двух этапов маневра входа в Канонерскую гавань

Процесс визуализации выполняется в следующей последовательности.

1. Разрабатывается электронная карта района плавания с отображением границ фарватера и траектории, соответствующей заданному «сценарию».
2. Корректируется математическая модель судна в соответствии с данными, полученными в процессе первого приближения.
3. Разрабатывается схематизированная модель контура судна, имеющего соответствующие значения длины и ширины.

Разработка электронной карты района плавания производится на основе растровых изображений существующей карты. Электронная карта представляет собой совокупность ломаных линий (заданных координатами их вершин), обозначающих береговую линию и изолинии глубин нужных значений. Простота способа создания позволяет быстро подготовить карту любого необходимого района.

Рисование контура судна производится в автоматическом режиме в соответствии с рассчитанными значениями кинематических параметров движения. Масштабы карты и судна согласованы, это позволяет определять точное положение объектов на экране. Признаком того, что судно способно выполнить маневр, является отсутствие точек касания движущегося контура и границы судового хода. В случае касания процесс визуализации автоматически останавливается и делается вывод о невозможности прохождения судном заданного участка района плавания в соответствии с принятым «сценарием».

Другим важным фактором, оказывающим влияние на результат решения, является правильность задания начальных условий, а именно: координаты точки начала маневра, начального угла курса, угла перекладки руля, скорости хода судна, силы и направления ветра.

Начальные условия, оказывающие влияние на траекторию движения судна, и факт касания контуров, определяющих судно и канал, могут свидетельствовать не только о невозможности выполнения маневра, но и о неверно установленных начальных условиях. Поэтому для получения достоверной информации о возможности прохода к месту швартовки необходимо убедиться в том, что принятый «сценарий» является оптимальным.

Третье приближение

При выполнении расчетов в рамках первого и второго приближений определяется принципиальная возможность выполнить заданным судном, принятый к рассмотрению «сценарий». Однако при этом из рассмотрения полностью оказывается исключен человеческий фактор, который чаще всего и является причиной аварий. Поэтому окончательное заключение о возможности безаварийного маневрирования судна дается по результатам моделирования движения на тренажере маневрирования и управления судном с использованием публикаций [1] – [7]. Работа выполняется опытными судоводителями и лоцманами с учетом результатов, полученных в процессе первых двух приближений.

Визуальная модель, используемая в тренажере, кроме динамики движения судна определяет размеры «мертвой зоны», положение буев, створные знаки и др. Наблюдение за движением судна ведется в режиме реального времени. На тренажере имеется возможность проверки работы судна самостоятельно и с помощью буксиров.

Меняя судоводителей и внешние условия при проведении судна по заданному фарватеру, можно оценить риски возникновения аварийных ситуаций.

Выводы

1. Предлагаемая методика может быть использована для решения задачи о безопасном маневрировании применительно к любому водоизмещающему судну, маневрирующему на любой акватории. Это позволяет использовать ее при проектировании новых портов, оценке допустимых размеров судов, заходящих в действующий порт, оценке потребной мощности буксиров, обеспечивающих проводку и швартовку судна, разработку требований к метеорологическим условиям в районе порта и др.

2. Методика включает два разных этапа моделирования: расчетную оценку возможности судна выполнить маневр в соответствии с заданным «сценарием» и оценку возможности управлять судном в реальных условиях и в режиме реального времени с учетом человеческого фактора.

3. Используемая на первом этапе исследования упрощенная модель судна позволяет изменять алгоритм описания сил и моментов, действующих на это судно, легко адаптировать модель к каждому конкретному случаю и, как следствие, быстрее получать более точный результат.

4. Визуальная модель, используемая в тренажере, кроме динамики движения судна определяет размеры «мертвой зоны», положение буйев, створные знаки и др. Наблюдение за движением судна ведется в режиме реального времени. На тренажере можно проверить возможность работы судна самостоятельно и с помощью буксиров. Выполняя замену судоводителей и изменяя внешние условия или при замене судоводителей и изменении внешних условий при проведении судна по заданному фарватеру, можно оценить риски возникновения аварийных ситуаций.

