

УДК 656.61.052

**PLANNING OF PASSING BY THE SHIPS BY REDACTION
WITH RETURN TO ITS FORMER VALUE****ПЛАНИРОВАНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ С СУДАМИ
УМЕНЬШЕНИЕМ СКОРОСТИ С ВОЗВРАЩЕНИЕМ К
ПРЕЖНЕМУ ЕЕ ЗНАЧЕНИЮ***A.A. Vagushchenko, 2nd Officer***A.A. Вагущенко, 2-й помощник капитана***SC «V.Ships (Ukraine)»**ДП «В.Шипс (Украина)»***ABSTRACT**

To ensure the safe passing by the ships in a number of situations, we propose a method of simplification of definition of three staged maneuver by speed, at which the time of the deviation from the voyage plan is minimal. This maneuver includes reduction of velocity, the movement with its reduced value, return to former speed. The elements of maneuver are calculated taking into account the dynamics of the own ship, using the model of its motion in the form of nonlinear differential equation. While assessing the results of the planned maneuver the special marks at the closest point of approach of the target with own ship are used.

Key words: collision avoidance, speed alteration, maneuvers planning, danger marks.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.

Совершенствование теоретических методов и разработка практических рекомендаций по повышению безопасности расхождения судов остается важным направлением научных исследований в области судовождения. Одним из актуальных вопросов в этом направлении является выбор с учетом требований МППСС72 стратегий для избегания столкновений с судами, обеспечивающих минимальные отклонения по времени от запланированного графика движения к порту назначения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В практике судовождения встречаются ситуации, когда наилучшим для расхождения действием является уменьшение скорости. Это характерно для плавания в стесненных водах, в частности в системах разделения движения, где отклонения от курса являются нежелательными или опасными. Способы выбора изменения скорости в таких ситуациях рассмотрены во многих

источниках, например [2-4]. Основными недостатками этих методов является недостаточно корректный учет инерционности судна при прогнозе выполнения маневра с целью обеспечения, как безопасности расхождения в ситуациях с несколькими судами, так и минимизации потерь времени из-за отклонения от плана движения к порту назначения. Поэтому актуальным является разработка методов, позволяющих облегчить нахождение для расхождения с судами действий, включающих этап снижения хода, этап движения с пониженной скоростью и этап возвращения к прежней скорости. Назовем совокупность отмеченных действий W-маневром расхождения.

Формулировка целей статьи (постановка задачи).

Целью работы является разработка метода определения параметров эффективного W-маневра для расхождения с несколькими судами.

Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов.

W-маневр включает снижение и увеличение хода судна на выбранную величину ΔV . Эти процессы зависят от вида движительного комплекса судна. Ниже для определенности возьмем его наиболее распространенный вариант, включающий двигатель внутреннего сгорания и один гребной винт фиксированного шага (ВФШ). Обозначим частоту вращения винта и отвечающую ей установившуюся скорость соответственно:

F_0, V_0 – для движения судна перед маневром;

F_M, V_M – для хода выбранной пониженной скоростью;

F_F, V_F – для режима работы движительной установки, выбранного для изменения хода (F_{FT}, V_{FT} – для торможения; F_{FP}, V_{FP} – для разгона).

Таким образом, ΔV может быть представлено в виде $\Delta V = V_0 - V_M$.

Соответствующие частотам вращения винта значения установившихся скоростей судна можно найти в формуляре маневренных элементов судна.

Требования к изменению хода. Характеризуя требования к изменению хода при расхождении, следует отметить, что по возможности оно должно быть коротким по времени без значительного ухудшения управляемости судна по курсу. Поэтому при заблаговременном расхождении снижение скорости от V_0 до V_M целесообразно производить применением малого или, в крайнем случае, среднего заднего хода, так как использование полного заднего хода для этой цели неблагоприятно для главного двигателя и приводит к резкому ухудшению управляемости судна по курсу. Для уменьшения времени разгона от V_M до V_0 частоту F_{FP} вращения ВФШ в процессе разгона целесообразно брать, по возможности, на 5-10% большей F_0 . Согласно МППСС-72 применяемый для расхождения маневр должен быть решительным. Обычно считается, что снижение скорости должно составлять не меньше третьей части V_0 . Следует также учитывать, что при снижении хода уменьшается маневренность судна по курсу. При слишком малой скорости судно может стать неуправляемым, и если

ситуация начнет развиваться в опасную сторону, оно будет не в состоянии ее улучшить.

