

FINDING THE OPTIMAL VESSEL ROUTE USING A MODIFIED A-STAR ALGORITHM

A. L. Olovyannikov

Maritime State University named after G. I. Nevelskoi,
Vladivostok, Russian Federation

This paper addresses the problem of determining a safe ship route considering the hydro-meteorological conditions along the route. The solution is proposed using graph theory. The shortest route for an ocean crossing is a Great Circle, so the graph is constructed around the Great Circle. The graph nodes are spaced at intervals corresponding to 12 hours of ship passage. For each node, current and forecasted hydro-meteorological data on wind, waves, and surface currents are assigned. A modified A (A-Star) algorithm is proposed to solve this problem. Instead of distance, the heuristic function uses the shortest travel time, accounting for speed reductions or increases due to hydro-meteorological influences on each segment between adjacent graph vertices. The proposed algorithm demonstrates high speed in finding the optimal path. Computer simulations illustrate the results of the modified algorithm. The results show significant time savings when navigating the optimal route compared to the Great Circle. This method can be used to develop systems for automated planning of optimal routes considering changing environmental conditions.*

Keywords: A-Star algorithm, hydrometeorological parameters, optimal routing, weather routing, ship speed calculation.

For citation:

Olovyannikov, Arkadiy L. "Finding the optimal vessel route using a modified A-Star algorithm." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.3 (2025): 418–424. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-418-424.

УДК 004.94, 656.61.052

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА A-STAR

А. Л. ОЛОВЯННИКОВ

ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»,
г. Владивосток, Российская Федерация

Темой исследования является проблема прокладки безопасного маршрута судна с учетом гидрометеорологической обстановки в районе его следования. Решение задачи предлагается с использованием теории графов. Кратчайшим маршрутом при океанском переходе является дуга большого круга, вокруг которой строится граф. Узлы графа отстоят друг от друга на расстоянии 12-часового перехода судна. Для узлов графа определяется текущая и прогностическая гидрометеорологическая информация о ветре, волнении и поверхностном течении. Для решения этой задачи предлагается использовать модифицированный алгоритм A (A-Star). В качестве эвристической функции используется не расстояние, а кратчайшее время прохождения маршрута с учетом потерь или приращения скорости из-за влияния гидрометеорологических факторов на каждом отрезке пути между соседними вершинами графа. Предлагаемый алгоритм обладает высокой скоростью нахождения оптимального пути. Проведено компьютерное моделирование, иллюстрирующее результат работы предлагаемого модифицированного алгоритма. Полученные результаты показывают возможность значительной экономии времени при плавании по оптимальному маршруту по сравнению с плаванием по дуге большого круга. Предложенный метод может быть использован для создания систем автоматизированной прокладки оптимальных маршрутов с учетом меняющихся условий окружающей среды.*

Ключевые слова: алгоритм A-Star, гидрометеорологические параметры, оптимальный маршрут, погодный маршрут, потери скорости судов.

Для цитирования:

Оловяников А. Л. Нахождение оптимального маршрута судна с использованием модифицированного алгоритма A-Star / А. Л. Оловяников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 3. — С. 418–424. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-418-424. — EDN QMMFUL.

Введение (Introduction)

Планирование пути означает определение оптимального пути между начальной и конечной точками в пределах заданной карты или пространственной области с учетом конкретных требований и ограничений, включая погодные условия. Традиционные алгоритмы планирования пути предусматривают поиск по принципу «наилучшего первого» (Best-first search (BFS)), алгоритм Дейкстры, алгоритм A* и их модификации [1], [2]. BFS может обнаруживать пути значительно быстрее, чем алгоритм Дейкстры. Однако BFS действует оптимистично и пытается продвигаться к цели, даже если путь не лучший. Несмотря на то, что алгоритм Дейкстры может найти оптимальный путь, он требует значительного количества вычислительных ресурсов. Эвристический метод поиска A* был разработан для объединения преимуществ методов BFS и Дейкстры. По сравнению с алгоритмом Дейкстры эффективность поиска пути алгоритма A* выше.

