

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A — амплитуда перерегулирования

$A(t)$ — фактическое значение оцениваемой величины как случайный процесс

$A_{L\sigma}$ — приведённая площадь погруженной части диаметральной плоскости

A_i — коэффициент при интегральной составляющей поправки к курсу при стабилизации судна на траектории

A_p — коэффициент при пропорциональной составляющей поправки к курсу при стабилизации судна на траектории

B — ширина судна

B_k — ширина канала

$C_{X\beta}$ — коэффициент продольной силы неинерционной природы

D — диаметр винта

D_{\min} — минимальная дистанция сближения судов

D_{kp} — дистанция кратчайшего сближения судов

D_{ob} — дистанция обнаружения судна-цели

\tilde{D} — наименьшее из расстояний кратчайшего сближения судна с другими судами

F — матрица перехода

F_J — матрица частных производных

G — центр тяжести судна

I — единичная матрица

I_z — момент инерции судна относительно вертикальной оси

I_B — критерий безопасности для решения задачи расхождения судов

I_P — критерий минимального отклонения судна от заданной траектории

J — критерий оптимальности

J_n — критерий оптимальности перехода

K — истинный курс судна

$K(n-1), K(n)$ — корреляционная матрица ошибок оценивания вектора весовых коэффициентов на предыдущий и текущий момент времени

$K(t_{n+1})$ — коэффициент усиления фильтра Калмана для момента времени t_{n+1}

K_D — матрица дифференциальных коэффициентов регулятора

K_I — матрица интегральных коэффициентов регулятора

K_M — матрица коэффициентов обратной связи

K_P — матрица пропорциональных коэффициентов регулятора

K_R — направление отрезка маршрута

K_d — дифференциальный коэффициент регулятора

K_i — интегральный коэффициент регулятора

K_m — коэффициент обратной связи

K_p — пропорциональный коэффициент регулятора

$K_{B\zeta}$ — курс, который имеет судно при воздействии сил высокой частоты

$K_{H\zeta}$ — курс, который имеет судно при воздействии сил низкой частоты

K_{ll} — «полезная» составляющая курса судна

K^* — заданное значение курса судна

- \hat{K} — оптимальная оценка курса судна
 L — длина судна
 M — оператор математического ожидания
 M — матрица измерений
 M_J — матрица частных производных
 M_3 — заданное значение модуля суммарного вращательного момента
 $M_{\text{пред.}}$ — предельное значение радиальной погрешности
 M_ϕ — фактическая радиальная погрешность в определении места
 \vec{M} — вектор суммарного вращательного момента
 \tilde{M}_ϕ — оценка радиальной погрешности определения места судна
 N — число спутников, информация от которых используется для расчётов
 N_e — число перерегулирований
 N_r, N_r, N_δ — гидродинамические коэффициенты
 N_H — истинный север
 P — точка позиционирования
 P — корреляционная матрица погрешностей измерений
 $P(n-1), P(n)$ — обратные корреляционные матрицы векторов $\mathbf{x}(n-1), \mathbf{x}(n)$
 P_i — коэффициент безопасности плавания на i -м участке перехода
 $P_{\text{б.р.}}$ — вероятность бесперебойной работы системы
 P_m — вероятность выполнения манёвра
 P_n — вероятность возникновения неисправности
 $P_{\text{необ.}}$ — вероятность того, что данная неисправность не будет обнаружена
 $P_{\text{об.}}$ — вероятность обнаружения
 $P_{\text{o.в.}}$ — вероятность опасной встречи
 $P_{\text{прев.}}$ — вероятность того, что данная неисправность приведёт к погрешностям определения координат, превышающим установленное значение
 P_p — вероятность расхождения судов
 $P_{u.p.}$ — вероятность целостной работы системы
 $P_{\text{з.с.}}$ — вероятность определения элементов сближения цели
 Q — корреляционная матрица погрешностей в уравнении состояния
 R — корреляционная матрица погрешностей измерений
 R_3 — заданный радиус кривизны траектории при повороте
 R_P — коэффициент, характеризующий продолжительность и степень отклонения судна от заданной траектории движения
 S — вектор, каждая компонента которого есть разность между измеренным значением расстояния до спутника и его приближённым значением
 S_i — длина i -го участка маршрута перехода
 S_m — длина тормозного пути судна
 T — постоянная времени судна
 T_{\min} — установленное минимальное время до момента кратчайшего сближения
 T_{x1} — продольная составляющая вектора суммарного упора
 T_{y1} — поперечная составляющая вектора суммарного упора
 \bar{T}_B — упор винта
 T_K — упор кормового подруливающего устройства