Метод определения параметров процессов торможения и разгона. Чтобы выбираемый для расхождения W-маневр был эффективным, нужно при его планировании применять адекватную математическую модель движения судна для описания процессов изменения хода. Наиболее приемлемым для рассматриваемой задачи, по нашему мнению, является использование для этой цели дифференциального уравнения[3]:

$$m_L \frac{dV}{dt} + R = P. \quad (1)$$

Здесь m_L - масса судна с учетом присоединенной массы; V - текущая продольная скорость судна; R – сила сопротивления воды движению судна; P - упор винта. Обычно удовлетворительная точность расчета процессов изменения скорости по модели (1) достигается при следующих допущениях:

- присоединенная масса в ходе маневра остается неизменной (обычно она берется равной $0.1D$, где D – водоизмещение судна);
- сопротивление воды пропорционально квадрату скорости $R = k_V V^2$, где k_V – коэффициент пропорциональности;
- частота вращения гребного винта в процессе изменения хода не зависит от скорости судна.

Для расчета P можно применить формулу [3]

$$P = k_V [c \cdot V_F^2 - (c - 1)V^2]. \quad (2)$$

Здесь $c \approx 1,2 \div 1,5$ отношение упора винта в швартовом режиме к упору винта при движении с установившейся скоростью V_F , соответствующей частоте вращения винта, используемой для изменения хода. Коэффициент k_V можно найти по формуле С.И. Демина [3]

$$k_V = 5,88 + 0,000654 \cdot S_{CM} \sqrt{\frac{B}{T}}. \quad (3)$$

В этом выражении B – ширина судна на миделе; T – средняя осадка судна; S_{CM} – площадь смоченной поверхности корпуса:

$$S_{CM} = D^{2/3} \left(4,854 + 0,492 \frac{B}{T} \right). \quad (4)$$

Определенные расчетным путем параметры модели (1) уточняются по данным натурных испытаний судна [2].

Таблица 1. Массивы значений параметров торможения

τ , сек.	V	S
0	V_0	0
1	V_1	S_1
2	V_2	S_2
...
i	V_i	S_i
...
τ_T	V_M	S_T

Таблица 2. Массивы значений параметров разгона

τ , сек.	V	S
0	V_M	0
1	V_1	S_1
2	V_2	S_2
...
j	V_j	S_j
...
τ_P	V_0	S_P

Если для расхождения выбраны параметры W-маневра V_M , F_{FT} , F_{FP} , то путем численного интегрирования уравнения (1) с шагом 1 с. можно получить значения скорости V_i и проходимого расстояния S_i в процессе торможения от V_0 до V_M и разгона от V_M до V_0 (табл. 1, 2, где τ_T , τ_P – время торможения и разгона; S_T , S_P – проходимое судном за это время расстояние) [1]. Время движения судна с пониженной скоростью при W-маневре обозначим τ_M , а проходимое за это время расстояние – S_M .

Принцип поиска эффективного W-маневра. Охарактеризуем вначале эту задачу для предупреждения столкновения с одним судном. В этом случае приближенно снижение хода ΔV для расхождения можно найти известным способом [2], пренебрегая инерционностью судна и прогнозируя маневр на 6-8 минут вперед по времени с учетом отмеченных выше требований к изменению хода. Когда ΔV , F_{FT} , F_{FP} известны, поиск W-маневра можно свести к определению задержки в движении собственного судна (OS- ownship), которую этот маневр должен вызвать, чтобы судно безопасно разошлось с «целями». Рассмотрим алгоритм решения в ситуации, показанной на рис. 1,а, где O – наше судно, J – «цель», d – расстояние кратчайшего сближения между судами (CPA), d_L – заданный предел безопасных значений CPA, K_0 – курс OS, K_J – курс «цели», k_j – курс «цели» относительно OS. Фрагмент рисунка 1,а около точки OS показан на рис. 1,б, где $\Delta d = d_L - d$. Считается, что если курс «цели» OS пересекает по корме, то d положительно, а если по носу – отрицательно.