В настоящей статье рассматривается один из подходов к расчету оптимальных маршрутов судов в условиях их автоматизированной проводки с учетом гидрометеорологических условий плавания [3]. Неблагоприятные гидрометеорологические условия создают опасность для мореплавания и увеличивают продолжительность рейсов. Ветер и волны в океане являются основными факторами, влияющими на безопасность и эффективность плавания. Минимальное расстояние между двумя точками на поверхности Земли определяется по дуге большого круга (ДБК), однако кратчайший путь, как правило, не является оптимальным по времени и безопасным для перехода судна [4], [5]. Традиционно алгоритм A* использует кратчайшее расстояние как эвристическую функцию для поиска оптимального пути [6]. В работе предлагается использовать для этого время перехода с учетом влияния волнения, ветра и течений на скорость судна.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В качестве примера для исследования был выбран переход Сан-Франциско – Токио через Тихий океан. Для моделирования использовалось условное судно водоизмещением 15000 т и скоростью на тихой воде 15 уз. Учитывая, что кратчайшим маршрутом через океан является дуга большого круга (ДБК), был построен граф вокруг ДБК между двумя пунктами, расширяющийся к центру ДБК (рис. 1). Расстояние и начальный курс между точками ДБК можно рассчитать по формулам:

$$\cos D = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \Delta\lambda; \quad (1)$$

$$\tan K = \frac{\sin \Delta\lambda}{\cos \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \Delta\lambda}. \quad (2)$$

Координаты промежуточных точек ДБК для построения графа на расстоянии D_x от начальной точки:

$$\sin \varphi_x = \sin \varphi_1 \cdot \cos D_x + \cos \varphi_1 \cdot \sin D_x \cdot \cos K; \quad (3)$$

$$\lambda_x = \lambda_1 \pm \arccos \left(\frac{\cos D_x - \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_x}{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_x} \right) \quad (4)$$

Расстояние между узлами графа вдоль ДБК соответствует 12-часовому переходу судна (120 миль). Расстояние между соседними узлами перпендикулярно ДБК — 20 миль.

Реальные гидрометеорологические данные по маршруту перехода были получены из открытых источников: данные по ветру и волнению — с использованием программы XyGrib [7] в формате GRIB2, данные по поверхностным течениям — с помощью сервиса OSCAR [8] в формате netCDF — 4. Полученные данные имеют дискретность 15' по широте и долготе, поэтому значения гидрометеорологических параметров для узлов графа рассчитаны с помощью интерполяции соседних значений. Пример загруженных данных о ветре представлен на рис. 2.

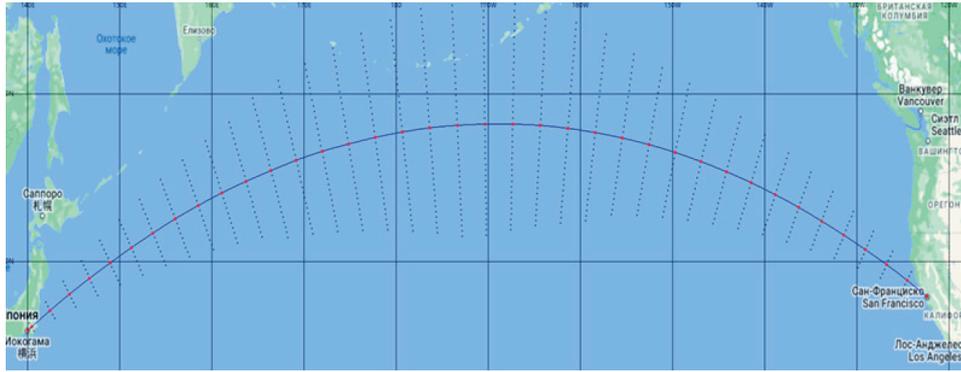


Рис. 1. ДБК и граф перехода Сан-Франциско – Токио

Для построения оптимального пути на полученном графе с учетом гидрометеорологических условий использовался алгоритм A* (A-star). A* — алгоритм информированного поиска, или поиск по принципу «сначала лучшее». Это означает, что он сформулирован в терминах взвешенных графов, т. е. начиная с определенного начального узла графа, он стремится найти путь к заданному целевому узлу, имеющему наименьшую стоимость (наименьшее пройденное расстояние). Это достигается путем поддержания *дерева путей*, берущих начало в начальном узле, и расширения их по одному ребру за один раз до тех пор, пока не будет достигнут целевой узел.