Авторы выражают искреннюю благодарность за помощь в разработке методики сотрудникам тренажерного центра ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова: доценту кафедры навигации старшему инструктору МУТЦ Владимиру Евгеньевичу Кузьмину и лоцману I-й категории старшему инструктору МУТЦ Евгению Александровичу Воронину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнараки В. А. Справочник лоцмана / В. А. Корнараки. — М.: Транспорт, 1975. — 168 с.
2. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков. — Изд-во «Профессионал», 2004. — 536 с.
3. Алексеев Л. Л. Практическое пособие по управлению морским судном / Л. Л. Алексеев. — СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 1996. — 188 с.
4. Пламмер Дж. К. Маневрирование судов в узкостях / Дж. К. Пламмер. — Л.: Судостроение, 1986. — 80 с.
5. Погосов С. Г. Швартовка крупнотоннажных судов / С. Г. Погосов. — М.: Транспорт, 1976. — 172 с.
6. Третьяк А. Г. Практика управления морским судном / А. Г. Третьяк, Л. А. Козырь. — М.: Транспорт, 1988. — 112 с.
7. Удалов В. И. Управление крупнотоннажными судами / В. И. Удалов, И. Ф. Массанюк, В. Г. Матевосян, С. Б. Ольшамовский. — М.: Транспорт, 1986. — 229 с.
8. Справочник по теории корабля / под ред. Я. И. Войткунского. — Л.: Судостроение, 1985. — Т. 3. — 544 с.
9. Басин А. М. Ходкость и управляемость судов: учеб. пособие для вузов водного транспорта / А. М. Басин. — М.: Транспорт, 1977. — 456 с.
10. Басин А. М. Гидродинамика судов на мелководье / А. М. Басин, И. О. Веледницкий, А. Г. Ляховицкий. — М.: Судостроение, 1976. — 320 с.
11. Dand I. W. The squat of full ship in shallow water / I. W. Dand, A. M. Ferguson // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects. — 1973. — Vol. 115. — Pp. 237–255.
12. Manoeuvring Technical Manual / Group of experts; edited by Capt. Dipl.-Ing. J. Brix. — Hamburg, Germany: Seehafen Verlag, 1993. — 266 p.

REFERENCES

1. Kornaraki, V. A. *Spravochnik locmana*. M.: Transport, 1975.
2. Snopkov, V. I. *Upravlenie sudnom*. Izd. Professional, 2004.
3. Alekseev, L. L. *Prakticheskoe posobie po upravleniyu morskim sudnom*. SPb.: ZAO TsNIIMF, 1996.
4. Plammer, Dzh. K. *Manevrirovanie sudov v uzkostyakh*. L.: Sudostroenie, 1986.
5. Pogosov, S. G. *Shvartovka krupnotonnazhnykh sudov*. M.: Transport, 1976.
6. Tret'yak, A. G., and L. A. Kozyr'. *Praktika upravleniya morskim sudnom*. M.: Transport, 1988.
7. Udalov, V. I., I. F. Massanyuk, V. G. Matevosyan, and S. B. Ol'shamovskii. *Upravlenie krupnotonnazhnyimi sudami*. M.: Transport, 1986.

8. Voitkunsii, Ya. I., editor. *Spravochnik po teorii korablya*. L.: Sudostroenie, 1985. Vol. 3.
9. Basin, A. M. *Khodkost' i upravlyaemost' sudov. Uchebnoe posobie dlya VUZov vodnogo transporta*. M.: Transport, 1977.
10. Basin, A. M., I. O. Veleznitskii, and A. G. Lyakhovitskii. *Gidrodinamika sudov na melkovod'e*. M.: Sudostroenie, 1976.
11. Dand, I. W., and A. M. Ferguson. "The squat of full ship in shallow water." *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects* 115 (1973): 237–255.
12. Brix, J., editor. *Manoeuvring Technical Manual*. Hamburg, Germany: Seehafen Verlag, 1993.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедева Марина Петровна —
кандидат технических наук
Лаборатория «Мореходных качеств судов»
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская 5/7
e-mail: Imp45@yandex.ru, LebedevaMP@gumrf.ru

Айзинов Сергей Дмитриевич —
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская 5/7
e-mail: AjzinovSD@gumrf.ru

Лебедев Алексей Олегович —
научный сотрудник
Лаборатория «Мореходных качеств судов»
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская 5/7
e-mail: Imp45@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lebedeva, Marina P. — PhD
Laboratory of Seaworthiness
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: Imp45@yandex.ru,
LebedevaMP@gumrf.ru

Aizinov, Sergei D. — PhD
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: AjzinovSD@gumrf.ru

Lebedev, Aleksei O. —
Researcher
Laboratory of Seaworthiness
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: Imp45@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 26 декабря 2016 г.
Received: December 26, 2016.