

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....</b>	<b>4</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОНТРОЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Задачи контроля движения судна по линии заданного пути навигационными параметрами.....	7
1.2. Элементы контрольных навигационных параметров.....	13
1.3. Методы параллельной индексации .....	17
1.4. Анализ погрешностей навигационных параметров и параллельного индекса .....	20
<b>2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ СУДНА.....</b>	<b>24</b>
<b>3. КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПО ИЗОЛИНИЯМ ДИСТАНЦИЙ.....</b>	<b>28</b>
3.1. Ведущая изолиния дистанции.....	28
3.2. Ограждение опасностей изолиниями дистанций .....	37
3.3. Контроль выхода судна в начало поворота изолиниями дистанций .....	39
<b>4. КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПРЯМЫМИ И ОБРАТНЫМИ ПЕЛЕНГАМИ .....</b>	<b>43</b>
4.1. Ведущая изолиния пеленга .....	43
4.2. Ограждение опасностей изолиниями пеленга.....	45
4.3. Контроль выхода судна в начало поворота изолинией пеленга.....	47
<b>5. КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ СУДНА МЕТОДАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНДЕКСИРОВАНИЯ .....</b>	<b>52</b>
5.1. Методы и принципы использования параллельного индекса .....	52
5.2. Ведущий параллельный индекс .....	54
5.3. Ограждающий параллельный индекс .....	57
5.4. Контрольный параллельный индекс .....	59
<b>6. ОБОБЩЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПО РАЗЛИЧНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ .....</b>	<b>64</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>66</b>

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВИ	Ведущая изолиния
ВЛП	Ведущая линия положения
ВЭВ	Выносной электронный визир
ГЛОНАСС	Глобальная навигационная спутниковая система (Россия)
ГНСС	Глобальная навигационная спутниковая система
ГПП	Гарантированная полоса проводки
ДП	Диаметральная плоскость судна
И	Изолиния
ИП	Истинный пеленг
КИ	Контрольная изолиния
КЛП	Контрольная линия положения
ЛНП	Линия начала поворота
ЛП	Линия положения
МТ–2000	Мореходные таблицы (МТ–2000)
НО	Навигационная опасность
НП	Навигационный параметр
ОИ	Ограждающая изолиния
ОЛП	Ограждающая линия положения
ОМС	Обсервованное место судна
ОСК	Обсервационное счисление координат
ПИ	Параллельный индекс
ПП	Полюс поворота
ПУ	Путевой угол
ПТ	Программная трактория
РЛС	Радиолокационная станция
САРП	Система автоматической радиолокационной прокладки
СКП	Средняя квадратическая погрешность
СКС	Счисление координат судна
СМС	Счислимое место судна
ТКП	Точка конца поворота
ТНП	Точка начала поворота
ЦТ	Центр тяжести
ЭВ	Электронный визир
COG	<i>Course over ground</i>
ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IMO	<i>International maritime organization</i>
HDG	<i>Heading</i>
MSC	<i>Maritime Safety Committee</i>
NLT	<i>Not less than</i> (не менее)
NMT	<i>Not more than</i> (не более)
NP	<i>Node point</i>
ROT	<i>Rate of turn</i>
SOLAS-74	<i>International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974</i>
STCW-78	<i>International Convention on Standards of Training, Certification and Watch-keeping for Seafarers, 1978</i>
VRM	<i>Variable range marker</i>
WOL	<i>Wheel over line</i>
WOP	<i>Wheel over point</i>
WP	<i>Way point</i>
XTE	<i>Cross track error</i>

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения безопасности мореплавания в соответствии с действующими нормативами IMO (SOLAS-74, STCW-78, A.893(21)) должно осуществляться заблаговременное планирование маршрута в виде навигационной прокладки пути и текущий контроль движения судна, что подтверждается многочисленными учебными и научными изданиями [1–29]. При этом вдоль запланированной программной траектории (ПТ) должны учитываться все известные морские навигационные опасности (НО) и обеспечиваться достаточное пространство для маневров.

