

УДК [656.052:629.54]: 551.515

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТОВ ПЛАВАНИЯ С УЧЕТОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Н.В. Першин

Российский университет транспорта, nikita.pershin@mail.ru

Рассмотрены вопросы рационального построения вариантов трасс плавания с учетом гидрометеорологических условий. Показано, что современные морские суда могут осуществлять плавание в сложных погодных условиях, однако ветер и волнение, интенсивные встречные течения и другие гидрометеорологические факторы влияют на скорость и путь судов и соответственно на эффективность плавания. Особенно это касается экстремальных природно-климатических условий Арктики. Представлены соотношения для коэффициента трудности ледового плавания. Показано, что для рационального маршрута плавания не существует постоянной географической привязки и коэффициент извилистости всегда превышает единицу, а дополнительное увеличение пути в старых льдах за счет их обхода составляет 10—30 %.

Ключевые слова: рациональное построение, маршруты, плавание, гидрометеорологические условия.

RATIONAL CREATION OF NAVIGATION ROUTES TAKING INTO ACCOUNT HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS

N.V. Pershin

Russian University of Transport

The questions of rational creation of variants of navigation routes taking into account hydrometeorological conditions are considered. It is shown that modern marine vessels can navigate in difficult weather conditions, however, wind and excitement, intensity cross-currents and other hydrometeorological factors affect the speed and path of the vessels and, accordingly, the efficiency of navigation. This is especially true of the extreme natural and climatic conditions of the Arctic. Ratios for the coefficient of difficulty of ice navigation are presented. It is shown that for a rational navigation route there is no permanent geographic binding and the coefficient of tortuosity always exceeds unity, and an additional increase in the path in old ice due to their bypass is 10-30 %.

Keywords: rational construction, routes, navigation, hydrometeorological conditions.

Введение

Современные морские суда могут осуществлять плавание в сложных погодных условиях [1].

Однако ветер и волнение, интенсивные встречные течения и другие гидрометеорологические факторы влияют на скорость и маршрут судов и соответственно на эффективность плавания.

Особенно это касается экстремальных природно-климатических условий Арктики в связи с дополнительными угрозами от воздействия ледовых образований.

На характер и скорость движения судов оказывают влияние [2]:

— сплоченность дрейфующего льда C_L ;

- толщина льда H_L ;
- торосистость T_R (устанавливается в виде степени покрытия поверхности льда торосами всех видов);
- форма и горизонтальные размеры льдин r ;
- степень разрушения в процессе таяния P_Z ;
- процессы сжатия (характеризуют сокращение расстояния между льдинами и повышение их сплоченности).

Плотность льда, его возраст и размеры льдин влияют на скорость судов и параметры их движения [3].

Например, при одной и той же сплоченности мелкобитого льда с увеличением толщины льда скорость движения судна будет существенно уменьшаться [4].

Скорость судна при плавании среди обломков полей будет гораздо ниже, чем при плавании во льдах, характеризующихся как мелкобитые.

При перемещении судна среди обломков полей влияние ветра практически отсутствует [4].

Исходные данные, состав исследования

Основным воздействием на скорость судов во время ледового плавания является ледовое сопротивление. При перемещении между льдами, имеющими небольшие горизонтальные размеры, ветер тоже оказывает влияние на скорость, что вынуждает уменьшать ее во избежание повреждения судового корпуса [5].

Скорость судна при плавании в ледовой обстановке можно описать следующей формулой:

$$V_{LD} = V_0 - [(\Delta V_{LD} \pm \Delta V_U)] + k_{VL} \Delta V_{VL}, \quad (1)$$

где V_0 — судовая скорость при перемещении по чистой воде; ΔV_{LD} — потеря скорости судна, обусловленная ледовым сопротивлением; ΔV_U — изменение скорости, обусловленное ветром; ΔV_{VL} — вынужденное уменьшение скорости во льдах; k_{VL} — число повторов уменьшения скорости, обусловленного процессами сжатия, горизонтальными размерами льдин и толщиной ледяного покрова.

Коэффициент трудности ледового плавания K_T описывается формулой

$$K_T = \frac{V_0}{V_{PR}} \frac{S_{PR}}{S_0} + \frac{V_0}{V_{9-10}} \frac{S_{9-10}}{S_0} + \dots + \frac{V_0}{V_{1-3}} \frac{S_{1-3}}{S_0} + \frac{S_{CHV}}{S_0}, \quad (2)$$

где V_0 — судовая скорость на чистой воде (узлы); S_0 — общая протяженность маршрута во льдах (мили); S_{PR} , S_{9-10} , ..., S_{CHV} — длина отрезков пути судна в припае (S_{PR}), во льдах сплоченностью 9—10 баллов и на чистой воде (S_{CHV}) соответственно; V_{PR} , V_{9-10} , ..., V_{1-3} — судовая скорость при эксплуатации.