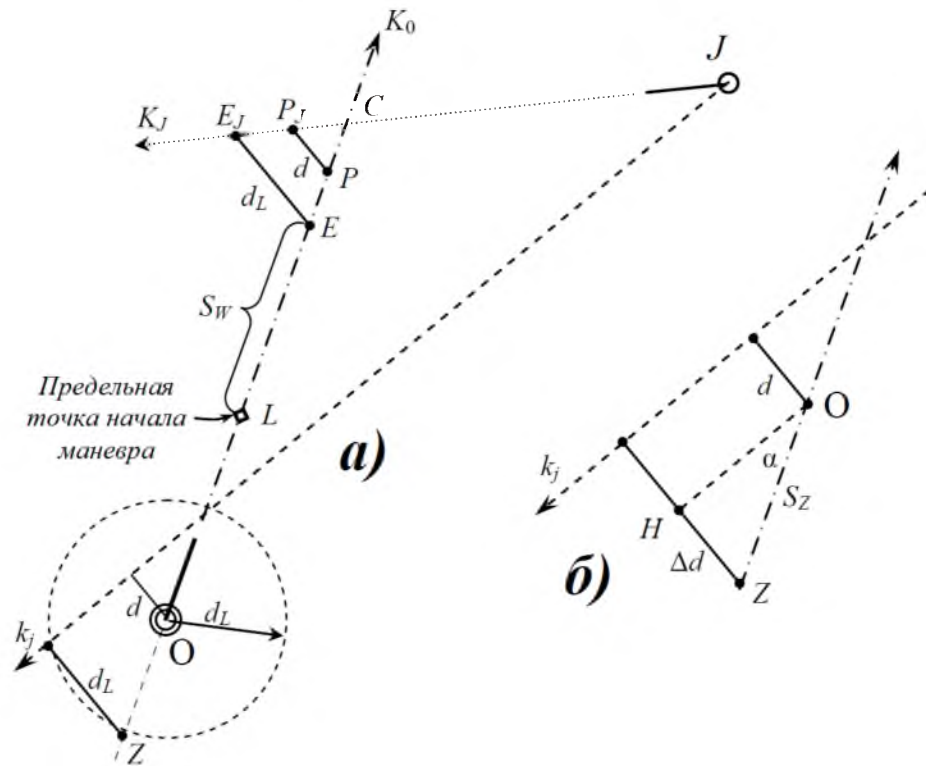


Рис. 1. К выбору W-маневра для расхождения с одной «целью»

Если не предпринимать никаких действий, то в момент кратчайшего сближения OS будет в точке P, а «цель» - в точке P_J. Если бы OS, двигаясь по этой линии пути с той же скоростью, запаздывало бы на время τ_Z , при котором CPA было бы равно d_L , то в момент кратчайшего сближения OS и «цель» находились бы соответственно в точках E, E_J. Отсюда можно сделать вывод – чтобы разойтись с «целью» на дистанции d_L с помощью W-маневра, он должен привести к запаздыванию от графика движения на величину τ_Z и заканчиваться не позже момента прихода OS в точку E. Значение τ_Z определяется по расстояние S_Z , находимому из прямоугольного ΔHOZ (см. рис. 1, б), в котором известна сторона HZ и угол $\alpha = k_j - K_0 \pm 180^\circ$

$$S_Z = \Delta d / \sin \alpha; \quad \tau_Z = S_Z / V_0. \quad (5)$$

Затем по выбранным значениям F_{FT} , F_{FP} рассчитываются параметры торможения и разгона S_T , τ_T , S_P , τ_P . После этого поиск W-маневра, приводящего к запаздыванию S_Z , сводится к определению времени τ_M движения пониженной скоростью. Чтобы произошло такое запаздывание, должно выполняться условие:

$$V_0(\tau_T + \tau_P + \tau_M) = S_T + S_P + V_M \tau_M + S_Z. \quad (6)$$

Отсюда получаем искомое время τ_M и проходимое за это время расстояние S_M

$$\tau_M = \frac{S_T + S_P + S_Z - V_0(\tau_T + \tau_P)}{V_0 - V_M}; \quad S_M = V_M \tau_M. \quad (7)$$

Весь W-маневр займет время τ_W , за которое OS пройдет расстояние S_W

$$\tau_W = \tau_T + \tau_M + \tau_P; \quad S_W = S_T + S_M + S_P. \quad (8)$$

Если это расстояние отложить от точки E по направлению к OS , получим предельную точку L начала W-маневра (см. рис. 1,а), при котором расхождение безопасно и отклонение по времени от плана движения τ_Z минимально. Найденный W-маневр обеспечивает расхождение с «целью» J на дистанции d_L при начале его в любой точке отрезка OL .

