

УДК 656.614.3.073.44: 656.61.052.74-48.34

**OPTIMIZATION OF HIGH TONNAGE VESSEL ANCHORAGE  
BY INVERSE METHOD****ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ НА ЯКОРЬ КРУПНО ТОН-  
НАЖНОГО СУДНА С ПОМОЩЬЮ ИНВЕРСНОГО МЕТОДА****A.A. Derevyanko, captain, assistant****A.A. Деревянко, к.д.п., ассистент***Odessa National Maritime Academy, Ukraine**Одесская Национальная Морская Академия, Украина***ABSTRACT**

The article adduces the optimization ways of anchorage operations for high tonnage vessels by inverse method. The navigator's algorithm for maneuvering and anchoring prediction, proceeding with navigational situation and peripheral circumstances has been obtained. Based on analytical calculations graphical trajectory for movement from designated anchorage position till moment of commencing maneuvering and slowing down has been drawn. Significantly increasing safety for high tonnage vessels anchorage operations and facilitating navigators' work proceeding heavy traffic area to approach position and anchoring method has been proposed.

**Keywords:** optimization, high tonnage vessel, anchorage, inverse method, navigator's algorithm, anchoring prediction, movement analytic calculations, graphical trajectory, designated anchorage position, anchoring method.

**Постановка проблеми в об'ємному виді її зв'язь з важливими науковими і  
лі практичними задачами**

Развитие судоходства и регулирования движения в прибрежных водах привело к тому, что якорные стоянки ограничены определенными координатами и местами. На небольших стоянках сосредоточено от нескольких до плотного сосредоточения судов. Службы регулирования и контроля движения портов зачастую дают лишь приблизительные позиции для постановки на якорь. Безопасную стоянку должен выбрать капитан судна самостоятельно исходя из местных требований и фактической ситуации в месте якорной стоянки. Оценку фактической ситуации можно произвести только при приближении к якорной стоянке на дистанцию определения радаром. Так же по мере приближения к месту постановки на якорь ситуация постоянно изменяется из-за того что одни суда покидают якорную стоянку, другие подходят к якорной стоянке, меняется ветер или течение и суда разворачиваются на якоре, также возможен промысел рыбы в местах якорных стоянок или суда обеспечения маневрируют на якорных стоянках. Ограниченность водного пространства, большая сосредоточенность судов, а также габариты и технические характеристики крупнотоннажных судов

требуют точного расчета с выходом в точку стоянки и остановки в заданном месте и не дают права на ошибку. Соотношение водоизмещения к максимальным держащим усилиям брашпиля требуют минимальной скорости судна (насколько возможной близкой к нулю) в момент отдачи якоря. Ошибки в маневрировании по постановке на якорь опасны потерей якорей, а также навалам и столкновениям с другими судами. Поэтому исследование маневрирования крупнотоннажных судов (VLCC) является актуальным.

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

В работе [1] рассмотрена методика планирования заданной траектории движения инверсным методом.

В работе [2] рассмотрен аналитический способ построения траектории движения инверсным методом.

В работе [3] рассмотрены вопросы планирования безопасной якорной стоянки.

Однако в указанных работах не рассмотрены особенности постановки на якорь судов VLCC, которая обладает целым рядом особенностей, поэтому является актуальной.

### **Формулирование целей статьи (постановка задачи)**

Необходимо получить алгоритм работы судоводителя при решении задачи планирования траектории маневрирования и постановки на якорь крупнотоннажного судна инверсным методом, исходя из навигационной обстановки на месте стоянки. Кроме того необходимо учитывать влияние внешних условий для планирования движения.

### **Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов**

Весь процесс постановки на якорь разбивается на этапы:

- приближение к стоянке, позиционирование на месте и прицеливание;
- маневрирование и при необходимости циркуляция;
- торможение;
- отдача якоря и выравнивание;
- выход на якорь с окончательным подтверждением правильности выбора места стоянки.

Первый этап «приближение к стоянке, позиционирование на месте и прицеливание». Он состоит из следующих составляющих:

- снижение хода с полного до безопасного маневренного;
- сбор информации о судах на стоянке и вблизи;
- фактическая навигационная и гидрометеорологическая обстановка;

- выбор конкретного места постановки на якорь;
- а также предварительное планирование всей операции постановки на якорь.

Второй этап «маневрирование и при необходимости циркуляция». Он включает:

- само маневрирование по выходу к месту выбранной стоянки;
- выравнивание судна максимально приближенное к позиции судна после выхода на якорь цепь, с учетом того, что скорость к окончанию второго этапа должна быть достаточной для удержания судна в заданной позиции, но и не высокой для того, что бы судно было вовремя остановлено в пределах ограниченного пространства.