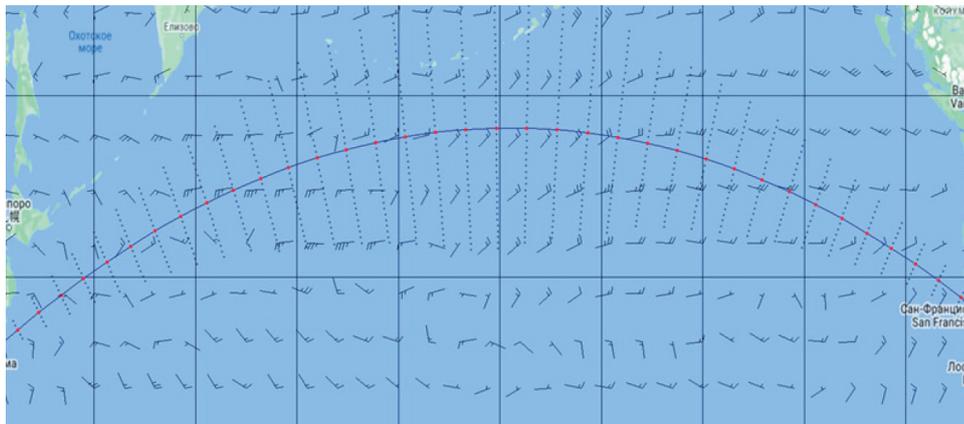


Рис. 2. Распределение ветра на переходе Сан-Франциско – Токио

На каждой итерации своего основного цикла A* необходимо определить, какой из путей следует расширить. Это делается на основе стоимости пути и оценки стоимости, необходимой для продления пути до цели. В частности, A* выбирает путь, минимизирующий функцию:

$$f(n) = g(n) + h(n), \quad (5)$$

где n — следующий узел на пути;

$g(n)$ — стоимость пути от начального узла до n ;

$h(n)$ — эвристическая функция, оценивающая стоимость наиболее экономичного пути от n до цели.

Эвристическая функция зависит от проблемы. Если эвристическая функция допустима, т. е. она никогда не переоценивает фактическую стоимость достижения цели, A* гарантированно вернет путь с наименьшими затратами от начала до цели. Типичные реализации A* используют очередь с приоритетом для повторного выбора узлов с минимальной (оценочной) стоимостью для рас-

ширения. На каждом шаге алгоритма узел с наименьшим значением $f(x)$ удаляется из очереди, значения f и g его соседей, соответственно, обновляются, и добавляются в очередь. Алгоритм продолжается до тех пор, пока удаленный узел (с наименьшим значением f из всех конечных узлов) не станет целевым.

В качестве стоимости использовалось кратчайшее время перехода. Для этого расстояние между соседними узлами графа рассчитывалось по формуле (1), а скорость судна с учетом гидрометеорологических условий — следующим образом: сначала учитывалось влияние течения, затем — ветра. Учет течения:

$$V = V_{\tau} \cdot \cos q + \sqrt{V_0^2 + (V_{\tau} \cdot \sin q)^2}; \quad (6)$$

$$K = K_0 + \arctan \left(\frac{V_{\tau} \cdot \sin q}{\sqrt{V_0^2 + (V_{\tau} \cdot \sin q)^2}} \right), \quad (7)$$

где K_0, V_0 — соответственно курс и скорость без учета течения;
 K, V — соответственно курс и скорость с учетом течения,
 V_{τ} — скорость течения;
 q — курсовой угол течения.

Среди эмпирических формул определения ветро-волновых потерь скорости судов была выбрана формула П. М. Хохлова [9] в связи с ее простотой и удобством использования:

$$V = V_0 - (0,745h - 0,275qh)(1 - 1,3510^{-6} DV_0), \quad (8)$$

где V_0 — скорость судна без учета ветра, рассчитанная по формуле (6), уз;
 q — курсовой угол волны, рад.;
 D — водоизмещение, т;
 h — высота волн 3 % обеспеченности, м.

