

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-735-743

SHIP ROUTE SIMULATION BASED ON THE CLUSTER ANALYSIS

D. A. Akmaykin, V. V. Bocharova, S. F. Klyueva

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

The problem of safe ship's route planning at the variable hydrometeorological situation along the route is considered in the paper. The problem solved in the paper is based on the division of the water area into separate clusters, depending on its characteristics. The route from Busan Port to Kushiro Port is used as an example. The specifics of this route is that it runs through the open sea, and through the straits and archipelagos. The aim of the work is to automate the process of planning the route and adjusting it during the trip, depending on changes in external conditions. The graph theory for modeling a route is proposed in this paper. The construction of graphs is implemented using the cluster analysis method. In the analysis, the water area of the route is divided into separate subareas, depending on the distance to the coast and the depths difference. Open water areas are separated into larger clusters. Near the coast and at shallow depths, clustering is shorter. The cluster centroids are the vertices of the graphs of the future route. As result it is a simulation of graphs of different sizes. The union of graphs forms the hypergraph. The distance is used as the weight of the graph edges. To determine the most preferable route in criteria of speed, cost or safety, weights are added depending on weather and other factors. As a result of this approach, several routes are planning on the hypergraph. Depending on the weight of the priority criteria, a route is selected automatically. The proposed method can be used to create systems for automated planning of optimal routes, taking into account the selected criteria under changing environmental conditions in the process of voyage and replanning it if necessary.

Keywords: vessel safety, hydrometeorological parameters, pitching, sea waves, wind, sea surface, clustering.

For citation:

Akmaykin, Denis A., Victoria V. Bocharova, and Svetlana F. Klyueva. "Ship route simulation based on the cluster analysis." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.5 (2023): 735–743. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-735-743.

УДК 004.94, 656.61.052

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШРУТА СУДНА С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Д. А. Акмайкин, В. В. Бочарова, С. Ф. Ключева

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

Темой исследования является проблема прокладывания безопасного маршрута судна при изменении гидрометеорологической обстановки вдоль маршрута судна. Решение данного вопроса основано на разбиении акватории на отдельные кластеры, зависящие от ее характеристик. В качестве примера в статье используется маршрут от порта Пусан до порта Кусиро. Особенность данного маршрута в том, что он пролегает через открытое море, через проливы и архипелаги. Целью работы является автоматизация процесса прокладки маршрута и корректировки его в процессе движения в зависимости от изменения внешних условий. Предложено моделирование маршрута на основе теории графов. Построение графов реализуется с помощью метода кластерного анализа. В процессе анализа акватория пролегания маршрута разбивается на отдельные части, зависящие от расстояния до берегов и основных глубин. Открытые акватории делятся на кластеры большего размера. Вблизи берегов и на малых глубинах кластеризация является менее масштабной. Центроиды кластеров являются вершинами графов будущего маршрута. Это приводит к моделированию графов разного размера. Объединение графов вдоль маршрута формирует гиперграф. В качестве веса ребер графа использовалось расстояние. Для определения наивыгоднейшего маршрута по критерию скорости, стоимости или безопасности добавляются весовые коэффициенты, зависящие от погодных условий и других факторов. В результате такого подхода на гиперграфе появляется несколько маршрутов. В зависимости от веса приоритетного критерия автоматически выбирается маршрут. Предложенный метод может

быть в дальнейшем использован для создания систем автоматизированной прокладки оптимальных маршрутов с учетом выбранных критериев при изменяющихся условиях окружающей среды в процессе движения и его перестроения при необходимости.

Ключевые слова: безопасность судна, гидрометеорологические параметры, качка, морское волнение, ветер, морская поверхность, кластеризация.

Для цитирования:

Акмайкин Д. А. Моделирование маршрута судна с помощью кластерного анализа / Д. А. Акмайкин, В. В. Бочарова, С. Ф. Ключева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 735–743. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-735-743.