T_H — упор носового подруливающего устройства

T_0 — время, прошедшее с момента обнаружения судна до момента кратчайшего сближения с ним

T_e — постоянная времени, характеризующая скорость выхода ошибки управления на нулевое значение

T_{kp} — время кратчайшего сближения

\tilde{T} — вектор суммарного упора

\tilde{T} — наименьшее из времен кратчайшего сближения этого судна с другими судами

$U(t)$ — ошибка измерений как случайный процесс

U_{n+1} — вектор случайных погрешностей измерений в момент времени t_{n+1}

V_a — вектор абсолютной скорости хода судна

V_J — матрица частных производных

V_a — модуль вектора абсолютной скорости

V_i — скорость на i -м участке перехода

V_n — вектор случайных погрешностей процесса в момент времени t_n

$V_{\text{ном}}$ — номинальная скорость судна

V_{ox1} — продольная составляющая относительной скорости

V^* — заданное значение скорости хода

V_a^* — расчётное значение вектора абсолютной скорости

V_{ox1}^* — заданное значение продольной составляющей относительной скорости

V_0 — относительная скорость движения судов

\hat{V} — оптимальное значение вектора скоростей на участках плавания с учётом ограничений на скорость хода

W_J — матрица частных производных

\hat{W} — вектор оптимальных значений коэффициентов адаптивного фильтра

X — вектор состояния

X_t — вектор состояния в момент времени t

X^* — заданное значение вектора состояния

$\hat{X}(t)$ — оптимальная оценка случайного процесса

\tilde{X} — приближённое значение вектора состояния

Y — вектор измерения

\tilde{Y} — приближённое значение вектора измерения

P — пеленг на активную точку поворота

$a(t)$ — истинное значение случайного процесса

b — постоянное отклонение пера руля от диаметральной плоскости

d_{\min} — минимально допустимое расстояние от борта судна до стенки канала

e — ошибка управления (рассогласование)

$e(n)$ — погрешность адаптивного фильтра в момент времени n

e_c — статическая ошибка управления

$f(t)$ — возмущающее воздействие

f_u — целевая функция

$f(\bullet)$ — операция нелинейного преобразования

- $g(n)$ — вектор коэффициентов усиления фильтра Калмана на текущий момент времени
- $g(t)$ — задающее воздействие
- $\mathbf{k}(n)$ — вектор коэффициентов усиления на текущий момент времени
- k — коэффициент усиления судна
- $k_{11}, k_{22}, k_{26}, k_{66}$ — коэффициенты присоединённых масс
- k_T — коэффициент упора винта
- l — количество участков маршрута с постоянными условиями плавания
- l_K — абсцисса установки кормового подруливающего устройства
- l_H — абсцисса установки носового подруливающего устройства
- m — масса судна
- n_p — число оборотов винта
- p — число единичных задержек
- r — измеряемое расстояние от судна до спутника
- t — время
- t_s — время плавания на переходе
- t_3 — заданное время прибытия в точку назначения при плавании по маршруту
- t_n — время переходного процесса
- t_p — время выполнения всех этапов операции расхождения
- t_n^* — заданное значение времени затухания переходного процесса
- $u(t)$ — управляющее воздействие
- $w_0 \dots w_p$ — весовые коэффициенты адаптивного фильтра
- w_w — белый шум, подчинённый закону распределения Гаусса
- $\mathbf{x}(n)$ — вектор дискретных значений входного сигнала на текущий момент времени
- $\mathbf{x}(n-1)$ — вектор дискретных значений входного сигнала на предшествующий момент времени
- x, y, z — координаты судна в геоцентрической системе координат
- $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ — производные геоцентрических координат по времени
- x_p, y_p, z_p — координаты судна в системе, начало которой совпадает с точкой позиционирования
- $x(t)$ — реализация случайного процесса
- $\hat{x}(t)$ — прогнозируемое фильтром значение
- x_g' — абсцисса центра тяжести судна в системе координат, оси которой совпадают с главными осями инерции судна
- x_u, y_u — истинные координаты места судна
- x_{CHC}, y_{CHC} — координаты судна, полученные с использованием спутниковой навигационной системы
- x_C, y_C — счислимые координаты судна
- $y(n)$ — значение выходного сигнала адаптивного фильтра
- $y(t)$ — реализация выходного сигнала системы
- $y^*(n-1), y^*(n)$ — фактические значения выходного сигнала на предшествующий и текущий моменты времени