Учитывая, что в информации о волнении приведена высота «значительных» волн, для получения высоты волн 3%-й обеспеченности использовался коэффициент 1,32. Время перехода между узлами графа рассчитывалось как отношение S/V .

Результаты (Results)

Для проверки работы алгоритма и отображения результатов было проведено моделирование в среде программирования Visual Studio. Результаты исследования показали применимость предлагаемого метода для поиска оптимального пути. Графическое отображение оптимального пути представлено на рис. 3. Сплошной линией показана ДБК, пунктиром отмечен оптимальный маршрут. Результаты расчетов приведены в таблице (с. 422).

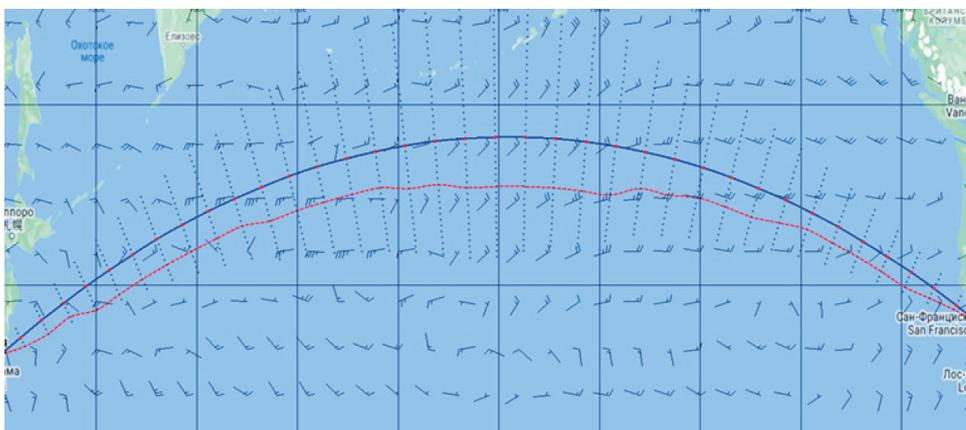


Рис. 3. ДБК и оптимальный маршрут на переходе Сан-Франциско – Токио

Результаты расчетов плавания по ДБК и оптимальному пути

№ п/п.	ДБК				Оптимальный маршрут			
	Координаты	S	V	T	Координаты	S	V	T
0	37°40,4'N; 122°25,9'W	120,0	15,0	8,0	37°40,4'N; 122°25,9'W	121,7	15,0	8,1
1	38°44,5'N; 124°35,0'W	120,0	13,6	8,8	38°27,5'N; 124°48,4'W	121,7	13,8	8,8
2	39°46,1'N; 126°48,0'W	120,0	14,5	8,3	39°11,5'N; 127°14,1'W	121,8	14,8	8,2
3	40°45,1'N; 129°04,9'W	120,0	14,9	8,0	39°52,5'N; 129°42,8'W	120,0	15,0	8,0
4	41°41,4'N; 131°25,9'W	120,0	15,0	8,0	40°48,0'N; 132°02,3'W	120,0	15,0	8,0
5	42°34,6'N; 133°50,9'W	120,0	15,0	8,0	41°40,5'N; 134°25,8'W	120,0	14,9	8,0
6	43°24,8'N; 136°20,0'W	120,0	15,0	8,0	42°29,9'N; 136°53,1'W	120,0	15,0	8,0
7	44°11,6'N; 138°53,1'W	120,0	14,9	8,1	43°16,0'N; 139°24,3'W	121,8	15,1	8,1
8	44°54,9'N; 141°30,1'W	120,0	14,9	8,1	43°39,9'N; 142°08,8'W	121,8	14,9	8,1
9	45°34,6'N; 144°11,0'W	120,0	14,8	8,1	43°59,7'N; 144°55,3'W	119,9	15,0	8,0
10	46°10,4'N; 146°55,5'W	120,0	13,0	9,2	44°34,5'N; 147°35,6'W	119,9	14,9	8,1
11	46°42,2'N; 149°43,4'W	120,0	13,1	9,1	45°05,3'N; 150°19,0'W	121,7	14,9	8,1
12	47°09,8'N; 152°34,4'W	120,0	13,3	9,0	45°12,6'N; 153°11,3'W	119,9	14,9	8,0
13	47°33,1'N; 155°28,2'W	120,0	13,2	9,1	45°35,0'N; 155°58,9'W	126,5	14,9	8,5