Выбор W-маневра при нескольких «целях». При наличии в районе расхождения с наиболее опасным судном других судов выбираемый W-маневр не должен приводить к чрезмерному сближению с ними. Такой маневр может быть выбран в режиме диалога с электронной системой предупреждения столкновений, если обеспечить ей возможность осуществлять прогноз маневра с задаваемой точкой его начала и величиной отрезка S_M , с отображением на экране для прогнозируемого движения меток точек кратчайшего сближения (ТКС) «целей» с OS, по которым можно судить об опасности чрезмерного сближения с «целями» при маневре и после его окончания [1]. Соответствующие участкам изменения хода метки ТКС находятся с использованием массивов данных этих процессов (см. табл. 1, 2). Точка начала W-маневра (обозначим ее A) может указываться на экране курсором на линии будущего пути судна, а увеличение/уменьшение S_M производится нажатием правой/левой клавиши манипулятора либо другим образом. В случае отсутствия опасности столкновения в процессе маневра с таким началом и S_M (ни одна из меток ТКС «целей» не пересекает линию пути OS) план маневра принимается для реализации. Если же будет чрезмерное сближение с какой-нибудь «целью», то путем смещения точки A и/или изменения S_M подбирается вариант, при котором ни одна из меток ТКС «целей» не пересечет линию пути OS. Если такого варианта нет при принятой величине изменения хода, то он ищется при другом значении ΔV .

Для проверки предложенного метода нами в среде Delphi 5 была составлена специальная программа. Проведенные по ней расчеты подтвердили работоспособность и эффективность этого метода. Один из примеров выбора W-маневра характеризуется ниже. Ситуация сближения судов представлена на рис. 2, где OS присвоен номер 0, а «целям» - 1, 2, 3.

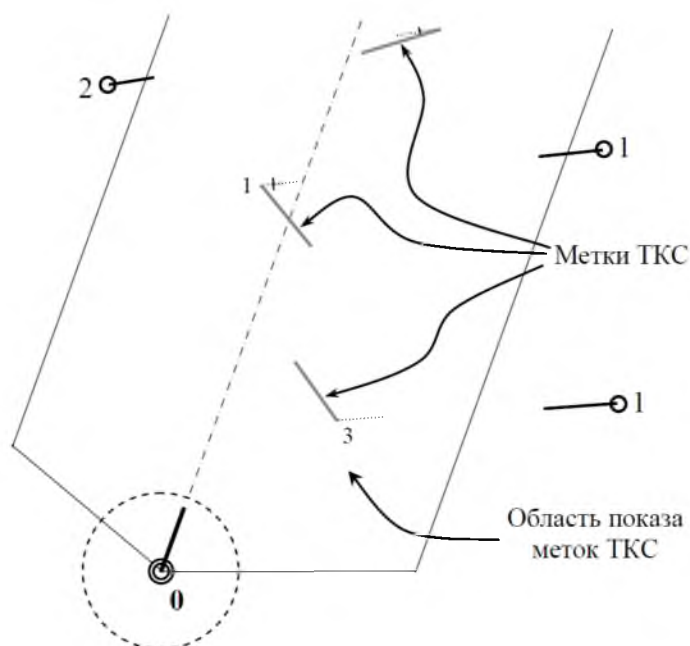


Рис. 2. Ситуация сближения судов с отображенными метками ТКС

Параметры взаимного расположения и сближения этих судов имеют следующие значения

$$K_0=20^0; V_0=18.8 \text{ узл.}; V_M=12.5 \text{ узл.};$$

$$K_1=264^0; V_1=17.3 \text{ узл.}; \Pi_1=46^0; D_1=78.0 \text{ кб}; d_1=5.6 \text{ кб}; T_1=15.2 \text{ мин};$$

$$K_2=80^0; V_2=11.5 \text{ узл.}; \Pi_2=354^0; D_2=62.3 \text{ кб}; d_2=12.1 \text{ кб}; T_2=22.4 \text{ мин};$$

$$K_3=266^0; V_3=19.4 \text{ узл.}; \Pi_3=70^0; D_3=73.0 \text{ кб}; d_3=19.9 \text{ кб}; T_3=13.1 \text{ мин};$$

В этом списке:

- K_0, V_0, V_M – курс, исходная и выбранная для расхождения скорость ОС;
- $K_J, V_J, \Pi_J, D_J, d_J, T_J$ – курс, скорость, пеленг, дистанция, расстояние и время кратчайшего сближения «цели» J ($J=1, 2, 3$).

Пределы безопасных значений расстояний и времени кратчайшего сближения приняты равными $d_L=10$ кб; $T_L=16$ мин. Опасной является «цель» 1, так как ее метка ТКС пересекает линию пути ОС.

При расчете расхождения с опасным судном получили:

$$\Delta d=4.4 \text{ кб}; S_Z=8,54 \text{ кб}; \tau_Z=2,7 \text{ мин};$$

$$\tau_T=1.2 \text{ мин}; S_T=3.0 \text{ кб}; \tau_P=1.5 \text{ мин}; S_P=3.8 \text{ кб};$$

$$\tau_M=6.6 \text{ мин}; S_M=13.7 \text{ кб}; \tau_W=9.3 \text{ мин}; S_W=20,5 \text{ кб};$$

На рис. 3 характеризуется отображение информации при указании курсором одного из положений точки A и немного увеличенным τ_W . Метки ТКС показывают, что такой W -маневр обеспечит расхождение с опасной «целью» 1, не вызывая чрезмерного сближения с «целями» 2 и 3.

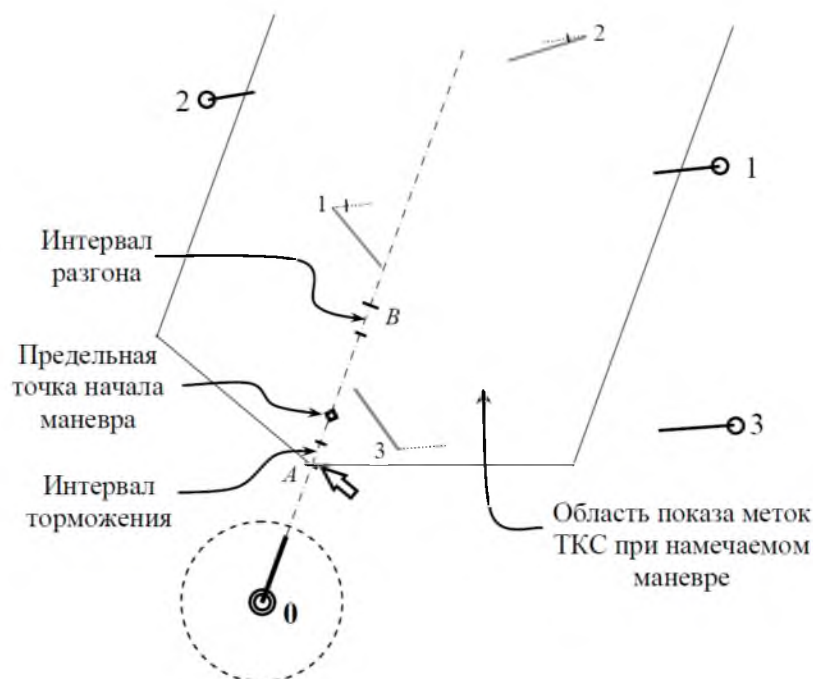


Рис. 3. Планирование маневра с помощью курсора

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению

Представленный метод облегчает выбор W-маневра при расхождении с несколькими судами, при котором отклонение по времени от плана движения минимально. Этот выбор производится с учетом динамики судна, что способствует повышению точности выбираемого маневра и улучшению оценки результатов его выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами /Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2010. – 296с.
2. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е. Е. Тюпиков, И. И. Ворохобин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
3. Управление судном / С. И. Демин, Е. И. Жуков, Н. А. Кубачев и др.: Под ред. В. И. Снопкова.: Учебник для вузов. – М.: Транспорт. 1991. – 359 с.
4. Шарлай Г. Н. Управление морским судном /Г. Н. Шарлай – Владивосток: «Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского», - 2011. – 543 с.