- $\hat{y}(n)$ — оптимальная оценка адаптивного фильтра для текущего момента времени
- ΔK_p — отклонение текущего курса от заданного в режиме динамического позиционирования
- ΔS_i — потери в расстоянии, проходимом судном с номинальной скоростью на i -м участке
- ΔV_i — поправки к номинальной скорости на i -м участке маршрута
- Δt — интервал времени, на котором формируется последовательность величин входного сигнала при решении задачи адаптивной фильтрации
- α — курсовой угол вектора суммарного упора относительно диаметральной плоскости
- α_1 — расстояние, пройденное судном от момента обнаружения опасности до момента начала действий по торможению судна
- α_w — курсовой угол кажущегося ветра
- α_3 — заданное значение курсового угла вектора суммарного упора относительно диаметральной плоскости
- δ — угол перекладки руля
- δ_c — погрешность определения расстояния до спутника, вызванная расхождением шкал времени спутника и приёмника
- δK_{Bq} — изменение курса, вызванное воздействием сил высокой частоты
- δ_C — погрешность системы счисления
- δ_{CHC} — погрешность спутниковой навигационной системы
- $\hat{\delta}_c$ — оптимальная оценка счислимых координат на выходе навигационного фильтра
- $\xi(n)$ — априорная ошибка оценки фильтра на текущий момент времени
- λ — коэффициент экспоненциального забывания
- λ_d, ς — коэффициенты демпфирования
- η — вектор координат судна в неподвижной системе
- λ_1, λ_2 — корни характеристического уравнения
- μ — параметр скорости обучения
- v — вектор скоростей в подвижной системе координат, связанной с судном
- v_p — вектор угловых и линейных скоростей в системе координат, начало которой совпадает с точкой позиционирования
- $\pi(n)$ — вспомогательный вектор на текущий момент времени
- ρ — расстояние от судна до спутника
- ρ_w — плотность воды
- σ_U^2 — дисперсия изменения поправки к заданному значению курса
- τ — вектор управляющих воздействий
- τ_{ship} — вектор управляющих воздействий в судовой системе координат
- φ — неслучайная непрерывная функция
- χ — угол рыскания

χ_w — изменение курса, вызванное влиянием высокочастотных составляющих волнения

ψ — неслучайная непрерывная функция

ω — угловая скорость поворота судна

ω_0 — круговая частота, приходящаяся на волны наибольшей амплитуды в спектре

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

На русском языке

- АИС** — автоматическая идентификационная система
БИНС — бесплатформенная инерциальная система
ВЧ — высокая частота
ГМССБ — глобальная морская система связи при бедствии
ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система
ДП — динамическое позиционирование
ЗНБ — зона навигационной безопасности
ИМО — Международная морская организация
ИНМ — интегрированный навигационный мостик
ИНС — интегрированная навигационная система
ИСО — Международная организация по стандартизации
КБМ — Комитет по безопасности мореплавания
КОС — коэффициент обратной связи
КПУ — кормовое подруливающее устройство
МАМС — Международная ассоциация маячных служб
МГО — Международная гидрографическая организация
МЭК — Международная электротехническая комиссия
МСЭ — Международный союз электросвязи
НАВТЕКС — служба навигационных предупреждений («навигационный телекс»)
НПУ — носовое подруливающее устройство
НЧ — низкая частота
РДР — регистратор данных рейса
РЛС — радиолокационная станция
РУ — регулирующее устройство
САР — система автоматического расхождения судов
САРП — средство автоматической радиолокационной прокладки
САУ — система автоматического управления
СКДВП — система контроля дееспособности вахтенного помощника
СКП — средняя квадратическая погрешность
СНО — средства навигационного оборудования
СНС — спутниковая навигационная система
СРД — система разделения движения
СРНС — спутниковая радионавигационная система
СУДС — служба управления движением судов
УКВ — ультракороткие волны
ЭКНИС — электронная картографическая навигационная информационная система
ЭКС — электронная картографическая система
ЭНК — электронная навигационная карта
ЯП — якорное позиционирование