С помощью коэффициента трудности ледового плавания устанавливаются пропорции между временными затратами при перемещении судна по маршруту при параметрах конкретного ледяного поля и при чистой воде.

В значительной мере эффективность перехода судов определяется выбором маршрута с благоприятными гидрометеорологическими условиями.

Показатели эффективности, такие как безопасные условия перемещения, уменьшение времени движения по маршруту, сохранность грузов и топливная экономия, позволяют получить суммарный экономический эффект и определить рациональный маршрут [6].

Минимальная продолжительность маршрута с обеспечением безопасности плавания часто принимается в качестве определяющего показателя эффективности. В этом случае плавание выполняется по так называемому наивыгоднейшему пути [7].

Длительность движения судна будет изменяться в зависимости от степени воздействия гидрометеорологических факторов на отдельных отрезках маршрута. В общем случае

$$t = \frac{S_1}{V_1} + \frac{S_2}{V_2} + \dots + \frac{S_m}{V_m}, \quad (3)$$

где S_1, S_2, \dots, S_m — отрезки пути судна, на которых наблюдаются разные гидрометеорологические условия (мили); V_1, V_2, V_m — абсолютная скорость судна на соответствующих участках пути (узлы).

При перемещении по наивыгоднейшему пути время движения t_{RP} и выигрыш во времени движения Δt_{XN} описываются соотношениями

$$t_{RP} = t_{OSN} + t_{ST}, \quad \Delta t_{XN} = t_{XCP} - t_{XN}, \quad (4)$$

где t_{XCP} — ходовое время рейса при свободном плавании (сут); t_{XN} — ходовое время рейса при плавании наивыгоднейшим путем (сут); t_{ST} — стояночное время (сут).

Ходовое время рейса при определенных гидрометеорологических условиях определяется соотношениями

$$t_x = \sum_{i=1}^m S_i / k_{v_i} \cdot V_{c_i}, \quad (5)$$

$$k_g = \sqrt{1 + 2V'_{om} \cdot \cos q_t + (V'_{om})^2}, \quad (6)$$

где k_g — коэффициент скорости судна, учитывающий воздействие течения.

Из формулы (5) видно, что время перемещения на маршруте зависит от скорости ветра, волновых падений скорости, вынужденного снижения скорости на волнении при шторме, относительной скорости и угла течения по курсу.

Используя формулы (3) — (5), получим выражение, описывающее преимущество во времени при переходе по наивыгоднейшему пути S_N по сравнению со свободным путем S_{SV} :

$$\Delta t_{XN} = \frac{1}{24} \left[\sum_{k=1}^m \frac{S_{sv_k}}{k_{g_{sv_k}}} - \sum_{i=1}^m \frac{S_m}{k_{g_{n_i}} V_{A_i}} \right], \quad (7)$$

где S_1, S_2, \dots, S_m — путь судна на отдельных отрезках (мили); k_{g_1}, \dots, k_{g_m} — коэффициенты скорости судна, определяющие действие течения на отдельных участках маршрута; V_{c_1}, \dots, V_{c_m} — скорость судна при ветре и волнении на участках маршрута с разными гидрометеорологическими условиями (узлы).

Из формулы (5) следует, что если основная задача — сокращение маршрутного времени, то нужно выбрать такой маршрут судна, при котором на отдельных участках суммарные ветроволновые потери скорости перемещения судна будут минимальными, а скорость попутного течения достаточно велика [8, 9].

В ряде случаев необходимо обеспечение наименьшего расхода топлива при учете заданной продолжительности перехода по оптимальному пути.

Изменение скорости судна, обусловленное воздействием гидрометеорологических факторов, является переменной величиной — функцией текущего маршрута S .

Тогда расход топлива на отрезке пути S описывается формулой

$$Q_i = \frac{S_i}{V_0 \pm \Delta V_{uh_i}} (a + k_c V_0^3), \quad (8)$$

где V_0 — скорость судна на спокойной воде (узлы); a — постоянный расход топлива (кг/ч); k_c — коэффициент, характеризующий тип судна.

Общий расход топлива определяется значением V_0 , принятым на каждом из участков маршрута S_i .

Прием выбора рационального пути [6, 7] — определение маршрута передвижения с учетом гидрометеорологической информации, которая поступает на судно.

Общими принципами учета природных условий при разработке рекомендаций для плавания во льдах являются:

- обоснование рационального пути плавания в заданных ледовых условиях;
- определение наиболее благоприятного по природным условиям периода плавания судов различных классов на традиционных перспективных направлениях грузоперевозок;
- объективная оценка возможности организации круглогодичной навигации в замерзающих морях с использованием судов определенного типа и ледоколов.

При подготовке навигационных рекомендаций основным видом информации о ледяном покрове являются сведения авиаразведки, дополненные данными ИСЗ, а также данные наблюдений береговых гидрометеорологических станций и судов, представленные в виде карт распределения льда.