Третий этап «торможение» включает в себя торможение с окончанием в заданной точке постановки и учетом следующих факторов:

- тенденция смещения и разворачивания судна в результате торможения;
- определение позиции судна с навигационного мостика, а точка отдачи якоря значительно не совпадает с этой точкой. У крупнотоннажных судов это несовпадение составляет 260 – 300 метров и более;
- ближайшее судно от точки отдачи якоря должно быть на большем расстоянии чем суммарное расстояние: максимальная длина вытравленной цепи плюс максимальная длина судна плюс минимальная безопасная дистанция не менее 0.5 кбт. Если условия якорной стоянки позволяют, то предпочтительно иметь удвоенное выше упомянутое расстояние, так иногда наблюдается разворачивание судов на якорю в противоположные стороны. Но, нужно отметить, что на практике якорные стоянки переполнены и не удается иметь удвоенное расстояние.

Четвертый этап «отдача якоря и выравнивание» включает саму отдачу якоря и по необходимости выравнивание судна, контроль положения судна в правильной позиции до момента окончания вытравливания якоря.

Последний заключительный этап «выход на якорь цепь» включает в себя выход судна на якорь цепь и окончательный контроль, что место выбранной стоянки выбрано правильно и безопасно.

Инверсный метод предусматривает, что планирование производится от обратного. Изначально выбирается точка якорной стоянки, а затем в эту точку выстраивается графическая траектория движения и торможения. Эта траектория всегда основанная на аналитических расчетах, с учетом необходимых глубин и их изменение из-за приливов-отливов, гидрометеорологических факторов (ветер, течение, приливо-отливные течения и так далее), площадь парусности судна и влияние на дрейф, а также других ограничений, объективно или субъективно влияющих на маневрирование судна.

Для правильного выбора точки якорной стоянки необходимо рассчитать радиус безопасной якорной стоянки  $R$  [3]:

$$R = \sqrt{l_{min}^2 - h_k^2} + \alpha_{пр} + L + \Delta R, \quad (1)$$

где  $l_{min}$  – минимальная длина якорь-цепи, необходимая для полного использования держащей силы якоря;  $h_k$  – высота клюза над грунтом;  $\alpha_{пр}$  – минимальный участок якорь-цепи, лежащий на грунте;  $L$  – максимальная длина судна;  $\Delta R$  – запас радиуса якорной стоянки.

$\Delta R$  рекомендуется принимать не менее 20% от  $\sqrt{l_{min}^2 - h_k^2} + \alpha_{пр} + L$ .

Для обеспечения безопасной якорной стоянки необходимо, чтобы держащая сила якорного устройства  $T_d$  была бы больше, чем суммарная сила воздействия внешних сил. К таким силам относятся: сила давления ветра  $P_B$ ; сила давления течения  $P_T$ ; сила давления волнения  $P_{волн}$ ; инерционные силы  $P_{ин}$ .

$$T_d = \mu * G * k + \alpha_{пр} * q * f, \quad (2)$$

где  $G$  – вес якоря;  $k$  – коэффициент держащей силы якоря, зависящий от его конструкции и характера грунта. Для якорей Холла на илисто-песчаных грунтах  $k = 1.5 - 3.0$ ;  $q$  – вес одного погонного метра якорь-цепи;  $f$  – коэффициент трения цепи о грунт, для илисто-песчаных грунтов  $f = 0.1 - 0.38$ ;  $\mu$  – коэффициент потери якоря и якорь-цепи в морской воде, который определяется соотношением удельных весов морской воды и стали по формуле:

$$\mu = 1 - \gamma_{мв} / \gamma_{ст} = 1 - \frac{1025}{7750} = 0.87, \quad (3)$$

Суммарное воздействие внешних сил на судно, стоящее на якорю, можно определить по формуле:

$$P_{вс} = P_B + P_T + P_{волн} + P_{ин}, \quad (4)$$

Сила давления ветра  $P_B$  зависит от скорости и направления ветра, площади парусности надводной части корпуса судна и рассчитывается по формуле:

$$P_B = C_B * \frac{\rho_{воз}}{2} * (S_H * \sin q_w + S_{ЛОБ} * \cos q_w) * W_{эф}^2 * 10^{-3} \text{ кН}, \quad (5)$$

где  $C_B$  – безразмерный коэффициент воздушного сопротивления, лежит в пределах от 0.6 до 1.0;  $\rho_{воз} = 1.25 \text{ кг/м}^3$  – массовая плотность воздуха;  $W_{эф}$  – эффективная скорость ветра, принимаемая равной удвоенному значению средней скорости ветра, что позволяет учесть увеличение скорости при шквалах, т.е.  $W_{эф} = 2 * V_{ср}$ ;  $q_w$  – курсовой угол ветра;  $P_T$  – сила давления, учитывающая воздействие течения на корпус судна, зависит от площади смоченной поверхности и скорости течения. Рассчитывается по формуле:

$$P_T = 1.5 * \Omega * V_T^2 * 10^{-3} \text{ кН}, \quad (6)$$

где  $\Omega$  – площадь смоченной поверхности корпуса судна в  $\text{м}^2$ .