14	47°52,0'N; 158°24,3'W	120,0	13,2	9,1	45°13,6'N; 158°56,6'W	119,7	14,8	8,1
15	48°06,3'N; 161°22,4'W	120,0	14,3	8,4	45°27,2'N; 161°45,8'W	119,7	14,9	8,0
16	48°16,1'N; 164°21,8'W	120,0	14,4	8,4	45°36,4'N; 164°36,2'W	119,7	14,8	8,1
17	48°21,1'N; 167°22,1'W	120,0	14,5	8,3	45°41,1'N; 167°27,3'W	119,7	14,9	8,0
18	48°21,4'N; 170°22,6'W	120,0	14,1	8,5	45°41,4'N; 170°18,7'W	119,7	14,2	8,4
19	48°17,1'N; 173°23,0'W	120,0	14,3	8,4	45°37,3'N; 173°09,9'W	121,5	14,8	8,2
20	48°08,0'N; 176°22,6'W	120,0	14,3	8,4	45°48,6'N; 176°03,1'W	119,8	14,4	8,3
21	47°54,3'N; 179°20,8'W	120,0	14,4	8,4	45°35,6'N; 178°53,6'W	121,6	14,9	8,1
22	47°36,1'N; 177°42,8'E	120,0	14,8	8,1	45°37,8'N; 178°12,6'E	119,9	15,1	8,0
23	47°13,4'N; 174°48,6'E	120,0	14,9	8,0	45°16,0'N; 175°24,6'E	119,9	14,8	8,1
24	46°46,3'N; 171°57,2'E	120,0	14,8	8,1	44°49,9'N; 172°39,0'E	119,9	15,0	8,0
25	46°15,1'N; 169°08,8'E	120,0	14,6	8,2	44°19,8'N; 169°56,1'E	119,9	14,6	8,2
26	45°39,9'N; 166°23,8'E	120,0	14,5	8,3	43°45,8'N; 167°16,2'E	121,8	15,0	8,1
27	45°00,8'N; 163°42,4'E	120,0	14,8	8,1	43°26,8'N; 164°30,1'E	119,9	15,0	8,0
28	44°17,9'N; 161°04,8'E	120,0	14,5	8,2	42°45,1'N; 161°56,1'E	119,9	15,0	8,0
29	43°31,6'N; 158°31,2'E	120,0	14,7	8,2	41°59,9'N; 159°25,7'E	119,9	14,7	8,2
30	42°41,9'N; 156°01,5'E	120,0	14,8	8,1	41°11,5'N; 156°59,0'E	119,9	15,1	7,9
31	41°49,0'N; 153°36,0'E	120,0	14,6	8,2	40°19,9'N; 154°36,1'E	119,9	15,2	7,9
32	40°53,2'N; 151°14,4'E	120,0	14,3	8,4	39°25,3'N; 152°16,9'E	119,9	15,2	7,9
33	39°54,6'N; 148°56,9'E	120,0	15,2	7,9	38°28,0'N; 150°01,4'E	126,8	14,8	8,5
34	38°53,3'N; 146°43,4'E	120,0	15,5	7,8	38°02,1'N; 147°23,3'E	120,0	15,1	7,9
35	37°49,6'N; 144°33,7'E	120,0	13,7	8,7	36°59,1'N; 145°14,6'E	121,8	15,8	7,7
36	36°43,6'N; 142°27,8'E	120,0	12,7	9,4	36°10,4'N; 142°55,6'E	126,6	14,4	8,8
37	35°35,4'N; 140°25,5'E	25,5	15,0	1,7	35°35,4'N; 140°25,5'E	25,5	15,0	1,7
Итого		4465,5	14,3	311,2		4499,4	14,9	302,4

Как видно из результатов, несмотря на то, что оптимальный маршрут более 33,9 миль, время в пути меньше на 8,8 ч. Средняя скорость при следовании по оптимальному пути составила 14,9 уз, по ДБК — 14,3 уз. Для более тихоходных судов экономия времени еще более значительная. Так, для судна дедвейтом 10000 т и скоростью 10 уз на том же переходе при тех же погодных условиях экономия времени составляет 29,6 ч. Столь значительная экономия времени возникла из-за сильных встречных ветров во второй половине пути при следовании по ДБК. Так, обратный маршрут Токио – Сан-Франциско при тех же погодных условиях позволяет сэкономить лишь около 5 ч при увеличении маршрута на 30 миль.

Следует отметить, что задачей моделирования являлась проверка принципиальной применимости алгоритма А* для поиска оптимального пути с учетом гидрометеорологических факторов. Поэтому реальные гидрометеорологические данные были взяты за один день. Понятно, что в реаль-

ных условиях необходимы как текущие, так и прогностические данные по маршруту перехода. Указанные сервисы позволяют получить такие данные с прогнозом на 10 дней с обновлением через 6 ч. Алгоритм A^* позволяет также обходить препятствия [6], [10]. Для этого необходимо узлы графа в области препятствий пометить как запретные, не учитывая их при нахождении оптимального пути.

Обсуждение (Discussion)

Анализ полученных результатов показывает, что использование алгоритма A^* по затраченному времени позволяют найти оптимальный маршрут с экономией времени по сравнению с кратчайшим путем, однако предлагаемая модель имеет ряд ограничений:

Используемая формула П. М. Хохлова для определения ветро-волновых потерь скорости судов подходит для судов водоизмещением 5000–25000 т и скоростью 9–20 уз. Для лучшего результата и снятия ограничений можно воспользоваться формулой В. В. Дремлюга [9].

Для получения оптимального пути в реальных условиях необходимо использовать как текущие, так и прогностические данные с интерполяцией по времени и координатам.

Кроме потерь скорости судна, необходимо также учитывать безопасность судна при неблагоприятных погодных условиях. В работе такими условиями являются скорость ветра более 25 м/с и волнение более 5 м. Районы с такими пороговыми значениями ветра и волнения судну следует избегать. Необходимо также учитывать потерю остойчивости на попутном волнении и опасность слеминга.

Заключение (Conclusion)

Выбор оптимального пути является одной из важнейших оперативных мер по обеспечению безопасной и эффективной навигации. Соответственно метеорологическая маршрутизация может способствовать повышению энергоэффективности, сокращению выбросов и экономии затрат на маршруте.

Целью данного исследования являлась разработка системы метеорологической маршрутизации для плавания судна на основе алгоритма A^* . Функция стоимости алгоритма была дополнительно изменена для учета океанических и атмосферных условий вокруг судна. Функция исключения неблагоприятных узлов из поиска также была включена в систему путем установления пороговых значений ветра и волнения. Кроме нахождения оптимального по времени маршрута, алгоритм также показал возможность обхода препятствий.

Недорогая эвристика алгоритма A^* использовалась для сокращения времени вычислений при поиске оптимального маршрута, и было подтверждено, что условия приемлемости и оптимальности полученного оптимального маршрута выполняются.

Алгоритм A^* является не только одним из самых быстрых алгоритмов поиска оптимального пути, но и достаточно гибким [2]. В данном исследовании в качестве целевой функции принималось кратчайшее время перехода судна, которое в дальнейшем можно адаптировать к минимизации расхода топлива на переходе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веремей Е. И.* Алгоритмы оптимизации маршрутов движения с учетом погодных условий / Е. И. Веремей, М. В. Сотникова // International Journal of Open Information Technologies. — 2016. — Т. 4. — № 3. — С. 55–61. — EDN VOQQT D.
2. *Чабак А. А.* Обзор актуальных алгоритмов по оптимизации маршрутов автономных судов / А. А. Чабак // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 2. — С. 259–270. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-2-259-270. — EDN BSTKWV.
3. *Chen G.* Research on Ship Meteorological Route Based on A-Star Algorithm / G. Chen, T. Wu, Z. Zhou // Mathematical Problems in Engineering. — 2021. — Vol. 2021. — Is. 1. — Pp. 9989731. DOI: 10.1155/2021/9989731.
4. *Walther L.* Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing / L. Walther, A. Rizvanoli, M. Wendebourg, C. Jahn // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. — 2016. — Vol. 4. — Pp. 31–45. DOI: 10.1016/j.enavi.2016.06.004.