На английском языке

COG — course over ground

COR — centre of rotation

DGPS — differential global positioning system

DP — dynamic positioning

ETA — estimated time of arrival

FPSO — floating production storage and offloading vessel

GPS — global positioning system

HDG — heading

IBS — integrated bridge system

INS — integrated navigation system

JSMH — joystick manual heading

JSAH — joystick auto heading

LMS — least mean square

NMEA — National Marine Electronics Association

RLS — recursive least square

SNR — signal to noise ratio

TLFN — time-lagged feed forward network

VVOS — vessel and voyage optimization solution

XTE — cross track error

*В мире не происходит ничего,
в чем не был бы виден смысл
какого-нибудь максимума
или минимума.
Л. Эйлер*

ВВЕДЕНИЕ

Судовождение можно рассматривать как процесс, в ходе которого решаются последовательно две задачи. Первая состоит в планировании перехода судна, создании предполагаемого маршрута движения. Вторая же заключается в обеспечении движения судна по заданной линии пути с учётом условий плавания и маневренных характеристик судна. В ходе выполнения обеих задач прослеживаются следующие этапы:

- получение информации;
- обработка информации;
- принятие решения.

К информации, необходимой для судовождения, можно отнести нагрузку навигационных карт и содержание пособий для плавания, сведения о погоде, значение осадки судна, его курса и скорости, величину измеренного пеленга и т. д.

Обработка информации может осуществляться различными способами. В качестве примеров можно привести разнообразные алгоритмы определения места судна, поправок компаса, метод наименьших квадратов, фильтрацию и комплексирование навигационных измерений.

На основе обработанной информации принимается то или иное решение. Это может быть решение о выборе маршрута перехода, изменении режима движения судна в зависимости от гидрометеорологических условий, удержании судна на определённом курсе и т. п.

Когда уровень автоматизации судовождения был низок, каждый из этих этапов судоводитель выполнял самостоятельно на основе своих знаний и опыта, психологических личных особенностей, которые и определяли качество выполнения решаемой задачи.

В настоящее время каждый из названных выше этапов имеет определённую степень автоматизации. Получение навигационной информации от спутниковых навигационных систем, измерение параметров движения судна, приём прогноза погоды и др. — всё это происходит в автоматическом режиме. Примерами автоматической обработки информации могут служить расчёт координат места судна в приёмниках спутниковых навигационных систем, определение параметров сближения цели в радиолокаторе, расчёт пеленга на объект в электронных картах, вычисление суммарной девиации в гирокомпасах, определение глубины в эхолоте и т. д. На этапе принятия решения используются различные регуляторы, стабилизирующие судно на курсе, траектории, по угловой и линейной скорости и др. Отыскание оптимального пути в электронных картах тоже может быть отнесено к решению задачи принятия решения.

Следует различать общие и частные задачи автоматизации судовождения. Например, автоматическая прокладка маршрута перехода судна представляет собой решение общей задачи, а автоматический приём прогноза погоды — частной. Обеспечение движения судна по заданной линии пути есть решение общей задачи, а автоматический приём данных от гирокомпаса — частной. Таким образом, решение частной задачи судовождения необходимо для решения более общей.

В настоящем учебном пособии рассматриваются процессы, непосредственно связанные с решением двух указанных навигационных задач. Вопросы, касающиеся управления судовыми энергетическими установками, систем стабилизации качки, выравнивания крена и дифферента и им подобные выходят за рамки изучения настоящего учебного пособия.

В первой главе изложены принципы работы систем автоматического планирования перехода, рассмотрены современные системы планирования, их ограничения, преимущества и недостатки.

Во второй главе рассматриваются вопросы обработки навигационной информации: элементы теории оптимального оценивания и фильтрации, их применение в навигационной аппаратуре — авторулевых и приёмниках спутниковых навигационных систем. Также приводится пример использования фильтра Калмана в задаче комплексирования информации в интегрированных навигационных системах.

В третьей главе излагаются основы теории автоматического регулирования, рассматриваются системы стабилизации судна на заданном курсе и траектории, регулирования его скорости, основы динамического и якорного позиционирования. Теория автоматического регулирования излагается на основе применения методов теории дифференциальных уравнений, без привлечения аппарата передаточных функций и способов вариационного исчисления.

Четвёртая глава посвящена вопросам автоматизации процесса расхождения судов. Рассмотрены современное состояние проблемы автоматического расхождения, а также предполагаемые пути их решения. Особое внимание уделяется изложению вероятностного подхода к анализу и синтезу систем автоматического расхождения судов.