Величину площади смоченной поверхности можно рассчитать по формуле:

$$\Omega = D^{2/3} * \left( 4.854 + 0.492 * \frac{B}{T_{cp}} \right) \text{ м}^2, \quad (7)$$

Расчеты сил давления волн и инерционных сил весьма трудоемки и для практических расчётов достаточно принять их равными 20% от  $(P_B + P_T)$ . Полная сила от действия внешних сил выражается уравнением:

$$P_{bc} = 1.2 * (P_B + P_T), \quad (8)$$

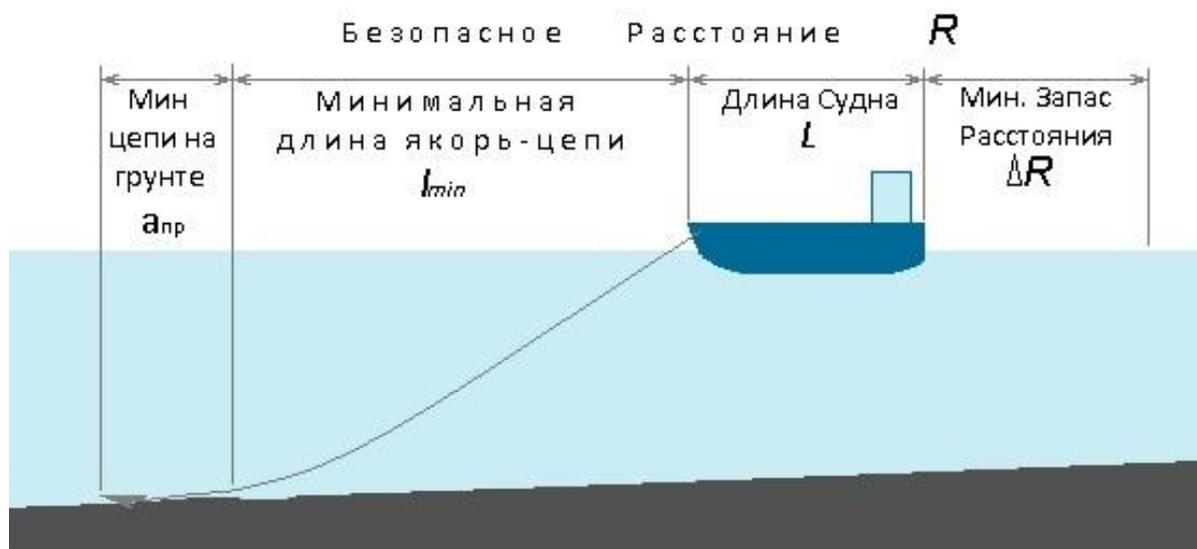


Рис. 1 Безопасное расстояние

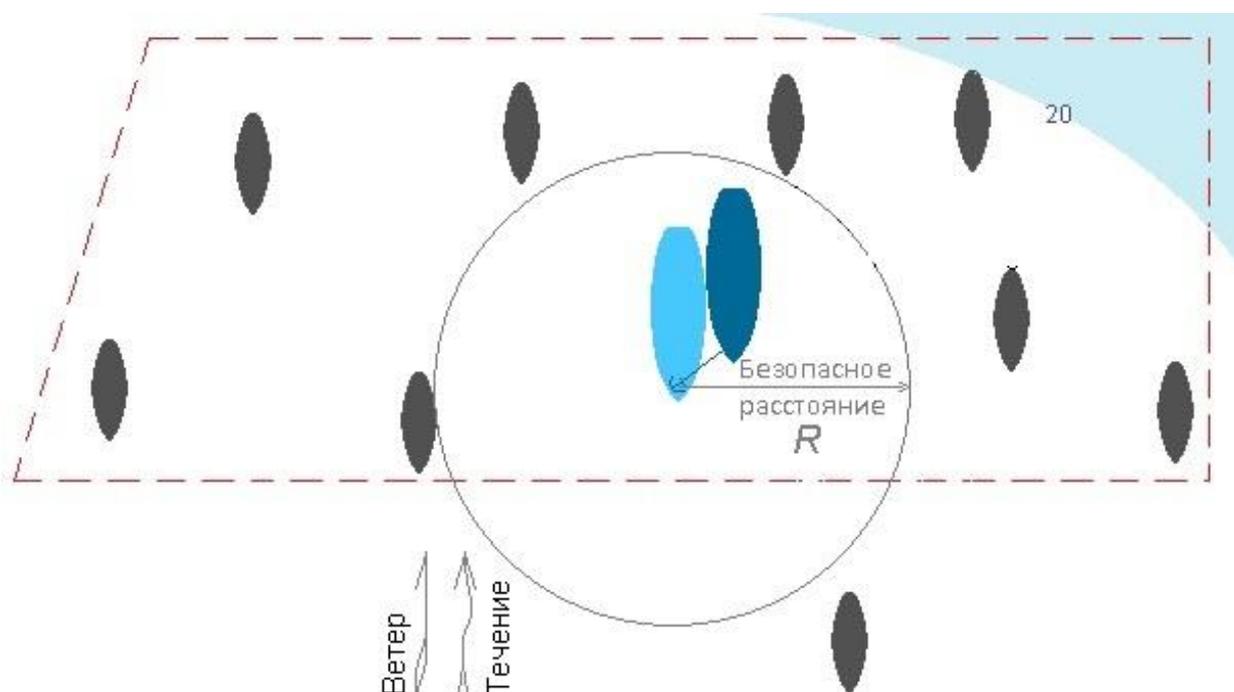


Рис. 2 Безопасный радиус якорной стоянки

При превышении  $P_{bc}$  держащей силы якоря, якорь может ползти. При разнице не более 20 % безопасную якорную стоянку можно обеспечить за счет вытравливания дополнительной цепи на длину  $\alpha_{пр}$ , которая ляжет на грунт и уве-

личит держащую силу якоря. Минимальное ее значение рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{P_{BC} - \mu * G * k}{\mu * q * f}, \quad (9)$$

Минимальная длина якорь-цепи рассчитывается по следующей формуле:

$$l_{\text{min}} = \sqrt{h_k^2 + \frac{2 * h_k * P_{BC}}{\mu * q}}, \quad (10)$$

где  $h_k$  – высота клюза над грунтом;  $P_{BC}$  – суммарная сила воздействия внешней среды;  $q$  – вес погонного метра якорь-цепи;

Общая длина якорь-цепи определяется по формуле:

$$l = l_{\text{min}} + \alpha_{\text{пр}}, \quad (11)$$

Таким образом мы можем получить искомый безопасный радиус якорной стоянки и получить первый этап нашей траектории с точкой отдачи якоря и безопасной дистанцией до других судов.

Следующим этапом построения траектории является расчет радиуса циркуляции, время и тормозной путь с помощью активного торможения с Малого Вперед до Малого Назад. Данная информация представлена на Навигационном Мостике каждого судна в Таблице Маневренных Элементов Судна и определенная в результате построечных испытаний. Тем не менее данная информация пригодна для приблизительных расчетов и может отличаться от фактических данных из-за влияния мелководья, загрузки судна отличной от загрузки в момент испытаний, влияния гидрометеорологических факторов и других факторов оказывающих влияние на инерционно тормозные и маневренные качества судна.

В связанной с судном системе координат, общепринятая система дифференциальных уравнений, описывающая движение судно в горизонтальной плоскости имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} (m + \lambda_{11}) * \frac{dv_x}{dt} + (m + \lambda_{22}) * V_y * \omega \pm R_{ax} \pm R_{px} \pm R_{Гx} \pm P_e &= 0 \\ (m + \lambda_{22}) * \frac{dv_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) * V_x * \omega \pm R_{ax} \pm R_{px} \pm R_{Гx} - P_e &= 0 \\ (m + \lambda_{66}) * \frac{d\omega}{dt} + (\lambda_{11} - \lambda_{22}) * V_x * V_y \pm M_{Г} \pm M_p \pm M_a - M_{6c} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где  $P_e$  – сила упора винта;  $R_e$  – боковая сила винта и сила взаимодействия винта и корпуса судна;  $R_{ax}, R_{px}, R_{Гx}$  – продольные составляющие гидродинамической, аэродинамической сил и силы на руле;  $R_{ay}, R_{py}, R_{Гy}$  – поперечные составляющие гидродинамической, аэродинамической сил и силы на ле;  $M_{Г}, M_p, M_a, M_{6c}$  – моменты гидро и аэродинамической сил, боковой силы винта и руля;  $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{66}$  – присоединенная масса по оси X, Y и присоединенный момент инерций;  $V_x, V_y, \omega$  – составляющие линейной и угловой скоростей.

При расчете инерционно-тормозных характеристик используют первое уравнение системы (12), которое при прямолинейном движении записывается

$$m_x * \frac{dV_x}{dt} + K * V_x^2 \pm P_e = 0, \quad (13)$$

где  $m_x$  – масса судна с учетом присоединенной массы по оси X; K – коэффициент сопротивления.

При решении уравнения (13) вводят ряд допущений, которые упрощают расчет пути и времени торможения с сохранением точности, требуемой нормативными документами. Основные из допущений следующие:

1. Присоединенная масса воды по оси X приблизительно равна 10% от массы судна ( $m_x = 1.1 * D$ ) и остается неизменной при маневрировании. Более точно величину присоединенной массы воды можно определить по формуле:

$$\Delta m = 1.18 * \rho * B * T^2, \quad (14)$$

где  $B$  – ширина судна,  $T$  – средняя осадка,  $\rho$  – массовая плотность воды.

2. Зависимость сопротивления воды и воздуха от скорости носит квадратичный характер, а коэффициенты сопротивления воды  $K$  и воздуха  $K_u$  во время маневрирования постоянны.
3. Упор винта в процессе активного торможения изменяется по зависимости, полученной профессором Деминым С.И.:

$$P_e = P_{max} * \left(1 - \frac{V_x^2}{V_H^2}\right), \quad (15)$$

где  $P_{max}$  – значение силы упора винта в момент остановки,  $V_x$  – текущая скорость,  $V_H$  – скорость в момент начала вращения винта на задний ход.

4. При маневрировании новое назначенное число оборотов достигает своего значения в момент подачи команды.

Процесс пассивного торможения описывается дифференциальным уравнением:

$$m_x \frac{dV_x}{dt} + KV_x^2 = 0, \quad (16)$$

Он имеет два периода. Прохождение команды  $t^I$  от момента подачи команды «Стоп» до прекращения подачи топлива на главный двигатель, (и обычно его принимают равным 10 с). Собственно пассивное торможение  $t^{II}$  от начальной скорости  $V_0$  до конечной скорости  $V_k$ , которую принимают равной  $0.2V_0$  или скорости потери управляемости, что наступит раньше.

Решение уравнения (16) относительно пути, времени и скорости позволяет получить следующие выражения. Значения пути I периода равно:

$$S^I = 0.514 V_0 t^I, \quad (17)$$

где  $V_0$  – начальная скорость в узлах;  $t^I$  – время I периода, которое в системах с дистанционным автоматическим управлением составляет около 5 с, в обычных двигателях можно принять равным 10 с.

Значение времени и пути II периода равно:

$$t^{II} = \frac{m}{0.514 * K * V_0} * \left( \frac{V_0}{V} - 1 \right), \quad (18)$$

$$S^{II} = \frac{m}{K} * \ln \left( \frac{V_0}{V} \right), \quad (19)$$

Величину коэффициента общего сопротивления  $K$  можно получить по эмпирическим формулам:

$$K_{\text{расч}} = 5880 + 0.654 * \Omega * \sqrt{\frac{B}{T}}, \quad (20)$$

где  $\Omega$  – площадь смоченной поверхности в  $\text{м}^2$ ;  $B$  – ширина судна в м;  $T$  – средняя осадка в м.

Площадь смоченной поверхности определяется по эмпирической формуле (7).

Значение коэффициента  $K$  можно получить из эксперимента пассивного торможения путем определения времени  $t^{II}$  падения скорости от  $V_0$  до  $V$  по формуле:

$$K_3 = \frac{m}{0.514 * V_0 * t^{II}} * \left( \frac{V_0}{V_k} - 1 \right), \quad (21)$$

Наиболее точным будет определить коэффициент  $K$  из натуральных наблюдений, однако для всех водоизмещений это сделать затруднительно. Поэтому для уменьшения затрат времени и повышение точности расчетного способа используют переходные коэффициенты. При этом для водоизмещения при эксперименте рассчитывают  $K_{\text{расч}}$  и определяют  $K_3$ , тогда переходный коэффициент равен:

$$\gamma_k = \frac{K_3}{K_{\text{расч}}}, \quad (22)$$

Время и путь пассивного торможения равны:

$$t_{nm} = t^I + t^{II}, \quad (23)$$

$$S_{nm} = S^I + S^{II}, \quad (24)$$

Процесс активного торможения описывается дифференциальным уравнением:

$$m_x \frac{dV_x}{dt} + KV_x^2 + P_e = 0, \quad (25)$$

Обозначим коэффициент активности торможения

$$a = P_{\text{max}} / kV_H^2, \quad (26)$$

и с учетом характера изменения силы упора винта в процессе активного торможения, описываемое формулой (14) уравнения (23) и (24) можно привести к виду удобному для интегрирования:

$$\frac{m_x}{kV_H^2} \frac{dV_x}{dt} + \frac{1-a}{V_H^2} * V_x^2 + a = 0, \quad (27)$$

Вид решения уравнения (27) зависит от значения коэффициента  $a$ . Изменяющаяся по закону  $P_e = P_{max} \left(1 - \frac{V_x^2}{V_H^2}\right)$  сила упора винта вместе с силой сопротивления  $R_x = kV_x^2$  может давать суммарную тормозящую силу как возрастающую при  $a > 1$ , так и снижающуюся при  $a < 1$ . При его значении равном нулю уравнение (27) приводится к уравнению (15) с соответствующим решением (18) и (19).

Значение максимальной силы упора винта можно получить расчетным путем, а также определить из натуральных наблюдений. Расчетный способ получения  $P_{max}^{расч} = P_{шв} * C_{yy}$  заключается в определении силы упора изолированного винта (на швартовых)  $P_{шв}$  (без учета влияния корпуса на работу винта) и коэффициента, учитывающего взаимодействие корпуса и винта, получившего название коэффициента усиления упора  $C_{yy}$ . Он зависит от соотношения между площадью диска винта и площадью погруженной части мидель-шпангоута. Для расчёта  $P_{шв}$  применяют следующую формулу:

$$P_{шв} = K_p * \rho * n^2 * D_B^4, \quad (28)$$

где  $K_p$  – коэффициент упора винта на швартовых;  $\rho$  – плотность воды в кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения винта в об/с;  $D_B$  – диаметр винта в м.

Коэффициент упора винта на швартовых определяется по следующей формуле:

$$K_p = \sqrt[3]{\theta * Z} * \left\{ 0.225 * \sin^2 \left( \frac{H}{D_B} \right) + 0.098 * \sin \left( \frac{H}{D_B} \right) \right\}, \quad (29)$$

где  $\theta$  – дисковое отношение винта;  $H$  – шаг винта в м;  $\frac{H}{D_B}$  – шаговое отношение;  $Z$  – число лопастей винта.

Коэффициент усиления упора винта  $c_{yy}$  определяется по следующей формуле:

$$c_{yy} = 0.508 + 0.106 \frac{S_{\otimes}}{A_d}, \quad (30)$$

где  $S_{\otimes}$  – площадь погруженной части мидель-шпангоута в м<sup>2</sup>;  $A_d$  – площадь диска винта равная  $\pi * D_B^2 / 4$ .

Значение  $S_{\otimes}$  рассчитывают по формуле:

$$S_{\otimes} = B * T_{ср} * \beta_{\otimes}, \quad (31)$$

где  $\beta_{\otimes}$  – коэффициент полноты мидель-шпангоута.

Экспериментально силу упора винта определяют следующим образом. В момент начала вращения винта на задний ход замечают начальную скорость активного торможения  $V_H$ , руль ставят прямо, записывают частоту вращения винта. В момент остановки судна останавливают секундомер и получают  $t^{III}$ . После этого методом последовательных приближений по формулам (33), (35) или (37) подбирают значение  $a$  и рассчитывают экспериментальное значение силы упора винта по формуле:

$$P_{max}^3 = \alpha_3 * K_3 * (0.514 * V_H)^2, \quad (32)$$

Для этого же состояния судна при тех же параметрах движения производят расчет  $P_{max}^{расч}$  по формулам (28), (30), (31) и определяют значение коэффициента для уточнения расчетного значения  $P_{max}$  для состояний судна отличных от их величин при эксперименте по формуле:

$$\gamma_p = \frac{P_{max}^э}{P_{max}^{расч}}, \quad (33)$$

При коэффициенте  $\alpha = 1$  решение уравнения (27) будет иметь вид

$$t^{III} = \frac{m_x}{kV_H} (1 - V_x/V_H), \quad (34)$$

$$S^{III} = \frac{m_x}{2k} (1 - V_x^2/V_H^2), \quad (35)$$

При коэффициенте  $\alpha < 1$  решение уравнения (27) с учетом обозначения  $A_K = \sqrt{\frac{1}{\alpha} - 1}$ , будет иметь вид

$$t^{III} = \frac{m_x}{k \cdot \alpha \cdot V_H \cdot A_K} (\arctg(A_K) - \arctg(V_x A_K/V_H)), \quad (36)$$

$$S^{III} = \frac{m_x}{2 \cdot (1-\alpha)k} \ln \left( \frac{1}{(1-\alpha) \frac{V_x^2}{V_H^2} + \alpha} \right), \quad (37)$$

При коэффициенте  $\alpha > 1$  решение уравнения (27) с учетом обозначения  $B_K = \sqrt{1 - \frac{1}{\alpha}}$ , будет иметь вид

$$t^{III} = \frac{m_x}{2 \cdot k \cdot \alpha \cdot V_H \cdot B_K} \ln \frac{(1+B_K) \left[ 1 - \frac{V_x B_K}{V_H} \right]}{(1-B_K) \left[ 1 + \frac{V_x B_K}{V_H} \right]}, \quad (38)$$

$$S^{III} = \frac{m_x}{2 \cdot (1-\alpha)k} \ln \left( \frac{1}{(1-\alpha) \frac{V_x^2}{V_H^2} + \alpha} \right), \quad (39)$$

Полное время и путь в полном цикле активного торможения:

$$t_{ат} = t^I + t^{II} + t^{III}, \quad (40)$$

$$S_{ат} = S^I + S^{II} + S^{III}, \quad (41)$$

Таким образом мы рассчитываем время, расстояние и следовательно точку после которой судно снижает скорость с расчетом точно выйти в заданную позицию якорной стоянки.

Следующим этапом является этап приближение к стоянке, позиционирование на месте и прицеливание. Этот этап четко ограничен только точкой окончания этапа и началом торможения. Начало же этапа зависит от многих факторов, например таких как насколько интенсивное судоходство в районе якорной стоянки, насколько четко и на каком расстоянии можно получить полную навигационную обстановку в районе якорной стоянки и других факторов. Если же времени для получения полной навигационной информации и принятия реше-

ния недостаточно, можно снизить скорость, продолжить маневрировать на безопасном расстоянии от якорной стоянки для более полной оценки ситуации, а затем только переходить к следующему этапу.

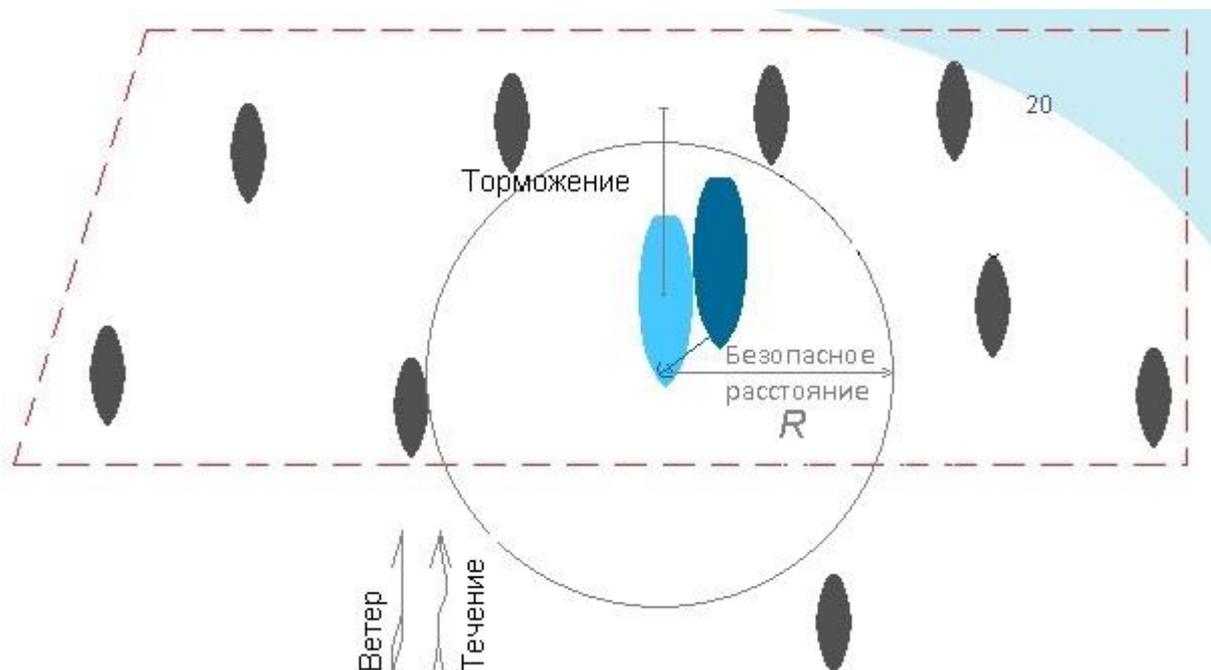


Рис. 3 Построение позиции начала торможения с выходом в точку отдачи якоря

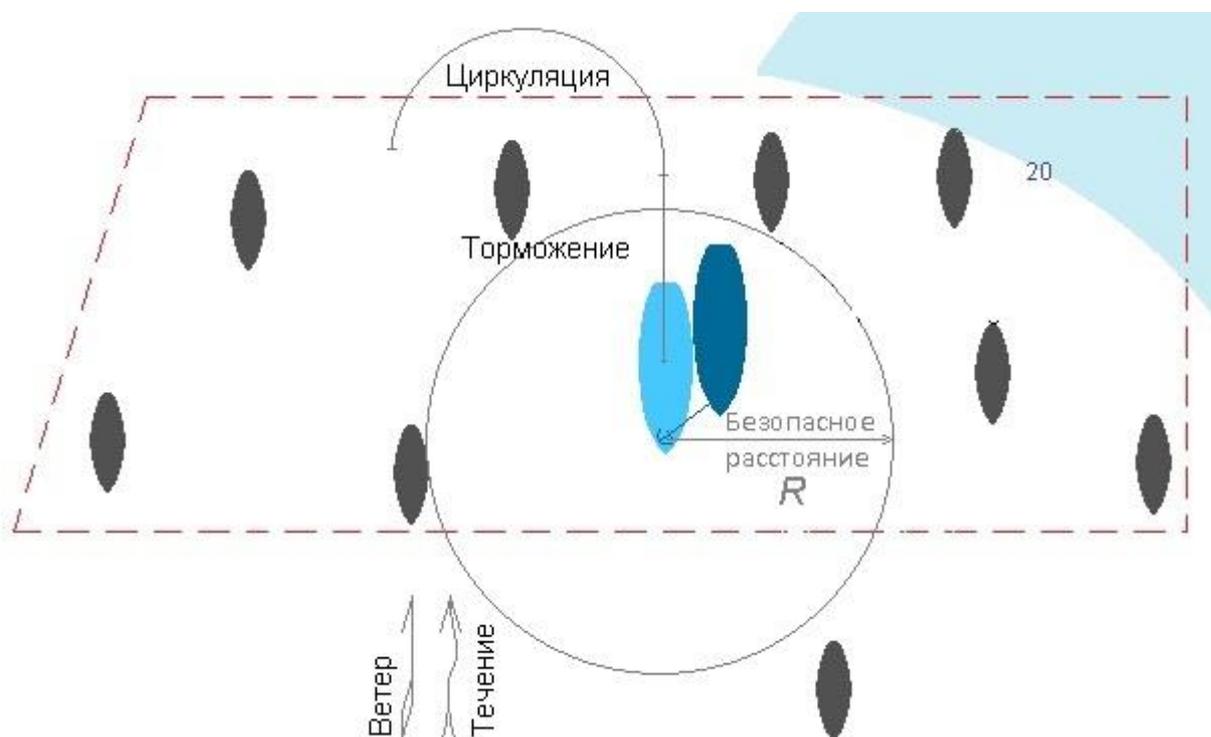


Рис. 4 Циркуляция

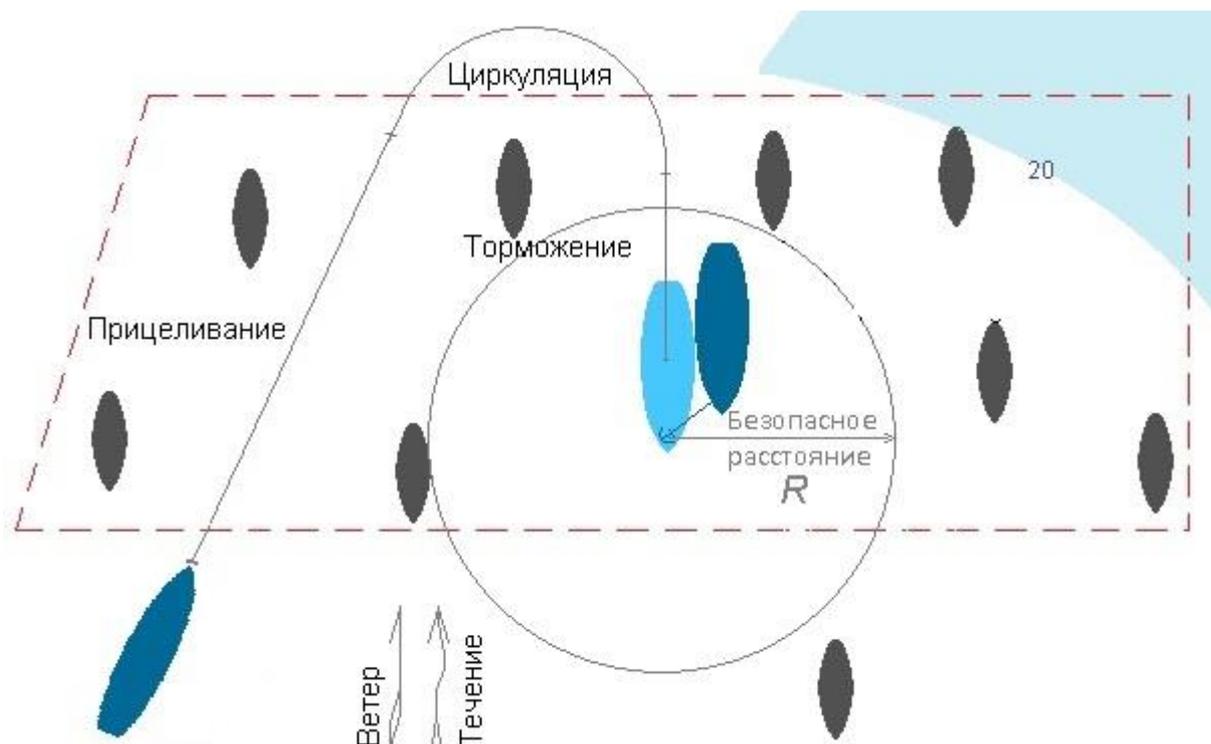


Рис. 5 Приближение к стоянке, позиционирование на месте и прицеливание

### Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В результате инверсного метода получен алгоритм работы судоводителя и графическая траектория движения от заданной точки якорной стоянки до момента начала маневрирования и торможения, основанная на аналитических вычислениях. Таким образом, данный метод значительно повышает безопасность якорных операций, что особенно актуально для крупнотоннажных судов и облегчает работу штурманов по выходу в точку стоянки, а также постановке на якорь в районах большой скученности судов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Инверсный метод планирования траектории движения объектов управления / А. С. Мальцев // ОНМА. Судовождение : сб. науч. тр. – Одесса, 2007. – Вып. 13. – С. 124 – 130.