Введение (Introduction)

При построении маршрута движения судна необходимо учитывать воздействие ветра, волн, течений и прочих факторов, оказывающих влияние на безопасность. Учет влияния гидрометеорологической обстановки на судно при построении маршрута перехода является одной из ключевых задач морского судовождения. Постоянное совершенствование средств мониторинга окружающей среды позволяет строить оптимальные маршруты с учетом гидрометеорологических параметров вокруг судна и вдоль предполагаемой траектории [1]. Обновление информации о погодных условиях осуществляется несколько раз в сутки. Поступающая информация является сложной для обработки классическими методами из-за больших объемов. В статье для оценки влияния окружающей среды вдоль предполагаемого маршрута предлагается использовать новый подход в построении графов поиска пути. Построение графов на навигационной карте осложнено отсутствием фиксированных трасс, а учет изменчивости окружающей среды всегда приводит к корректировке первичного маршрута.

В настоящее время оценка окружающей обстановки осуществляется на основе информации, получаемой от береговых служб, и с помощью визуальных наблюдений экипажем судна. На гидрометеорологических картах указываются области высокого и низкого давления, положения их центров и возможные траектории перемещения, проводятся линии раздела различных воздушных масс, зоны осадков, туманов и др. Анализируя полученную информацию при планировании маршрута, судоводитель имеет возможность предпринять меры по уклонению от опасных или нежелательных климатических условий [2]–[4]. Однако масштаб карт погоды и информация, представляемая в метеорологических сообщениях, позволяют выполнить только оценку обстановки и прогноз ее изменения, определить точные параметры гидрометеорологической обстановки в зоне навигации судна с их помощью невозможно, так как при составлении прогнозов не учитывается фактическая погода в районе нахождения судна.

Судоводителю необходимо осуществить всесторонний анализ полученной карты для составления прогноза погоды для собственного судна [4], а также выполнить визуальные наблюдения с мостика судна, на основе которых определяются основные характеристики атмосферы (направление и скорость ветра, видимость, облачность и др.) и состояние водной среды (степень волнения в баллах, параметры ледовой обстановки при наличии, течения и др.). Простых и удобных приборов, которые позволяют производить непосредственно на судне измерение указанных параметров, пока не существует [5]. Однако в штормовых условиях параметры волнения и ветра крайне важны, так как волнение моря ведет к рысканию, потере скорости и качке судна, забрызгиванию и заливанию палуб, понижению дальности обнаружения целей радиолокационными и гидроакустическими станциями. Деформация и напряжение, испытываемые корпусом судна при плавании на попутном или встречном волнении, иногда бывают столь значительны, что происходит разрушение конструкций, нередко приводящее к гибели судна. Волнение в мелководных районах опасно тем, что судно начинает бить килем о грунт.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Методы построения оптимальных маршрутов морских судов В настоящее время существует большое количество средств дистанционного зондирования, позволяющих получить информацию

о состоянии атмосферы и гидросферы Земли практически в реальном времени. В рамках развития e-Navigation на судах возможно использование данных, получаемых такими средствами практически в реальном времени. Для измерения параметров приповерхностного ветра над морской поверхностью в настоящее время используются спутниковые радиометры (скаттерометры, радиовысотометры и радиолокационные станции с синтезированной апертурой антенны). Данные устройства позволяют измерять параметры ветра с пространственным разрешением 25 км, погрешностью определения скорости ветра ± 2 м/с или 10 % и направления $\pm 20^\circ$, высоту морского волнения с погрешностью $\pm 0,5$ м/с или 10 % и направления $\pm 10^\circ$. Спутниковые алгоритмы определения гидрометеорологических параметров не всегда имеют однозначную взаимосвязь с принятым сигналом, ветром и волнением. На принятый сигнал влияет ряд факторов, в том числе наличие водяного пара в атмосфере, облаков, дождя, поверхностной температуры и даже флуктуации параметров радиометра [6]–[8], но при этом они позволяют получить оперативную информацию о состоянии морской поверхности большой площади с пространственным разрешением, достаточным для точного прогнозирования маршрута перехода. Исследования, направленные на оптимизацию расходов на переход судна между портами, всегда вызывали интерес исследователей, занимающихся вопросами перевозки грузов морем. Развитие математических методов, коммуникационной техники и вычислительных возможностей компьютерного оборудования привело к развитию методов оптимального управления, к которым относится создание программ и алгоритмов нахождения оптимальных траекторий движения судов [9]–[11].