Эти задачи являются важнейшими в современном судовождении. Неудовлетворительный контроль местоположения судна, навигационные ошибки и неверная интерпретация измеренных параметров являются распространенными причинами посадок на мель и касаний грунта.

В соответствии с нормативной терминологией применительно к практике (ГОСТ 23634-83 «Морская навигация и морская гидрография»):

*Судовождение — единый процесс, обеспечивающий безопасное плавание и управление судном для достижения намеченных целей.*

*Морская навигация — наука о выборе пути, определении места и перемещении судна в море с учетом задач, решаемых судном, и влияния внешней среды на направление и скорость судна.*

*Морская навигационная опасность (НО) — препятствие, опасное для плавания судна в море.*

*Навигационная прокладка — графические построения на морской карте при решении навигационных задач судовождения.*

*Под термином «море» понимаются также океан, морские заливы и морские проливы.*

*Навигационные параметры (НП) — совокупность величин, характеризующих место и перемещение судна в заданной системе координат.*

В прибрежном плавании, стесненных водах наиболее распространенным, простым и практичным оперативным способом контроля процесса движения судна относительно ПТ является регулярное измерение навигационных параметров (НП). Значения этих НП, их изолинии и параллельный индекс используются для контроля элементов движения и маневрирования судна по ПТ в качестве ведущих изолиний (ВИ) или линий положения (ВЛП), ограждающих изолиний (ОИ) или линий положения (ОЛП) относительно опасностей и контрольных изолиний (КИ) или линий положения (КЛП), определяющих начало поворота судна (в зарубежных источниках, *blind navigation*) с учетом оценки погрешностей.

Теоретические основы, рекомендации по использованию и оценке полосы, занимаемой судном при движении, применение НП — пеленга и дистанции, как в зарубежных, так и в отечественных источниках хорошо проработаны. Однако в отношении оценки погрешностей при использовании технологии параллельного индексирования существуют некоторые пробелы. Детальная проработка методов и принципов применения НП для практики судовождения позво-

лит разработать алгоритм выбора наилучшего НП при использовании в качестве ВИ, ВЛП, ОИ, ОЛП или КИ, КЛП. При этом необходимо в том числе оценивать полосу, занимаемую судном при движении по ПТ, погрешности при контроле безопасности положения относительно навигационных опасностей, выводе судна в характерные контрольные точки (например, точку начала поворота (ТНП) и т. п.).

Проблемным остается вопрос контроля движения судна по криволинейной траектории. Судоводителю недостаточно знания точных значений координат местоположения судна (бокового смещения относительно ПТ), текущего курса судна, направления и величины вектора скорости относительно грунта. Следует оценивать угловую скорость поворота судна во взаимосвязи со скоростью движения судна относительно грунта по запланированному радиусу кривизны траектории. Некорректным является применение дуги окружности постоянного радиуса в качестве аппроксимации криволинейного участка ПТ из-за невозможности физической реализации процесса поворота реального судна. Поэтому весьма актуально рассмотрение различных комбинаций традиционно автономно измеряемых НП (пеленг и дистанция) навигационных ориентиров для использования в качестве контрольных. Возможности бортовых навигационных комплексов, *ECDIS*, *CAP* по автоматической обработке навигационной информации, сопровождению объектов, прокладке на электронной карте любых аналитических кривых позволяют решить поставленные задачи ограждения НО и районов, которых следует избегать (в зарубежных источниках, *no go area (NGA)*). Это расширяет спектр практического судовождения при выборе судоводителем на борту или управляющему судном дистанционно как методов планирования маршрута, так и контроля движения судна относительно НО, что положительно повлияет на безопасность традиционного и автономного судовождения.