Кроме того, используются пособия и руководства по учету влияния характеристик ледяного покрова и метеорологических факторов на условия плавания.

Следует учитывать особенности исходной информации о состоянии ледяного покрова, а также возможности использования такой информации при расчетах скорости движения судов во льдах.

Неравномерность распределения льдов в разных морских акваториях и изменение их плотности со временем дают возможность определять разные варианты перемещения по морским акваториям.

На практике используют традиционные маршруты движения судов исходя из опыта, накопленного за длительное время, и учитывающего особенности распределения льдов в определенном районе [10].

Учитываются следующие основные параметры [6]:

- данные о ветре и волнении;
- данные о течениях, льдах, туманах и возможном обледенении.

С учетом основных эксплуатационных характеристик судна — скорости, водоизмещения, загрузки — определяются потери скорости перемещения на отдельных участках маршрута, после чего вычисляются суммарная потеря скорости на всем маршруте и соответственно средняя скорость судна [10].

Важным показателем при перемещении во льдах является коэффициент извилистости пути плавания, который представляет собой отношение длины пути во льдах по факту к длине заданного маршрута по чистой воде.

Постоянной географической привязки рациональный путь плавания не имеет. Его общая длина является переменной величиной, вследствие чего коэффициент извилистости всегда больше единицы, поскольку в районе перемещения имеются разнообразные ледовые условия. Дополнительное увеличение пути в старых льдах с учетом их обхода составляет 10—30 %.

Абсолютная скорость судна при спокойной воде и имеющемся течении определяется курсовым углом течения q_T и относительной скоростью течения $\frac{v_T}{V}$:

$$V = V_L \sqrt{1 + 2 \frac{v_T}{V_L} \cos q_T + \left(\frac{v_T}{V_L} \right)^2}, \quad (9)$$

где V — абсолютная скорость судна (узлы), V_L — скорость судна по лагу (узлы), v_T — скорость течения (узлы).

Если на судно воздействуют ветер и течение, то его скорость по лагу V_L изменяется на значение суммарных потерь, обусловленных ветром и волнением (ΔV_C):

$$V'_L = V_L - \Delta V_C. \quad (10)$$

Тогда формула (9) принимает вид

$$V = (V_L - \Delta V_C) \sqrt{1 + 2v'_{om} \cdot \cos q_T + (v'_{om})^2}, \quad (11)$$

$$v'_{om} = \frac{v_T}{V_L - \Delta V_C},$$

где v'_{om} — относительная скорость течения при наличии ветра и волнения.

Из формулы (11) следует, что абсолютная скорость судна при воздействии течения, ветра и волнения зависит от скорости и курсового угла течения, а также от суммарных потерь скорости судна, обусловленных ветром и волнением.

Заключение

При построении рационального маршрута плавания нет постоянной географической привязки, его общая длина является переменной величиной, и коэффициент извилистости всегда превышает единицу. Дополнительное увеличение пути в старых льдах за счет их обхода составляет 10—30 %.

В общем, выбор рационального маршрута плавания необходимо осуществлять в следующих случаях:

- при движении по кратчайшему пути через зоны, в которых общая сплоченность льда минимальна;
- там, где более всего молодых форм льда;
- при минимальной торосистости льда.

Основным критерием, используемым для выбора построения рационального маршрута, являются суммарные затраты времени на длительность перехода.

Список литературы

1. Гордиенко А.И., Дремлюг В.В. Гидрометеорологическое обеспечение судовождения. Учебник для вузов морского транспорта. М.: Транспорт, 1989. 240 с.
2. Иоханнесен О.М., Александров В.Ю., Фролов И.Е. и др. Научные исследования в Арктике. Т. 3. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение, применение. СПб: Наука, 2007. 512 с.
3. Клюев В.В. Формализация оценки безопасности акватории Северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 4 (38). С. 69—74.
4. Королёв И.Ю. Оценка допустимого отклонения пути судна от обследованной полосы // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 6 (40). С. 105—112.
5. Лебедев Г.В. Развитие арктической морской транспортной системы / В сб. научных трудов ЗАО ЦНИИМФ: Техническая эксплуатация морского транспорта. СПб, 2014. С. 77—84.
6. Мироненко А.А. Градиентная модель программного движения судна // Навигация и гидрография. 2012. № 34. С. 35—42.
7. Миронов Е.У., Ашик И.М., Дымов В.И. и др. Модели и методы расчета и прогноза ледовых и океанографических условий в Арктических морях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 16—28.
8. Некрасов С.Н. Теоретические основы автоматизации кораблевождения. СПб: изд-во СПбВМИ, 2002. 250 с.
9. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. СПб: изд-во ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010. 274 с.
10. Рукша В.В., Белкин М.С., Смирнов А.А., Арутюнян В.Г. Структура и динамика грузоперевозок по Северному морскому пути: история, настоящее и перспективы // Арктика: экология и экономика. 2015. № 4 (20). С. 104—110.