В настоящее время для автоматизированного поиска оптимального маршрута судна используются алгоритмы, основанные на теории графов и теории многокритериальной оптимизации [12]–[15]. Информация о районе плавания в графах маршрута имеет различное представление. При этом граф задается по точкам в пределах гарантированной полосы пропускания. Такой граф маршрута судна является ориентированным, т. е. представлен в виде направленной последовательности поворотных точек (вершин) и ребер графа (отрезки пути судна). Таким образом, исходная трасса морского пути в заданной акватории океана задана связным графом $G = (V, E)$, где $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ — множество всех вершин графа, которые являются портами (пунктами) либо точками поворота; $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ — множество всех ребер графа. Каждому ребру поставлены в соответствие упорядоченная пара вершин $(v_i, v_j) \in E$ и вес ребра $w_{i,j}$ — вектор значений коэффициентов: протяженность пути между смежными вершинами S_{ij} , ходовое время t_{ij} , стоимость перехода c_{ij} и безопасность мореплавания $P_{\text{без}}$. Задача заключается в формировании оптимального (наивыгоднейшего) маршрута судна, который является безопасным и минимальным по стоимости или времени перехода.

Кратчайший путь может оказаться не самым безопасным, и время перехода с учетом внешних факторов может быть не самым быстрым, но если параметры безопасности соответствуют рекомендациям, обеспечивают сохранность груза и судна и стоимость перехода удовлетворяет требованиям, то решение найдено. В противном случае следует исключить этот вариант из области допустимых решений и перейти к поиску маршрута, удовлетворяющего требованиям безопасности и стоимости (стоимость перехода, расходы топлива и другие затраты).

Методы и алгоритмы поиска минимального по стоимости и протяженности маршрута основаны на эвристических оценочных функциях. Формирование вектора эвристических оценок $Est(V)$ для графа $G(V, E)$ основано на сопоставлении вершин графа с некоторым целым числом с учетом перспективности раскрытия вершины и безопасности участка трассы до указанной вершины. Перспективность раскрытия вершины оценивается глубиной вложенности вершин графа от целевой вершины к начальной вершине по каждому из возможных направлений.

Кластеризация навигационной карты. Теория графов широко применяется для решения многих прикладных задач в различных областях исследований. При наличии большого количества исходных данных решить такую задачу становится невозможно, так как построение графа основано на миллионах точек. Примером такой задачи является программное формирование графа маршрутов судов в том или ином морском районе. Из-за вычислительных ресурсов компьютеров невозможно изучить все возможные варианты и найти решение. Поэтому при решении подобной

задачи нужен способ группировки точек и областей по наиболее важным для дальнейшей работы критериям. Краеугольным камнем таких решений является кластерный анализ. Его применение позволит проводить анализ районов плавания с учетом погрешностей, неточностей и погрешностей при оцифровке навигационных карт, а также появится возможность построения маршрута судна в автоматическом режиме [16], [17].

Качество кластеризации определяется метрикой, которая является мерой «похожести» объектов на основе их наиболее важных признаков. Навигация выполняет кластеризацию по ряду навигационных параметров. Одними из важных параметров являются глубина и расстояние между точками цифровой карты [18]. На основе проведенной кластеризации выполняется автоматизация формирования маршрутов для судов. Этот подход особенно актуален для реализации навигации в мелководных архипелажных районах вдоль береговой линии.

Общая постановка задачи. Район плавания показан на рис. 1, маршрут выполнен из порта Пусан ($35^{\circ} 06' 10''$ N, $129^{\circ} 02' 25''$ E) в порт Кусиро ($42^{\circ} 58' 30''$ N, $144^{\circ} 22' 28''$ E). Карты волнения и ветра в заданном районе приведены на рис. 2, вычисления выполнены для контрольных точек траектории.

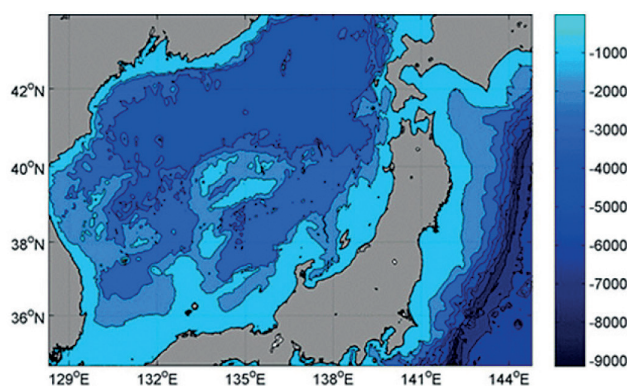


Рис. 1. Район плавания Пусан – Кусиро

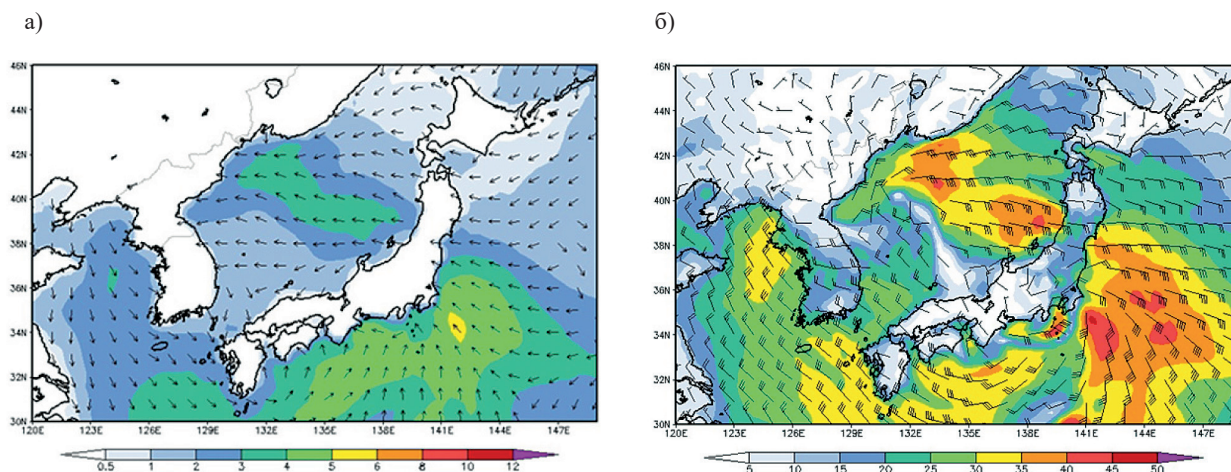


Рис. 2. Волнение (а) и ветер (б) в районе Пусан – Кусиро

Программное моделирование графов маршрутов судов основано на кластеризации исходной цифровой базы данных навигационных районов. Разработанный алгоритм реализован для упрощенной цифровой модели данных, включающей отметки глубин и их географические координаты, отмели и отметки высот.

Граф маршрута должен строиться по результатам кластеризации данных района плавания при заданных начальной и конечной точках маршрута судна и безопасном минимальном уровне глубины. Предлагается формировать вершины графа на основе кластеров глубин и строить ребра графа таким образом, чтобы избежать перекрытия возможных конфигураций с учетом курса корабля.