В пятой главе рассматриваются эксплуатационные требования к конструкции систем автоматического управления движением судов — авторулевых и систем динамического позиционирования — со стороны международных организаций: Международной морской организации (ИМО), Международной электротехнической комиссии (МЭК), а также Международной организации по стандартизации (ИСО). В ней также приводятся сравнительные характеристики современных систем стабилизации судна на заданном курсе и/или траектории ведущих отечественных и зарубежных производителей.

В шестой главе рассматриваются общие принципы проектирования и использования на судне интегрированных навигационных мостиков и интегрированных навигационных систем, элементы теории данных систем с точки зрения их точности, надёжности и других подобных характеристик. В ней также описывается актуальная для современного судоходства концепция e-navigation.

Седьмая глава включает описание практических упражнений (для самостоятельной работы), выполняемых в среде программирования MATLAB®. В ней также представлен исходный код программ, используемых при выполнении упражнений.

Автор выражает благодарность всем рецензентам данного учебного пособия, в особенности заведующему Кафедрой автоматики и вычислительной техники ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова С. В. Смоленцеву, сделавшему ряд ценных предложений по улучшению текста рукописи. Также хочется поблагодарить Н. А. Седову за прочтение пособия и сделанные ею замечания.

Пожелания, предложения и замечания, касающиеся содержания учебного пособия, просьба присыпать на адрес электронной почты gmatder@mail.ru.

Содержание учебного пособия соответствует рабочей программе дисциплины «Автоматизация судовождения», составленной в соответствии с ПООП и ФГОС ВПО по специальности 26.05.05 «Судовождение».

Учебное пособие предназначено для курсантов и студентов морских университетов, академий водного транспорта, обучающихся по специальности 26.05.05 «Судовождение».

Глава 1

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДА СУДНА

Планирование перехода судна представляет собой задачу, решение которой предполагает изучение района плавания в навигационно-гидрографическом и гидрометеорологическом отношении, с учётом действия местных правил судоходства.

Навигационно-гидрографическая информация о районе плавания включает сведения о расположении навигационных опасностей, глубинах, характере рельефа дна, каналах, рекомендованных путях и фарватерах, системах разделения движения, наличии средств навигационного оборудования и др.

Гидрометеорологическая характеристика района включает информацию о ветре, течениях, приливно-отливных явлениях, волновом режиме, сезонных колебаниях уровня моря.

Местные правила учитываются при планировании маршрута, если он проходит через внутренние воды государства, где действуют эти правила, или через любой район, находящийся в зоне действия службы управления движения судов (СУДС).

Результатом планирования маршрута является нахождение его поворотных точек, которые соединяются линиями циркуляции судна с учётом маневренных характеристик судна.

Таким образом, созданию маршрута перехода предшествует изучение достаточно большого объёма информации, занимающее много времени у судоводителя.

Системы электронной картографии позволяют представить характеристики района плавания в цифровом (электронном) виде, что позволяет использовать алгоритмы *автоматической прокладки* маршрута перехода судна.

1.1. Понятие оптимального маршрута перехода

Автоматическая прокладка маршрута перехода позволяет найти *оптимальный* маршрут из точки *A* в точку *B*. Какой же маршрут следует считать оптимальным?

Маршрут *минимальной протяжённости* может не быть оптимальным по времени движения судна, а следовательно, и по затратам на его эксплуатацию. Поэтому существует понятие маршрута *минимальной стоимости* [5], при определении которого учитывается продолжительность плавания, а также затраты, связанные с проходом через районы с особым правовым режимом (например, через каналы).

Длительность плавания по маршруту минимальной стоимости определяется влиянием ветра, волнения и течения на скорость судна, потерями скорости на мелководье, при плавании во льдах, а также особыми обстоятельствами плавания.

Плавание по маршруту минимальной стоимости может проходить достаточно близко к навигационным опасностям, не учитывать ограничения движительно-рулевого комплекса судна, интенсивность движения судов. Кроме того, нужно учитывать и сохранение мореходных качеств судна при его движении по маршруту (остойчивости и прочности) в условиях влияния ветра и волнения. т. е. маршрут минимальной стоимости должен иметь определённую степень безопасности.

Наконец, безопасный маршрут минимальной стоимости ещё не учитывает системы разделения движения (СРД), рекомендованные маршруты, режимные районы. Если указанные факторы учитываются, то получается *оптимальный маршрут*.