5. Perera L. P. Weather routing and safe ship handling in the future of shipping / L. P. Perera, C. G. Soares // *Ocean Engineering*. — 2017. — Vol. 130. — Pp. 684–695. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.09.007.
6. Goldberg A. V. Computing the shortest path: A search meets graph theory / A. V. Goldberg, C. Harrelson // *Proceedings of the Sixteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* — Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005. — Pp. 156–165.
7. OpenGribs [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://opengribs.org> (дата обращения: 29.07.2024).
8. Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR) Surface Currents [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://podaac.jpl.nasa.gov> (дата обращения: 29.07.2024).
9. Бояринов А. М. Анализ применимости формул расчета ветро-волновых потерь скорости хода морских судов / А. М. Бояринов, А. А. Ершов, С. М. Пылаев // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1168–1174. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1168-1174. — EDN YLUEZI.
10. Shin Y. W. Near-Optimal Weather Routing by Using Improved A* Algorithm / Y. W. Shin, M. Abebe, Y. Noh, S. Lee, I. Lee, D. Kim, J. Bae, K. C. Kim // *Applied Sciences*. — 2020. — Vol. 10. — Is. 17. DOI: 10.3390/app10176010.

REFERENCES

1. Veremey, E. I. and M. V. Sotnikova. “Optimal routing based on weather forecast.” *International Journal of Open Information Technologies* 4.3 (2016): 55–61.
2. Chabak, A. A. “Overview of current algorithms for autonomous vessels route optimization.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 16.2 (2024): 259–270. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-2-259-270.
3. Chen, G., T. Wu and Z. Zhou. “Research on Ship Meteorological Route Based on A-Star Algorithm.” *Mathematical Problems in Engineering* 2021.1 (2021): 9989731. DOI: 10.1155/2021/9989731.
4. Walther, L., A. Rizvanolli, M. Wendebourg and C. Jahn. “Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing.” *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy* 4 (2016): 31–45. DOI: 10.1016/j.enavi.2016.06.004.
5. Perera, L. P. and C. G. Soares. “Weather routing and safe ship handling in the future of shipping.” *Ocean Engineering* 130 (2017): 684–695. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.09.007.
6. Goldberg, A. V. and C. Harrelson. “Computing the shortest path: A search meets graph theory.” *Proceedings of the Sixteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005: 156–165.
7. OpenGribs Web. 29 July 2024 <<https://opengribs.org> (дата обращения: 29.07.2024)>.
8. Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR) Surface Currents Web. 29 July 2024 <<https://podaac.jpl.nasa.gov>>.
9. Boyarinov, A. M., A. A. Ershov and S. M. Pylaev. “Analysis of the applicability of the formulas the calculation of the loss of ships speed due to wind and waves.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 9.6 (2017): 1168–1174. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1168-1174.
10. Shin, Y. W., K. C. Kim, et al. “Near-Optimal Weather Routing by Using Improved A* Algorithm.” *Applied Sciences* 10.17 (2020). DOI: 10.3390/app10176010.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Оловянный Аркадий Львович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»
690003, Российская Федерация,
г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50а
E-mail: ark@msun.ru, arkolovyan@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olovyannikov, Arkadiy L. —
PhD of Technical Sciences, associate professor
Maritime State University named
after admiral G. I. Nevelskoy
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok,
690003 Russian Federation
e-mail: ark@msun.ru, arkolovyan@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04 апреля 2025 г.
Received: Apr. 4, 2025.