В такой постановке задача состоит из трех основных этапов:

первый этап — кластеризация объектов (точек) в исходной базе данных;

второй этап — формирование набора вершин графа на основе сформированных кластеров;

третий этап — формирование ребер графа на основе подмножества вершин графа [18].

Результаты (Results)

Программное моделирование выполнено на основе разработанной коллективом авторов данного исследования программы, позволяющей отображать результаты моделирования визуально. Программа выполнена в среде C++. При ее запуске раскрывается форма, приведенная на рис. 3.

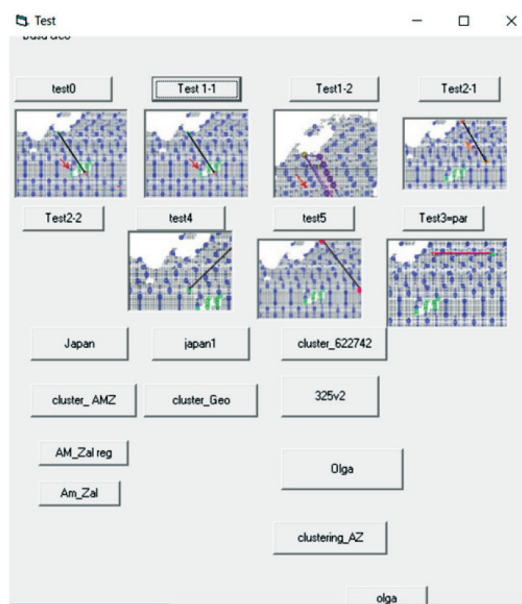


Рис. 3. Интерфейс программы

Построение маршрута движения происходит в несколько этапов. Вначале формируется маршрут судна в виде гиперграфа $G = G1 \cup G2$, состоящего из двух подграфов $G1$ и $G2$. Для того, чтобы начать построение графа, нужно задать начальную точку (исходную) и точку, куда следует судно. Затем программа анализирует расположение кластеров на цифровой карте и строит граф маршрута.

Гиперграф строится на основе проведенной кластеризации глубин (гибридный алгоритм кластеризации на базе метрики по расстоянию и значению глубин) заданного района плавания [18], [19], где вершинами графа являются центры кластеров, расположенные вокруг линии, соединяющей начальную и конечную точки на заданном расстоянии (рис. 4).



Рис. 4. Гиперграф маршрута судна на основе кластеризации глубин

При этом граф G1 построен на основе кластеров большого радиуса (45–100 миль) соответственно большим глубинам (более 2000 м). Граф G2 (прямоугольная область, соответствующая области Сангарского пролива) строится на базе кластеров меньшего радиуса (10 миль) с учетом сложной береговой черты в данной области. Ребра графа G2 формируются на основе центров кластеров Сангарского пролива, при этом начальной вершиной служит конечная вершина графа G1. Параметры кластеризации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры кластеризации по глубинам

Параметры	Граф G1	Граф G2
Число кластеров	36	99
Радиус кластеров, мили	45	10
Число точек	184325	16045
Коэффициенты кластеризации	$d_p = 0,55; d_h = 0,45$	$d_p = 0,45; d_h = 0,55$
Средний уровень глубин, м	1634	1010

Вычисления выполнены для типового судна-танкера водоизмещением 18904 т; дедвейт 14359 т; длина 120,07 м; ширина 21 м; высота борта 12,3 м; скорость максимальная 12,5 уз. Соответственно в грузу при осадке 9,5 м высота надводного борта 12,3 м, высота надстройки 30 м. Парусность судна рассчитывается по методике, предложенной в работе [20], с учетом коэффициента парусности судовой кормовой надстройки. В табл. 2 приведены результаты моделирования по намеченной траектории с учетом ветра и течения.

Таблица 2

Влияние ветра и волнения на судно

Параметры	Точки маршрута					
	1	2	3	4	5	6
Период встречи с волной	3,098	3,098	4,38	6,197	5,36	4,381
Период собственных колебаний	21,38	21,38	21,38	21,38	21,38	21,38
Истинный ветер	7,1	21,7	21,74	15,2	21,64	21,57
Направление истинного ветра	138,81	139,8	149,2	175,37	163	266,91
Удельное давление ветра на судно	4,04	37,86	37,82	184,49	37,4	37,15
Кренящий момент	3,4	77,13	77,16	37,53	76,29	75,78

В результате обработки данных безопасная траектория движения из порта Пусан в порт Кусиро при указанных погодных условиях проходит через нижнюю часть графа пути судна. Проход через пролив имеет несколько решений и в процессе нахождения кратчайшего пути на графе позволяет построить оптимальный маршрут.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- определение гидрометеорологических параметров вокруг судна является одним из важнейших факторов безопасности мореплавания;
- для построения безопасного маршрута предлагается использовать теорию графов;
- для уменьшения объема вычислений при построении графов применен кластерный анализ, основными критериями которого являются глубина и расстояние до берега;

- на сформированном гиперграфе можно выстроить несколько маршрутов, для выбора оптимального используются такие критерии, как скорость, стоимость и безопасность;
- на основе кластерного моделирования и оценки гидрометеорологической обстановки в районе плавания судна можно осуществить автоматизированное формирование маршрута судна;
- показан принцип построения гиперграфа путей для поиска оптимального маршрута судна без учета дополнительных факторов, оказывающих влияние на безопасность мореплавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акмайкин Д. А. Основные принципы и этапы планирования маршрутов судов / Д. А. Акмайкин, В. В. Бочарова, А. В. Гамс // Эксплуатация морского транспорта. — 2023. — № 1 (106). — С. 50–54.
2. Мезенцева Л. И. Практикум по гидрометеорологическому обеспечению судовождения. Ч. 2: Синоптическая метеорология для судоводителей: учеб. пособие / Л. И. Мезенцева, И. С. Карпушин. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2022. — 168 с.
3. Панов Б. Н. Гидрометеорологическое обеспечение судовождения / Б. Н. Панов. — Керчь: Керченский гос. морской технологический ун-т, 2020. — 173 с.
4. Сухина М. И. Гидрометеорологическое обеспечение судовождения / М. И. Сухина, Г. В. Белокур, А. В. Головкин. — М.: ИНФРА-М, 2022. — 283 с.
5. Гилёв Ю. С. Кораблевождение / Ю. С. Гилёв, С. А. Верещагин, Д. Н. Рубинштейн, В. Н. Пасешниченко. — Владивосток: ТОВМИ им. С. О. Макарова, 2009. — 456 с.
6. Chelton D. B. Scatterometer-Based Assessment of 10-m Wind Analyses from the Operational ECMWF and NCEP Numerical Weather Prediction Models / D. B. Chelton, M. H. Freilich // Monthly Weather Review. — 2005. — Vol.133. — Is. 2. — Pp. 409–429. DOI: 10.1175/MWR-2861.1.
7. Chelton D. B. On the Use of QuikSCAT Scatterometer Measurements of Surface Winds for Marine Weather Prediction / D. B. Chelton, M. H. Freilich, J. M. Sienkiewicz, J. M. Von Ahn // Monthly Weather Review. — 2006. — T. 134. — № 8. — Pp. 2055–2071. DOI: 10.1175/MWR3179.1
8. Risien C. M. A satellite-derived climatology of global ocean winds / C. M. Risien, D. B. Chelton // Remote Sensing of Environment. — 2006. — Vol. 105. — Is. 3. — Pp. 221–236. DOI: 10.1016/j.rse.2006.06.017.
9. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. — М.: Высшая школа, 1989. — 263 с.
10. Галеев Э. М. Оптимизация: теория, примеры, задачи / Э. М. Галеев, В. М. Тихомиров — М.: Эдиториал УРСС, 2000. — 320 с.
11. Моисеев Н. Н. Численные методы в теории оптимальных систем / Н. Н. Моисеев. — М.: Наука, 1971. — 424 с.
12. Акмайкин Д. А. Проект системы оперативного анализа и оптимизации движения морских судов / Д. А. Акмайкин, С. Ф. Ключева, П. А. Салюк // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 1 (29). — С. 229–236. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-229-236.
13. Васьков А. С. Анализ и выбор методов автоматизированного поиска оптимального маршрута в навигационных комплексах / А. С. Васьков, А. А. Мироненко // Сб. науч. тр. НГМА. — 1997. — Т. 2. — С. 103–119.
14. Васьков В. А. Построение программной траектории маневрирования судна при швартовке / В. А. Васьков, А. А. Мироненко // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 4 (58). — С. 25–29.
15. Akmaykin D. A. Solaris' information system for ship's navigation, using operational analysis of shipboard and satellite remote sensing data of hydrosphere and atmosphere / D. A. Akmaykin, D. B. Homenko, P. A. Salyuk, I. E. Stepochkin, K. A. Shmirko // Ocean Remote Sensing and Monitoring from Space. — SPIE, 2014. — Vol. 9261. — Pp. 201–210. DOI: 10.1117/12.2069007.
16. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы / Л. Л. Вагущенко. — Одесса: Феникс, 2004. — 302 с.
17. Дерябин В. В. Планирование перехода в электронных картографических навигационных информационных системах (ЭКНИС): [Электронный ресурс] / В. В. Дерябин. — Электрон. граф. дан. (1,5 Гб). — СПб.: Научные технологии, 2022. — эл. опт. диск в картридже 1USB флеш-накопитель.

18. Акмайкин Д. А. Результаты исследований проблемы моделирования графа маршрута судна на основе алгоритмов кластеризации / Д. А. Акмайкин, С. Ф. Ключева, П. А. Салюк // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 5 (39). — С. 29–38. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-29-38.

19. Кутузов В. М. Морская радиолокация: конспект лекций / В. М. Кутузов, А. А. Коновалов, В. Н. Михайлов. — СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. — 145 с.

20. Дун С. Определение площади и плеча парусности судна-газовоза LNG / С. Дун // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — 2015. — № 4 (111). — С. 218–221.

REFERENCES

1. Akmaykin, D. A., V. V. Bocharova, and A. V. Gams. "Route planning." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1(106) (2023): 50–54.
2. Mezentseva, L. I., and I. S. Karpushin. *Praktikum po gidrometeorologicheskemu obespecheniyu sudovozhdeniya. Chast' 2. Sinopticheskaya meteorologiya dlya sudovoditelei*. Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2022.
3. Panov, B. N. *Gidrometeorologicheskoe obespechenie sudovozhdeniya*. Kerch': Kerchenskii gosudarstvennyi morskoi tekhnologicheskii universitet, 2020.
4. Sukhina, M. I., G. V. Belokur, and A. V. Golovko. *Gidrometeorologicheskoe obespechenie sudovozhdeniya*. M.: INFRA-M, 2022.
5. Gilev, Yu. S., S. A. Vereshchagin, D. N. Rubinshtein, and V. N. Paseshnichenko. *Korablevozhdenie*. Vladivostok: TOVMI im. S. O. Makarova, 2009.
6. Chelton, Dudley B., and Michael H. Freilich. "Scatterometer-based assessment of 10-m wind analyses from the operational ECMWF and NCEP numerical weather prediction models." *Monthly Weather Review* 133.2 (2005): 409–429. DOI: 10.1175/MWR-2861.1
7. Chelton, Dudley B., Michael H. Freilich, Joseph M. Sienkiewicz, and Joan M. Von Ahn. "On the use of QuikSCAT scatterometer measurements of surface winds for marine weather prediction." *Monthly weather review* 134.8 (2006): 2055–2071. DOI: 10.1175/MWR3179.1
8. Risien, Craig M., and Dudley B. Chelton. "A satellite-derived climatology of global ocean winds." *Remote Sensing of Environment* 105.3 (2006): 221–236. DOI: 10.1016/j.rse.2006.06.017.
9. Aleksandrov, A. G. *Optimal'nye i adaptivnye sistemy*. M.: Vysshaya shkola, 1989.
10. Galeev, E. M., and V. M. Tikhomirov. *Optimizatsiya: teoriya, primery, zadachi*. M.: Editoriyal URSS, 2000.
11. Moiseev, N. N. *Chislennyye metody v teorii optimal'nykh sistem*. M.: Nauka, 1971.
12. Akmaikin, D. A., S. F. Klyueva, and P. A. Salyuk. "Proekt sistemy operativnogo analiza i optimizatsii dvizheniya morskikh sudov." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 1(29) (2015): 229–236. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-229-236.
13. Vas'kov, A. S., and A. A. Mironenko. "Analiz i vybor metodov avtomatizirovannogo poiska optimal'nogo marshruta v navigatsionnykh kompleksakh." *Sb. nauchn. tr. NGMA* 2 (1997): 103–119.
14. Vaskov, V. A., and A. A. Mironenko. "Designing of the program trajectory of the vessel maneuvering at mooring." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (58) (2009): 25–29.
15. Akmaykin, Denis A., Dmitriy B. Homenko, Pavel A. Salyuk, Igor E. Steepochkin, and Konstantin A. Shmirko. "Solaris' information system for ship's navigation, using operational analysis of shipboard and satellite remote sensing data of hydrosphere and atmosphere." *Ocean Remote Sensing and Monitoring from Space*. Vol. 9261. SPIE, 2014. 201–210. DOI: 10.1117/12.2069007.
16. Vagushchenko, L. L. *Sudovye navigatsionno-informatsionnye sistemy*. Odessa: Feniks, 2004.
17. Deryabin, V. V. *Planirovanie perekhoda v elektronnykh kartograficheskikh navigatsionnykh informatsionnykh sistemakh (EKNIS)*. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2022.
18. Akmaikin, D. A., S. F. Klyueva, and P. A. Salyuk. "Rezultaty issledovaniy problemy modelirovaniya grafa marshruta sudna na osnove algoritmov klasterizatsii." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 29–38. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-29-38.
19. Kutuzov, V. M., A. A. Kononov, and V. N. Mikhailov. *Morskaya radiolokatsiya: konspekt lektsii*. SPb: SPbGETU "LETI", 2016.
20. Dun, S. "Opredelenie ploshchadi i plecha parusnosti sudna-gazovoza LNG." *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva* 4(111) (2015): 218–221.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Акмайкин Денис Александрович —

кандидат физико-математических наук, доцент
ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»
690003, Российская Федерация,
г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, д. 50а
e-mail: akmaykin@msun.ru

Бочарова Виктория Валерьевна —

кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»
690003, Российская Федерация,
г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, д. 50а
e-mail: Bocharova@msun.ru

Клюева Светлана Федоровна —

кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»
690003, Российская Федерация,
г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, д. 50а
e-mail: klsvetlkl@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Akmaykin, Denis A. —

PhD, associate professor
Maritime State University named
after admiral G. I. Nevelskoy
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,
Russian Federation
e-mail: akmaykin@msun.ru

Bocharova, Victoria V. —

PhD
Maritime State University named
after admiral G. I. Nevelskoy
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,
Russian Federation
e-mail: Bocharova@msun.ru

Klyueva, Svetlana F. —

PhD
Maritime State University named
after admiral G. I. Nevelskoy
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003,
Russian Federation
e-mail: klsvetlkl@gmail.com

Статья поступила в редакцию 4 мая 2023 г.

Received: May 4, 2023.