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КОНТРОЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

## 1.1. Задачи контроля движения судна по линии заданного пути навигационными параметрами

Для обеспечения безопасности мореплавания в соответствии с действующими международными нормативами IMO (SOLAS-74, STCW-78, A.893(21), A.999(25)) заблаговременное планирование маршрута в настоящее время является обязательной процедурой, а принимая во внимание перспективы появления судов различного уровня автоматизации, целесообразно использовать понятие «программная траектория» (ПТ). При этом по обе стороны от запланированной ПТ должно обеспечиваться достаточное не симметрично равное водное пространство для безопасного перехода судна в течение всего рейса с учетом маневренных качеств, всех известных навигационных опасностей и условий погоды, выражаемое в виде гарантированной полосы проводки (ГПП), без правовых и иных ограничений. В более широком смысле необходима формализация программной траектории с соответствующей ГПП. Следующей важной задачей безопасности мореплавания является текущий (оперативный) контроль движения и положения судна на ПТ в пределах запланированной ГПП, о чем свидетельствуют многочисленные учебные и научные издания, системы профессиональной подготовки, требования и рекомендации судоходных компаний [1–29].

Неудовлетворительное отношение как к процессу планирования ПТ с ГПП, так и к контролю местоположения судна относительно ПТ, навигационные погрешности и ошибки, неверная интерпретация измеренных параметров являются распространенными причинами посадок судов на мель и касаний грунта [8, 15, 18, 25].

Методы контроля местоположения и движения судна, показывающие характер действий судоводителя или системы управления и необходимые процедуры, предлагается представить в виде структурно-функциональной схемы (рис. 1).

На океанских переходах, в районах открытого моря преимущественным методом контроля процессов движения является определение координат обсервованного места судна (ОМС) на основе информации глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) (*GPS*, ГЛОНАСС). В отличие от этого, в прибрежном плавании, стесненных водах наиболее распространенным, простым и удобным контролем движения судна относительно ПТ является регулярное измерение навигационных параметров (НП) береговых ориентиров, значения которых также должны планироваться заранее совместно с ПТ.

Традиционными НП, измеряемыми для этих целей, особенно при лоцманской проводке, являются пеленги или дистанции до навигационных неподвижных ориентиров или комбинация их совместного использования, известная как технология параллельной индексации (ПИ), технически реализованная в современных судовых радиолокационных станциях (РЛС) [1–5, 8, 9, 14, 15, 19–29].

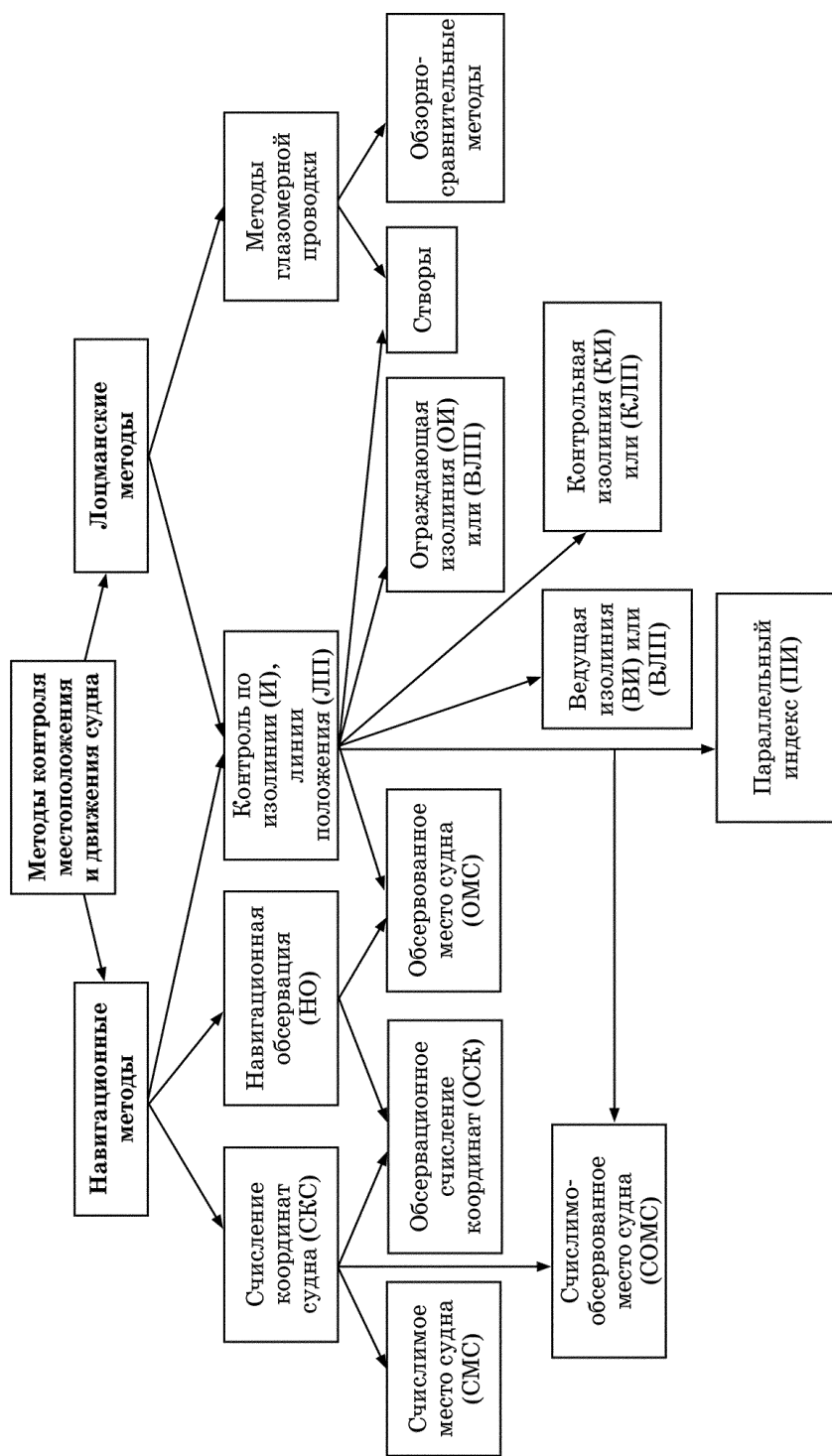


Рис. 1

Методы контроля местоположения и движения судна

Постоянным значениям указанных НП соответствуют изолинии (И) [1–3, 5, 8–10, 14–17, 22], которые вместе с параллельным индексом используются для контроля элементов движения и маневрирования судна по ПТ с ГПП. Ввиду малой кривизны небольшие отрезки изолиний в судовождении заменяются прямыми — линиями положения (ЛП). Они применяются в качестве ведущих изолиний (ВИ) или ЛП (ВЛП) по ПТ, ограждающих изолиний (ОИ) или ЛП (ОЛП) относительно навигационных опасностей и границ ГПП и контрольных изолиний (КИ) или ЛП (КЛП), определяющих необходимые характерные точки движения, в частности точку начала поворота (ТНП) судна на очередной прямолинейный отрезок ПТ [1–3, 5, 8–10, 14–17, 19–24]. Теоретические основы, рекомендации по использованию и оценке полосы, занимаемой судном при движении на прямолинейных участках маршрута, применение НП — пеленга и дистанции, как в зарубежных [19–24, 26–29], так и в отечественных [1–3, 5, 8–10, 11, 14–17] источниках хорошо проработаны и апробированы. Однако детальный анализ методов применения НП и их комбинаций с оценкой погрешностей для этих целей позволит разработать для практики судовождения алгоритмы выбора наилучших вариантов их использования в качестве ВИ, ОИ, КИ или ВЛП, ОЛП, КЛП.

