

УДК 519.68:15:681.5

В.М. Гриняк, Д.А. Акмайкин, Ю.С. Иваненко  
**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ  
ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА СУДНА С УЧЕТОМ  
СПУТНИКОВЫХ МЕТЕОДАНЫХ**

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского  
Дальневосточный федеральный университет*

*Статья посвящена проблеме получения оперативной метеоинформации при планировании оптимальных путей дальнего плавания морских судов. Указывается, что погодные условия по пути следования оказывают существенное влияние на характер движения судна. В связи с этим представляется целесообразным решать оптимизационную задачу динамически, с учётом текущей и прогнозируемой погоды на маршруте и технических возможностей плавания судна в сложных метеоусловиях. Авторы предлагают использовать для этого информацию о погоде, получаемую с помощью специальных метеоспутников. При таком подходе важным является вопрос о характерном возрасте доступных таким образом метеоданных. С целью получения представления об этом аспекте работы метеоспутников в работе ставится и решается задача моделирования движения искусственного спутника Земли в классических представлениях небесной механики, в результате чего получается оценка среднего возраста данных о погоде в той или иной точке поверхности Земли в зависимости от географической широты места, характеристик датчиков и параметров орбиты спутника. Предложен подход к выбору метеоспутников для сбора данных о погоде по планируемому маршруту следования судна, основанный на представлениях задачи массового обслуживания. По результатам моделирования сделан вывод о конструктивной реализуемости идеи планирования маршрута судна с учётом спутниковых данных о погоде существующими техническими средствами.*

**Ключевые слова:** управление движением судов, планирование маршрута, движение спутника Земли, метеоспутник, метеоданные, возраст данных, экспоненциальное распределение.

**Введение.** Планирование оптимальных путей плавания морских судов представляет собой актуальную, ёмкую и многоаспектную проблему, привлекающую внимание многих исследователей [1]. В рамках этой проблемы в настоящее время принято выделять задачи планирования траектории движения судна на локальной акватории и планирования маршрута при дальнем плавании. Целью планирования траектории судна на локальной акватории является обеспечение навигационной безопасности в условиях коллективного движения [2, 3]. Основная цель планирования маршрута дальнего плавания – оптимизация движения, например, плавание по кратчайшему из возможных путей, за кратчайшее время, с минимальным расходом топлива и т.п. (оптимизируемые параметры могут быть самыми различными) [4, 5].

Планирование маршрута при дальнем плавании идёт с учётом многих факторов, основными из которых являются география региона и технические возможности судна (например, максимальная дальность плавания). Существенное влияние на решение соответствующей оптимизационной задачи оказывают и погодные условия по пути следования судна. Так, скажем, характер движения в штормовых условиях коренным образом отличается от такового в спокойную погоду, что для достижения оптимального пути плавания может потребовать реализации совершенно разных маршрутов и режимов движения [6]. При этом следует иметь в виду фундаментальный принцип оптимальности Беллмана, согласно которому оптимальный маршрут плавания есть совокупность оптимальных движений на всём его протяжении [7].

В основу задачи планирования маршрута могут быть положены различные математические модели. Так, в работе [8] используются кривые Безье для поиска маршрута, соответствующего минимальному расходу топлива при плавании из Азии в Северную Америку и обратно с учётом преобладающей розы ветров и течений. Авторы наглядно показывают, что несмотря на то, что найденный оптимальный путь заметно длиннее дуги большого круга, он будет пройден за существенно меньшее время и с меньшим расходом топлива при плавании из Америки в Азию и за несколько большее время, но с меньшим расходом топлива при плавании из Азии в Америку. В работе [9] также оптимизируется плавание на направлении «Азия-Америка-Азия»; для поиска оптимального маршрута плавания применяется модифицированный метод изохрон. При этом учитывается как направление и скорость ветра – для поиска маршрута оптимального по расходу топлива, так и интенсивность волнения – для поиска максимально безопасного маршрута. Из работ отечественных авторов, опубликованных в последнее время, можно, например, отметить работу [10]. В основе разработанных в ней алгоритмов оптимизации лежит представление маршрутов в трехмерном фазовом пространстве, измерениями которого являются координаты объекта на плоскости и время. При таком подходе исходная задача сводится к построению пути в пространстве с обходом препятствий.

В силу постоянного изменения погодных условий по пути следования судна задача планирования оптимального маршрута должна решаться динамически, с учётом текущей и прогнозируемой погоды. В этом случае максимально достоверные сведения о погоде позволяют точнее решить соответствующую оптимизационную задачу. Обычные для морской практики синоптические карты погоды содержат изобетровые и изоволновые линии, проводимые через сотни километров. Их получают 1-4 раза в сутки, что соответствует возрасту данных о погоде 6-24 часов. С учётом характерных скоростей движения судов 10-20 узлов такая

погрешность представлений о погоде влечёт за собой довольно грубую оптимизацию маршрута судна. И здесь представляется перспективным использование информации, предоставляемой специальными метеосервисами по данным спутникового мониторинга [11]. В настоящее время в мире существует большое количество средств дистанционного зондирования, позволяющих получать информацию о состоянии атмосферы и гидросферы Земли практически в реальном времени. Разрешение спутниковых сканеров составляет от 25 км до 2 км, что позволяет делать более точный и оперативный прогноз погоды. Это, в свою очередь, определяет возможность более точной оптимизации маршрута [12]. Орбитальная группировка спутников дистанционного зондирования Земли для измерения скорости приповерхностного ветра над океаном и значимых высот волн в настоящее время насчитывает больше десятка космических аппаратов, и это количество постоянно увеличивается [13-15]. В рамках развития е-Навигации [16] появляется возможность использования спутниковых метеоданных непосредственно на судах.

С точки зрения обсуждаемой задачи планирования маршрута дальнего плавания проблемой использования спутниковых метеоданных является то, что они не обеспечивают глобального актуального представления о состоянии морского волнения и ветра, так как для полного покрытия своими сканерами поверхности Земли одному спутнику требуется от нескольких дней до месяца. Другими словами, данные о погоде по пути следования судна от одного спутника могут оказаться слишком «старыми». Комплексование данных нескольких спутников способно отчасти решить эту проблему, однако оно связано с существенными финансовыми затратами (спутниковые данные – «дорогие» данные) и не всегда способно «окупить» достигаемый результат. Поэтому представляется актуальным исследование характера спутниковых метеоданных в контексте перспективности их использования для решения задачи оптимизации движения судна.

В настоящей работе рассматривается задача моделирования процесса спутникового мониторинга с целью оценки частоты обновления данных о погоде в выбранной точке поверхности Земли, предоставляемых существующими метеосервисами. В основу модели положены известные уравнения движения искусственных спутников по эллиптической орбите. Результаты решения задачи позволяют получить представление о количестве спутников, необходимых для получения актуальных метеоданных и подходе к выбору метеосервисов для оптимального планирования маршрута в том или ином районе Мирового океана.

**Материалы и методы.** Пусть  $xyz$  – правая ортогональная система отсчёта с началом в центре Земли, осью  $z$ , направленной на север и плоскостью  $xy$ , лежащей в плоскости экватора. Движение искусственного

спутника Земли может быть приближённо описано известной ограниченной задачей двух тел [17, 18]

$$\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -\mu G \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3},$$

где  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор спутника,  $G$  – гравитационная постоянная,  $\mu$  – масса Земли. При эллиптическом движении спутника (именно такой характер носит движение всех метеоспутников) решение этого дифференциального уравнения может быть (в свою очередь приближённо) описано известным уравнением Кеплера [18]

$$E - e \sin E = M,$$

где  $M$  – угловое расстояние между перицентром орбиты и радиус-вектором гипотетического тела, движущегося по круговой орбите радиуса, равного большой полуоси  $a$  искомой эллиптической орбиты (средняя аномалия);  $E$  – угловой параметр, используемый для выражения переменной длины радиус-вектора  $\mathbf{r}$ , называемый эксцентрической аномалией;  $e$  – эксцентриситет орбиты.

При известных величинах  $a$  и  $e$ , определяемых параметрами орбиты, значение величины  $M$  в момент времени  $t$  находится по формуле

$$M(t) = (t - t_0) \sqrt{\frac{\mu G}{a^3}},$$

где  $t_0$  – момент времени одного из прохождений спутником перицентра, принимаемый за начало отсчёта, а значение величины  $E$  – путём решения уравнения Кеплера относительно  $E$  численными методами (например, методом простой итерации, где последовательные приближения  $E$  имеют вид  $E_{n+1} = -e \sin E_n + M$ ). После этого находится величина  $\vartheta$  – угол, между радиус-вектором спутника  $\mathbf{r}$  и направлением на перицентр (истинная аномалия), которая связана с эксцентрической аномалией  $E$  уравнением

$$\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}.$$

Длина радиус-вектора  $\mathbf{r}$  равна при этом

$$|\mathbf{r}| = a(1 - e \cos E).$$

Далее могут быть вычислены координаты точки местонахождения спутника в системе координат  $x'y'$ , связанной с эллипсом (начало отсчёта лежит в центре Земли, ось  $x'$  направлена вдоль большой полуоси, ось  $y'$  перпендикулярна ей):

$$\begin{aligned} x' &= |\mathbf{r}| \cos \vartheta, \\ y' &= |\mathbf{r}| \sin \vartheta. \end{aligned}$$

Координаты спутника в системе отсчёта  $xuz$  определяются наклоном орбиты, и положением перицентра относительно системы координат  $xuz$  и вычисляются путём последовательного умножения вектора  $\mathbf{r}' = (x', y', 0)$  на матрицы поворота  $\mathbf{M}_x$ ,  $\mathbf{M}_y$ ,  $\mathbf{M}_z$ , так что

$$\mathbf{r} = \mathbf{M}_x \mathbf{M}_y \mathbf{M}_z \mathbf{r}',$$

где

$$\mathbf{M}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad \mathbf{M}_y = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix},$$
$$\mathbf{M}_z = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – углы поворота вокруг координатных осей.

Зная значение радиус-вектора спутника  $\mathbf{r}$  в момент времени  $t$  легко определить географические координаты точки поверхности Земли, над которой находится спутник

$$LAT(t) = \arcsin\left(\frac{z}{|\mathbf{r}(t)|}\right),$$

$$LON(t) = \arctg(y(t), x(t)) - \omega_3(t - t_0) - L(t_0),$$

где  $LAT(t)$ ,  $LON(t)$  – географические координаты точки трассы спутника,  $\omega_3$  – угловая скорость вращения Земли,  $L(t_0)$  – угловое положение нулевого меридиана Земли в начальный момент времени. Функция арктангенса в данном случае доопределена до области значений  $(-\pi, \pi]$ , так что  $\arctg(y(t), x(t)) = \arctg(y(t)/x(t)) + C$ , а значение константы  $C$  зависит от знака переменных  $x$  и  $y$ .

Измерительные устройства спутников, используемые для определения погодных условий, характеризуются некоторой шириной «видимой» ими полосы поверхности Земли. Имея это в виду и моделируя движение одного или нескольких спутников описанным здесь способом можно получить геометрическое место точек земной поверхности, наблюдаемых спутником на заданном интервале времени. Кроме этого, для каждой точки поверхности возможно определить моменты времени наблюдения её спутником и, соответственно, интервалы времени, прошедшего между наблюдениями. Эти данные позволяют оценить характерный «возраст» спутниковых метеоданных и получить представление об их пригодности для обсуждаемой здесь задачи планирования маршрутов морских судов.

**Результаты.** Исследования проводились на данных о некоторых метеоспутниках, связанных с соответствующими информационными сервисами. Прежде всего интерес представляли спутники, имеющие относительно широкую полосу захвата (Таблица 1) [13, 19, 20].

Таблица 1 - Параметры некоторых метеоспутников

	Название спутника	Высота орбиты, км.	Наклонение орбиты, град.	Ширина полосы захвата, км.
1	QuikScat	803	98.6	1410
2	RapidScat	435	51.65	900
3	ERS	780	98.5	500
4	Jason-2	1380	66.05	315

Вначале моделировалось движение выбранного спутника в течение некоторого интервала времени и вычислялась его трасса на поверхности Земли. Затем задавались 360 точек на каждой из оцениваемых параллелей (по одной точке на каждый градус долготы) и вычислялись моменты времени прохождения над ними спутников (с учётом ширины полосы захвата). После чего по полученным данным вычислялось время между последовательными наблюдениями каждой точки и связанные с ним величины.

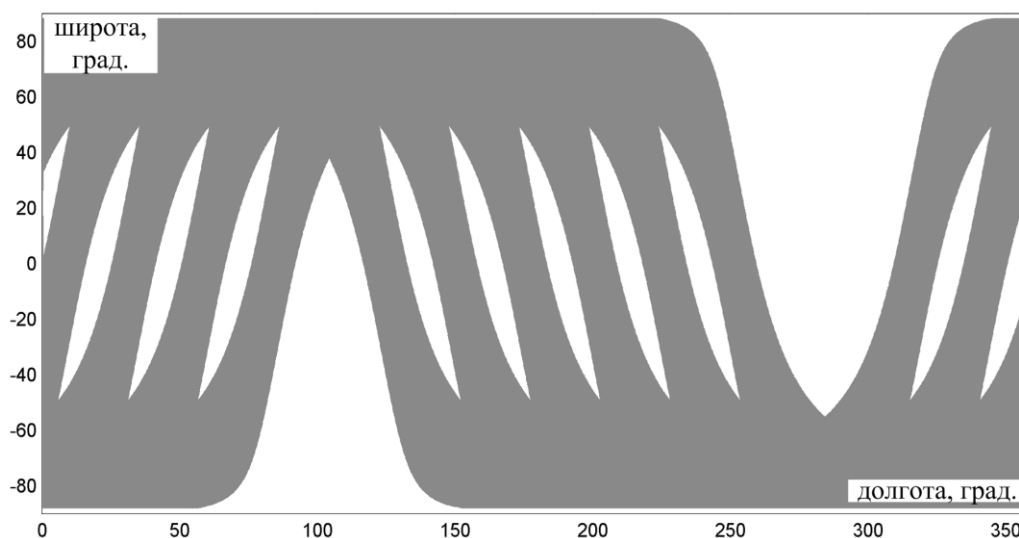


Рисунок 1- Поверхность Земли, наблюдаемая спутником QuikScat за 10 часов

На Рисунке 1 показана часть поверхности Земли, наблюдаемая спутником QuikScat в течение 10 часов (выделена серым). Видно, что за это время спутник успевает сделать около 6 витков, что соответствует

наблюдению около 42% поверхности Земли в экваториальных широтах и, например, около 77% поверхности в области широты 60°.

Рисунок 2а даёт представление о характерном возрасте метеоданных спутника QuikScat в той или иной точке поверхности Земли. По оси абсцисс отложен интервал времени  $t$  между последовательными наблюдениями точки поверхности, а по оси ординат – доля точек  $P$ , для которых время между наблюдениями меньше заданного. Приведены данные для различных широт: экватор (сплошная линия), 30° (пунктир) и 60° (точки). Моделирование движения спутника проводилось в течение 72 часов. Среднее время ожидания данных спутника составило 21.3 часов на экваторе, 13.6 часов на широте 30° и 11.4 часов на широте 60°. Видно, что для сбора информации о погоде на 80% поверхности экваториальных широт спутнику QuikScat потребуется около 24 часов и около 12 часов на широте 30°.

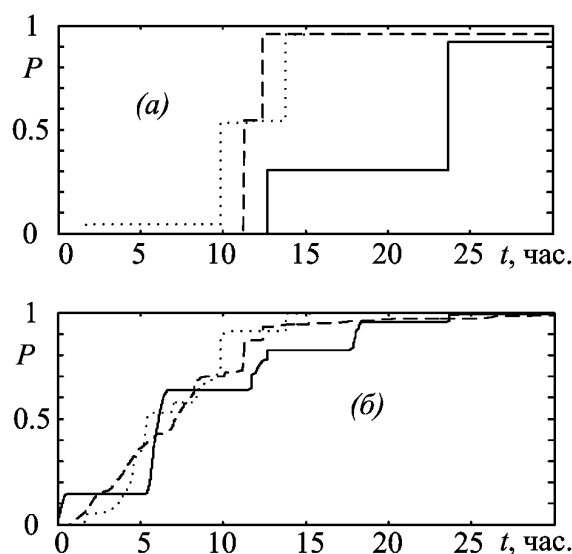


Рисунок 2- Распределение времени между последовательными наблюдениями поверхности Земли

Рисунок 2б аналогичен Рисунку 2а, но построен для случая, когда информация предоставляется всеми четырьмя спутниками таблицы 1. Среднее время ожидания данных спутников составило 8.7 часов на экваторе, 7.7 часов на широте 30° и 7.0 часов на широте 60°. Видно, что, например, уровень в 80% достигается за 13 часов на экваторе, за 11 часов на широте 30° и за 10 часов на широте 60°.

**Обсуждение.** Полученные результаты позволяют сформировать систематизированное представление о перспективе использования данных метеоспутников для решения задачи планирования маршрута дальнего плавания с учетом погодных условий по курсу. В том случае, если

имеются данные всего одного спутника, даже с самой широкой полосой захвата (например, QuikScat), то средний «возраст» данных о погоде составит от полусуток в высоких широтах до суток в экваториальных (а на отдельных участках поверхности Земли – и больше суток). Даже с учётом возможной экстраполяции данных (прогноза погоды на основе имеющейся информации) столь существенная погрешность представлений о погоде будет нарушать оптимальность алгоритмов расчёта траектории движения судна в том или ином районе (не говоря уже о том, что достоверный прогноз погоды на столь большом интервале времени – сложная нетривиальная задача [21]). Это, в свою очередь, ставит под сомнение ожидаемый результат решения оптимизационной задачи планирования пути в целом (по-видимому, оптимизация получится довольно грубой).

Использование данных нескольких метеоспутников рисует гораздо более оптимистичную картину. Например, если имеются данные о погоде с четырёх спутников, указанных в Таблице 1, «возраст» данных о погоде составит в подавляющем большинстве случаев существенно менее полусуток, что делает их актуальными и сами по себе, и, особенно, с точки зрения возможного на их основе относительно точного прогноза погоды. Это позволяет достаточно адекватно решать обсуждаемую здесь оптимизационную задачу.

Несколько слов о выборе метеоспутников для сбора данных о погоде по планируемому маршруту следования судна. В том случае, если таких спутников несколько, интервал времени между последовательными наблюдениями той или иной точки поверхности Земли можно приближённо описать известной вероятностной моделью массового обслуживания [22]. Вероятность  $F$  того, что интервал времени между соседними наблюдениями меньше заданного  $t$  описывается в ней экспоненциальным распределением

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

где  $\lambda = 1/m$  – среднее количество наблюдений точки за единицу времени,  $m$  – среднее время (математическое ожидание) между наблюдениями. Эта гипотеза подтверждается и результатами моделирования.

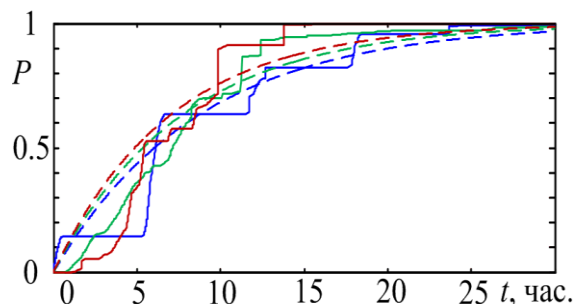


Рисунок 3 - Значения экспоненциальной функции распределения



На Рисунке 3 показаны графики функции  $F(t)$  (пунктир) вычисленные по данным графиков, приведённых на Рисунке 2б (сплошная линия), соответственно для экватора (синий график), широты  $30^\circ$  (зелёный график) и широты  $60^\circ$  (красный график). Видно, что теоретическое распределение вероятности достаточно хорошо соответствует данным моделирования.

При таких модельных представлениях функция распределения вероятности для двух спутников при известном времени ожидания для каждого из них  $m_1$  и  $m_2$  вычисляется следующим образом:

$$F_{12}(t) = 1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t},$$

где  $\lambda_1 = 1/m_1$ ,  $\lambda_2 = 1/m_2$ .

Оценивая по данным моделирования среднее время ожидания для каждого спутника и задавая необходимый уровень вероятности и значение возраста данных о погоде можно сделать вывод о том, какой набор метеоспутников способен обеспечить необходимые данные. Однако, особенно подчеркнём, что последовательность моментов времени наблюдения спутником той или иной точки поверхности Земли является не случайной, а детерминированной, поэтому функция экспоненциального распределения в данном случае описывает процесс приближённо, давая лишь качественную картину явления.

**Заключение.** Задача планирования маршрута судна является актуальной в судоводительской практике. Существует большое число хорошо зарекомендовавших себя и отработанных подходов к её решению, применяемых в настоящее время. Одним из путей дальнейшего повышения эффективности судовождения является оптимизация маршрута с учётом данных о погоде и технических возможностей плавания судна в сложных погодных условиях. Для решения соответствующей оптимизационной задачи необходимы актуальные данные о погоде, их получение возможно с помощью специальных средств дистанционного зондирования Земли – метеоспутников. Для оценки реализуемости такого подхода в работе ставится задача моделирования движения спутника, что позволяет оценить характерный возраст данных, получаемых со спутника. Как показали результаты моделирования, возраст данных о погоде в выбранной точке поверхности Земли может превышать сутки. Это является серьёзным препятствием для качественной оптимизации маршрута.

Комплексирование данных нескольких метеоспутников способно существенно уменьшить средний возраст данных о погоде по планируемому маршруту. Например, для набора из четырёх спутников, указанных в Таблице 1, средний возраст данных о погоде составляет 7-9 часов. С учётом возможного относительно достоверного прогноза погоды

на этот период решение задачи оптимизации маршрута будет достаточно адекватным текущим погодным условиям.

При выборе множества метеоспутников, по данным которых будет решаться задача планирования маршрута, для оценки характерного возраста этих данных можно использовать вероятностную модель массового обслуживания.

В целом можно сделать вывод о реализуемости идеи планирования маршрута судна с учётом спутниковых данных о погоде доступными в настоящее время техническими средствами. Представляется возможным, что результаты работы могут найти применение и для других видов транспорта [23, 24].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tam Ch.K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch.K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // *Journal of Navigation*. 2009. Vol. 62. Is. 03. Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
2. Lazarowska A. Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation / A. Lazarowska // *Journal of Navigation*. 2015. Vol. 68. Is. 2. Pp. 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
3. Гриняк В.М. Система экспертного оценивания и визуализации параметров траектории безопасного движения судна / В.М. Гриняк, О.А. Горошко, А.С. Девятисильный // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2017. Т. 18. № 2. с. 127-134. DOI: 10.17587/mau.18.127-134.
4. Прохоренков А.А. Применение ситуационного метода оценки навигационной безопасности при плавании по внутренним водным путям / А.А. Прохоренков // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2011. № 1. с. 91-95.
5. Акмайкин Д.А. Эвристический поиск оптимального маршрута судна по Северному морскому пути / Д.А. Акмайкин, С.Ф. Ключева, П.А. Салюк // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2015. № 5(33). с. 55-62.
6. Москаленко М.А. Использование методов оптимальной интерполяции гидрометеорологических данных, для повышения точности прогнозов при перевозке грузов морем / М.А. Москаленко, Д.А. Акмайкин // *Морские интеллектуальные технологии*. 2016. № 3(33). с. 285-289.
7. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. М.: Наука, 1965. 475 с.

8. Kobayashi E. Advanced navigation route optimization for an oceangoing vessel / E. Kobayashi, T. Asajima, N. Sueyoshi // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2011. Vol. 5. Is. 3. Pp. 377-383.
9. Lin Yu.H. The ship-routing optimization based on the three-dimensional modified isochrone method / Yu.H. Lin, M.Ch. Fang // Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAЕ 2013). DOI: 10.1115/OMAЕ2013-10959.
10. 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.
11. Globalware Project – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://globwave.ifremer.fr> (дата обращения 01.07.17).
12. 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 им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 5(39). С. 29–38. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-29-38.
13. Верба В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба. Москва: Радиотехника, 2010. 675 с.
14. Бондур В.Г. Методы восстановления спектров морского волнения по спектрам аэрокосмических изображений / В.Г. Бондур, А.Б. Мурынин // Исследования Земли из космоса. 2015. №6. С.3–14. DOI: 10.7868/S0205961415060020.
15. Гавриков А.В. Модификация базы данных спутниковой альтиметрии GLobWave для решения задач диагностики поля морского волнения / А.В. Гавриков, М.А. Криницкий, В.Г. Григорьева // Океанология. – 2016. Т.56. №2. С.322–327. DOI: 10.7868/S0030157416020064.
16. Малеев П.И. Особенности, состояние и перспективы развития e-навигации морских объектов / П.И. Малеев, Н.И. Леденев // Навигация и гидрография. 2012. №33. С.16-20.
17. Балк М.Б. Элементы динамики космического полёта / М.Б. Балк. М.: Наука, 1965. 338с.
18. Маркеев А.П. Теоретическая механика. / А.П. Маркеев. М.: ЧеРо, 1999. 572с.
19. 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. Vol.134. Is.8. Pp.2055–2071.

20. 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.
21. 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.
22. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. М.: Наука, 1988. 445с.
23. Нассер Н.Х. Характеристики моделирования транспортных потоков / Н.Х. Нассер // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2016. №4(15). с. 16.
24. Григорьева Т.Е. Разработка имитационных моделей рациональной маршрутной системы / Т.Е. Григорьева, Е.В. Истигечева // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2016. №3(14). с. 12.

V.M. Grinyak, D.A. Akmaykin, Y.S. Ivanenko

**FEASIBILITY STUDY FOR SHIP TRAJECTORY PLANNING  
PROBLEM USING MARINE WEATHER DATA FROM SATELLITES**

*Vladivostok State University of Economics and Service  
Maritime State University Named Admiral Nevelskoi  
Far Eastern Federal University*

*The paper is devoted to the problem of obtaining of operative meteorological information in the planning of the optimal ways for the deep-sea voyages. Indicated that the weather conditions have a significant effect on the ship's seaway. In this regard, it seems expedient to solve the optimization task dynamically, taking into account the current and forecasted weather on the route and the technical abilities of the ship to navigation in heavy weather. The authors propose to use for this purpose the weather information obtained from the special meteorological satellites. At the same time, an important question is the age of meteorological data, obtained by this way. In order to get an answer for this question is modeling the orbital motion of meteorological satellites, with the help of classical representations of mathematical astronomy presented on this work. At the same time, estimated of the age of weather data on the sea surface obtained by satellites in dependin on the geographical latitude of the place and the characteristics of the sensors and orbit of the satellite. An approach method to select of meteorological satellites for acquisition of weather data along the planned ship's route on the base of waiting-line problem theory. After the result of modeling, have been made a conclusion about the feasibility of the idea to planning the ship's route, taking into account the weather data by existing technical aids.*

**Keywords:** vessel traffic control, path planning, satellite motion, weather satellite, weather data, data age, exponential distribution.

## REFERENCES

1. Tam Ch.K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch.K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // *Journal of Navigation*. 2009. Vol. 62. Is. 03. Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
2. Lazarowska A. Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimization / A. Lazarowska // *Journal of Navigation*. 2015. Vol. 68. Is. 2. Pp. 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
3. Grinyak V.M., Goroshko O.A., Devyatisilny A.S. Expert System for Evaluation and Visualization of the Parameters of the Marine Traffic Safety // *Mehatronika, avtomatizatsiya, upravleniye*. 2017. Vol. 18. Is. 2. Pp. 127-134. DOI: 10.17587/mau.18.127-134.
4. Prohorenkov A.A. Application of situation simulation while estimation of inland waterway navigation safety // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 2011. Is. 1. Pp. 91-95.
5. Akmaykin D.A., Klueva C.F., Saluk P.A. Heuristic search for the optimal route ship northern sea route // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 2015. Is. 5(33). Pp. 55-62.
6. Moskalenko M.A., Akmaykin D.A. The use of the methods of optimal interpolation of hydrometeorological data to improve forecast accuracy for marine cargo transportation // *Marine Intellectual Technologies*. 2016. Is. 3(33). Pp. 285-289.
7. Bellman R., Dreyfus S. *Prikladniye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya*. Moscow, Nauka, 1965. 475 p.
8. Kobayashi E. Advanced navigation route optimization for an oceangoing vessel / E. Kobayashi, T. Asajima, N. Sueyoshi // *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2011. Vol. 5. Is. 3. Pp. 377-383.
9. Lin Yu.H. The ship-routing optimization based on the three-dimensional modified isochrone method / Yu.H. Lin, M.Ch. Fang // *Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2013)*. DOI: 10.1115/OMAE2013-10959.
10. Veremei E.I. Optimal Routing Based on Weather Forecast / E.I. Veremei, M.V. Sotnikova // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Vol. 4. Is. 3. Pp. 55-61.
11. Globalware Project Web. 1 Jul. 2017 < <http://globwave.ifremer.fr> >
12. Akmaykin D.A. Results of Researching the Problem of Forming a Graph of Vessel's Route on the Basis of Algorithms of Clustering / D.A. Akmaykin, C.F. Klueva, P.A. Saluk // *Vestnik Gosudarstvennogo*

- universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2016. Is. 5(39). Pp. 29–38. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-29-38.
13. Verba V.S. Radiolokatsionniye systemy zemleobzora kosmicheskogo basirovaniya. Moscow. Radiotekhnika, 2010. 675 p.
  14. Bondur V.G., Murynin A.B. Metody vosstanovleniya spektrov morskogo volneniya po spectram aerokosmicheskikh izobrazheniy // Issledivaniya zemli iz kosmosa. 2015. Is. 6. Pp. 3–14. DOI: 10.7868/S0205961415060020.
  15. Gavrikov A.V., Krinitsky M.A., Grigorieva V.G. Modification of Globwave satellite altimetry database for sea wave field diagnostics // Oceanology. 2016. Vol. 56. Is. 2. Pp. 301-306. DOI: 10.1134/S0001437016020065.
  16. Maleev P.I., Ledenev N.I. Osobennosti, sostoyaniye i perspektivy razvitiya e-navigatsii morskikh objectov Navigation and Gydrography. 2012. Is. 33. Pp. 16-20.
  17. Balk M.B. Elementy dinamiki kosmicheskogo poleta. Moscow. Nauka, 1965. 338p.
  18. Markeev A.P. Teoreticheskaya mehanika. Moscow, 1999. 572p.
  19. 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. Vol.134. Is.8. Pp.2055–2071.
  20. 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.
  21. 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.
  22. Gnedenko B.V. Kurs teorii veroyatnostey. Moscow. Nauka, 1988. 445p.
  23. Nasser N.H. The features of modeling of traffic flows // Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionniye tehnologii. 2016. Is. 4(15). Pp. 16.
  24. Grigorieva T.E, Istigecheva E.V. The development simulation models of rational route system // Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionniye tehnologii. 2016. Is. 3(14). Pp. 12.