2. Мальцев А. С. Аналитический метод построения траектории маневрирования инверсным способом / А. С. Мальцев, Н. В. Ивановский // ОНМА. Судовождение. – Одесса, 2009. – Вып. 16. – С. 77-82.
3. Бондарь В. В. Метод оценки и регулирования безопасности якорной стоянки судна при действии ветра, волнения и течения / В. В. Бондарь // ОНМА. Судовождение. – Одесса, 2008. - Вып. 15. – С. 11-19.
4. Бурлаков Е. Ф. Якорная стоянка судов на открытых рейдах / Е. Ф. Бурлаков, М. Н. Либензон, М. Н. Письменный. - М. : Транспорт, 1968. – 135 с.
5. Дубинин А. И. Якорная стоянка морских судов / А. И. Дубинин. - М. : Морской транспорт, 1955. - 132 с.

6. Шанько Б. Д. Вопросы якорной стоянки / Б. Д. Шанько. - М. : Морской транспорт, 1957. - 212 с.
7. Павленко Л. В. Якорные операции крупнотоннажных судов / Л. В. Павленко // ОНМУ. Вестник ОНМУ. – Одесса, 2002. - Вып. 10. - С. 59-71.
8. Управление судном: учебник / Демин С. И. [и др.]. - М. : Транспорт, 1991. – 359 с.
9. Генри Х. Хойер. Управление судами при маневрировании / Генри Х. Хойер. – М. : Транспорт, 1992. – 101 с.