При этом проблемным остается вопрос контроля движения судна по криволинейным участкам ПТ, подлежащий детальному исследованию и математическому описанию. Судоводителю недостаточно знания точных значений координат местоположения судна, бокового смещения относительно ПТ, текущего курса судна, направления и величины вектора скорости относительно грунта. Дополнительно следует оценивать угловую скорость поворота и ее изменение во взаимосвязи со скоростью движения судна относительно грунта по криволинейному участку ПТ. В частности, некорректным является применение дуги окружности постоянного радиуса в качестве аппроксимации криволинейного участка ПТ из-за невозможности физической реализации процесса поворота реального судна, требующего мгновенного изменения угловой скорости, соответствующей постоянному радиусу поворота [8, 11].

Планирование маршрута и режима движения судна, в том числе без участия человека, т. е. автоматической системой, является предметом множества исследований и весьма актуально [1–3, 5, 7, 11, 14–24, 26–29], поскольку представляет основу перспективной автономной и интеллектуальной навигации и управления судном. Анализ вышеупомянутых исследований показывает общность решений — разделение этой фундаментальной проблемы на взаимосвязанные подзадачи:

1. Процесс уменьшения информационной избыточности (сжатие данных) для дальнейшей обработки (и последующего контроля) посредством аппроксимации контуров навигационных опасностей некоторыми аналитическими зависимостями (например, с привязкой к изолиниям измеряемых НП в общем случае).
2. Планирование физически реализуемой траектории с соответствующей гладкостью программных режимов движения от начального до целевого положения, которые учитывают маневренные качества, особенно

сти судна, исключают перегрузки исполнительных механизмов управления.

3. Генерирование, отслеживание, контроль программных движений в системе управления по принципу «невозмущенного — возмущенного движения» Ляпунова — Летова для малых отклонений (формирование управляющих воздействий на органы управления для удержания судна в пределах ГПП) или коррекция программных движений при значительных отклонениях (в практике судовождения известная как процедура перепланирования маршрута).

Применение различных кривых (окружностей, эллипсов, полиномов, сплайн-функций, сигмоидальных и т. п.), аппроксимирующих, например, криволинейные участки маршрута или контуры навигационных опасностей, в автоматизированных навигационных комплексах имеет свои недостатки [1, 2, 6, 7, 10, 13, 15, 16, 19, 22, 25]:

- «афизичность» задания криволинейных участков ПТ, т. е. невозможность выполнения поворота реального судна по некоторым видам кривых;
- уход от традиционных практических способов контроля процесса поворота судна ускоренными навигационными методами с «привязкой» к ориентирам измеряемыми НП;
- слабая взаимосвязь традиционных практических способов задания и контроля движения судна по ПТ с применяемыми методами в *ECDIS* и системах автоматического управления по траектории, ориентированными на координатные принципы;
- невозможность обеспечения точной проводки судна при автоматическом или интеллектуальном управлении по ПТ;
- использование неединообразных выражений для задания всей ПТ и ГПП;
- значительное уменьшение навигационного пространства, безопасного для маневрирования судна, при аппроксимации контуров сложных навигационных опасностей традиционными методами.

К проблемам планирования криволинейных участков ПТ судна относятся и вопросы детального математического описания поворота, включая «привязку» элементов аппроксимирующей кривой к особенностям узкости (кривизне и ее изменению), маневренным качествам судна, ожидаемым внешним условиям, традиционным практическим методам контроля движения в судовождении по НП.

Вышесказанное указывает на необходимость разработки и применения новых моделей криволинейных участков ПТ судна с ГПП средствами современных *ECDIS* во взаимосвязи с традиционными (лоцманскими/ускоренными) методами планирования и управления по ПТ, в том числе в автоматическом режиме.

Под построением программных движений [11] понимается формализация процесса перемещения некоторой точки судна по ПТ с заданным скоростным режимом и его изменением.

Положение и движение судна относительно грунта определяются прямоуглыми координатами его центра тяжести (ЦТ) ( $OgXgYg$ ), вектором скоро-



сти и его компонентами: истинным курсом, углом дрейфа, линейной и угловой скоростями (рис. 2).

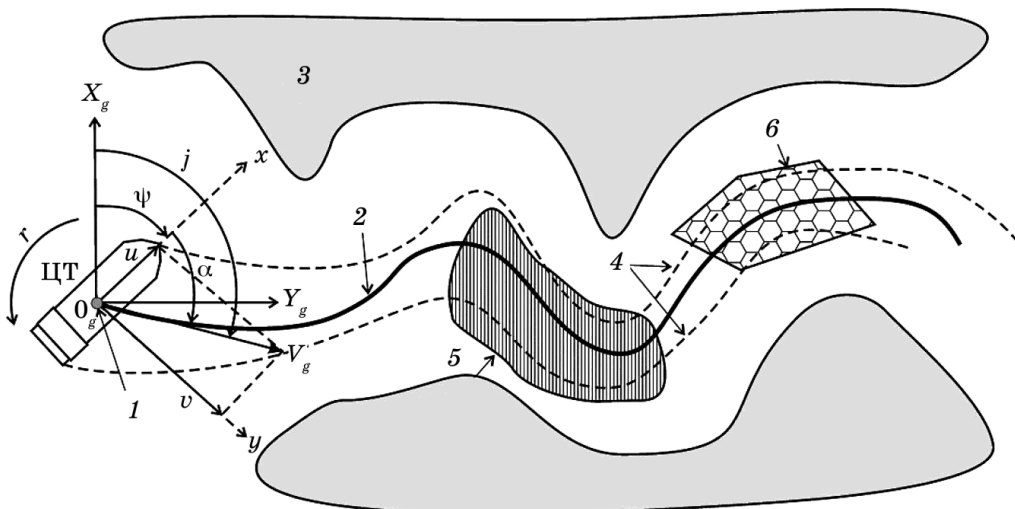


Рис. 2

*Элементы планирования ПТ судна в стесненных водах:*

$X_g, Y_g$  — неподвижные прямоугольные координаты, связанные с грунтом;  $x, y$  — подвижные прямоугольные координаты, связанные с ЦТ судна; 1 — начальное положение; 2 — оптимальная, физически реализуемая траектория; 3 — навигационные опасности; 4 — безопасная ГПП; 5 — район с особыми условиями; 6 — район с правовыми ограничениями.

Кинематические параметры взаимосвязаны между собой, что позволяет контролировать их совместно и отдельно и использовать их для решения различных задач движения судна, которые при малости скоростей изменения дрейфа представляются следующими соотношениями [11]:

$$\begin{aligned} V_g &= \sqrt{u^2 + v^2}; & u &= V_g \cos \alpha; & v &= V_g \sin \alpha; \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{v}{u}; & \frac{d\alpha}{dt} &= 0; & r &= \frac{d\psi}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{V_g}{R}; & R &= \frac{V_g}{r}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $u, v$  — продольная и поперечная составляющие скорости в ЦТ судна;  $V_g, \varphi$  — вектор скорости перемещения ЦТ судна относительно грунта и его направление;  $\psi, \alpha$  — угол курса и угол дрейфа в ЦТ судна соответственно;  $r$  — угловая скорость;  $R$  — радиус кривизны криволинейного участка ПТ ЦТ судна, м.

В диаметральной плоскости (ДП) судна существует точка — центр вращения, или полюс поворота (ПП), в которой направление мгновенного вектора скорости относительно грунта совпадает с направлением ДП, т. е. угол дрейфа равен нулю [8, 11] (рис. 3), а ее абсцисса находится из выражения

$$X_{\text{пп}} = \frac{u}{r} \operatorname{tg} \alpha = R \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $X_{\text{пп}}$  — положение абсциссы ПП.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)