Поиск оптимального маршрута движения судна следует рассматривать как задачу оптимизации. При её решении учитываются следующие критерии [5]:

- время движения судна по маршруту;
- дополнительные затраты при проходе районов с особым режимом;
- навигационная безопасность;
- безопасность при плавании в районах с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями;
- безопасность при плавании в районах повышенной опасности;
- сохранность груза.

Также могут учитываться и некоторые другие критерии, например комфортабельность пассажиров, климатические зоны и т. п.

Указанные критерии можно сгруппировать в два критерия:

- безопасность перехода;
- стоимость перехода.

Таким образом, оптимальный маршрут должен быть наиболее безопасным, а затраты на переход должны быть минимальны.

Основной характеристикой стоимости перехода служит время плавания t_s , которое определяется следующим выражением:

$$t_s = \frac{S_0}{V_0} + \frac{S_1}{V_1} + \dots + \frac{S_i}{V_i} + \dots + \frac{S_n}{V_n}, \quad (1)$$

где S_i — длина i -го участка маршрута, V_i — расчётная скорость на данном участке, n — количество участков маршрута.

Скорости на участках маршрута V_i определяются, в общем случае, с учётом действия ветра, волнения, течения, влияния мелководья, льда и других условий плавания. За основу берётся номинальная скорость движения судна $V_{\text{ном}}$, которую оно развивает в идеальных условиях (без ветра и течений, на тихой воде) при номинальном режиме работы главной энергетической установки. Используемая в расчётах информация о ветре, волнении, льдообразовании может быть получена на основе гидрометеорологического прогноза для данного района плавания. Соответствующие сведения о течениях имеются в базах данных, интегрированных, в частности, в современные электронные картографические системы. Для расчёта поправок к номинальной скорости $\Delta V_i = V_i - V_{\text{ном}}$, учиты-

вающих влияние ветра и волнения, могут использоваться эмпирические формулы. В последнее время также используются методики, основанные на математическом моделировании предполагаемого движения конкретного судна в прогнозируемых условиях плавания.

Сложнее обстоит дело с определением количественной характеристики безопасности плавания по предполагаемому маршруту перехода. В работе [5] каждый участок курса возможного маршрута предлагается характеризовать коэффициентом безопасности плавания P_i , который принимает значения от 0 до 1.

Коэффициент безопасности плавания может учитывать, в общем случае, следующие факторы, а именно:

- ширина фарватера, радиусы изгибов колен, рельеф дна и т. п.;
- наличие источников информации о районе плавания (степень достоверности картографической информации, наличие пособий и др.);
- наличие средств навигационного оборудования (СНО);
- преобладающие ветры и течения;
- особенности волнового режима на акватории;
- колебания уровня моря;
- состояние видимости;
- интенсивность движения судов.

Методики расчёта данного коэффициента в настоящее время слабо разработаны. Некоторые из них можно найти в [5].

Для решения задачи оптимизации необходимо выбрать вид целевой функции. В [5] предлагается использовать целевую функцию f_u вида:

$$f_u = (S_0 + \Delta S_0)/P_0 + \dots + (S_i + \Delta S_i)/P_i + \dots + (S_n + \Delta S_n)/P_n, \quad (2)$$

где ΔS_i — потери в расстоянии, проходимом судном с номинальной скоростью на i -м участке маршрута, рассчитываемые при постоянных на отрезках поправках ΔV_i по формуле

$$\Delta S_i = S_i \left(\frac{V_{nom}}{V_i} - 1 \right).$$

Как отмечалось выше, потери могут возникать вследствие воздействия на судно гидрометеорологических факторов (ветра, волнения, течений, льда), а также при других обстоятельствах плавания (например, в условиях мелководья). Смысл величины ΔS_i поясним на следующем примере. Пусть 10 узл. — номинальная скорость судна на отрезке маршрута (т. е. скорость в «идеальных» условиях плавания: при отсутствии воздействия упомянутых факторов). И пусть в результате встречного волнения скорость уменьшилась на 1 узл. Если длина отрезка 10 миль, то с номинальной скоростью он будет пройден за 1 час. В условиях волнения этот же отрезок будет преодолён уже за 10 миль/9 узл. ≈ 1 час 6.7 мин. А с номинальной скоростью за 6.7 мин. можно пройти расстояние, приблизительно равное 6.7 мин./60 мин/ч · 10 узл. \approx

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru