

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-771-781

OPTIMIZATION OF THE HANDLING PROCESS OF TRANSPORT VESSELS ON THE RAID BY MEANS OF LINEAR PROGRAMMING MATLAB

E. S. Timoshek, T. E. Malikova

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

One of the tasks of managing the work of the fleet of a small shipping company engaged in the transportation of supply cargo in the Eastern Arctic regions at the level of voyage planning, namely, the private task of arranging auxiliary watercraft for unloading transport vessels on the raid, is considered in the paper. It is noted that the production necessity for frequent adjustments to the voyage plans of small companies leads to the repeated solution of the same production planning task, but with different input parameters. It is the iterative nature of the management decision-making process that primarily justifies the relevance of solving the problem of voyage planning automation. It is shown that the main problem in automating the process of managing the work of a group of vessels is the development of mathematical models that are adequate to the real processes and economic conditions on the market, using numerical optimization methods. In the course of the scientific research, the adaptation of the classical model of production planning to the technological parameters of the task of organizing the processing of ships on the raid with the use of the port fleet for unloading is carried out. The main results of the study are the following: a model of the placement of the auxiliary fleet in conditions of its shortage, performed by linear programming methods, with its implementation in the environment of application programs of the MATLAB package, as well as a numerical experiment to substantiate the reliability of the obtained model solutions and prove the adequacy of the proposed model of the fleet placement to the real technological process. A distinctive feature of the mathematical model in the form of a software product is the flexibility of reconfiguring input parameters to changing conditions and tasks performed, due to the organization of their input in file of text formats. The practical application of the mathematical model "Placement of the auxiliary fleet" and its analogue of the subprogram within the automation of the management process of a group of vessels in small segments of the sea transportation market allows us to evaluate the efficiency of the port fleet and form optimal schemes for its placement for the nearest navigation.

Keywords: marine transport, fleet management, mathematical modeling, placement of auxiliary fleet, cargo transportation in the Arctic.

For citation:

Timoshek, Elena S., and Tatiana E. Malikova. "Optimization of the handling process of transport vessels on the raid by means of linear programming MATLAB." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 13.6 (2021): 771–781. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-771-781.

УДК 656.614.3:004.42

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ НА РЕЙДЕ СРЕДСТВАМИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ МАТЛАВ

Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова

Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Российская Федерация

В статье рассмотрена одна из задач управления работой флота малой судоходной компании, осуществляющей перевозку грузов снабжения в районах Восточной Арктики, на уровне рейсового планирования, а именно частная задача расстановки вспомогательных плавсредств для разгрузки транспортных судов на рейде. Отмечается, что производственная необходимость частой корректировки рейсовых планов небольших компаний приводит в итоге к многократному решению одной и той же задачи производственного планирования, но с разными входными параметрами. Именно итерационным характером процесса

принятия управленческих решений в первую очередь обоснована актуальность решения задачи автоматизации рейсового планирования. Показано, что основной проблемой при автоматизации процесса управления работой группы судов является разработка математических моделей, адекватных реальным процессам и экономической конъюнктуре на рынке, с применением методов численной оптимизации. В ходе научного исследования выполнена адаптация классической модели производственного планирования под технологические параметры задачи организации обработки судов на рейде с использованием для разгрузки последних плавсредств портового флота. Основными результатами исследования являются модель расстановки вспомогательного флота в условиях его дефицита, выполненная методами линейного программирования, с ее реализацией в среде прикладных программ пакета MATLAB, а также численный эксперимент для обоснования достоверности полученных модельных решений и доказательства адекватности предложенной модели расстановки флота реальному технологическому процессу. Отличительной особенностью математической модели в виде программного продукта является гибкость перенастройки входных параметров к изменяющимся условиям и выполняемым задачам за счет организации их ввода в форматах текстовых файлов. Практическое применение математической модели «расстановки вспомогательного флота» и ее подпрограммного аналога в рамках автоматизации процесса управления группой судов на малых сегментах рынка морских перевозок позволяет оценивать эффективность работы портового флота и сформировать оптимальные схемы его расстановки на ближайшую навигацию.

Ключевые слова: морской транспорт, управление работой флота, математическое моделирование, расстановка вспомогательного флота, перевозка грузов в Арктике.

Для цитирования:

Тимошек Е. С. Оптимизация процесса обработки транспортных судов на рейде средствами линейного программирования MATLAB / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 6. — С. 771–781. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-771-781.

Введение (Introduction)

Одной из ключевых и до конца не решенных задач в области эксплуатации морского транспорта по-прежнему остается задача автоматизации планирования работы флота. В советский период развития эксплуатационной науки были разработаны и внедрены в практическую деятельность математические методы и модели управления транспортными процессами [1]–[3] в виде четырехуровневой схемы, включающей навигационное, месячное, декадное и рейсовое планирование [4]. Однако резкий переход к рыночным отношениям привел к распаду сложившейся на тот момент системы управления. В результате приватизации парокходств и портов взаимосвязи между транспортной инфраструктурой и грузовладельцами были разрушены, и прежняя система планирования перестала существовать.

На транспортный рынок в большом количестве вышли небольшие судоходные компании, имеющие в своем активе одно-два судна и осуществляющие перевозку на небольшом сегменте транспортного рынка [5]. Для таких компаний все задачи управления флотом сосредоточены на уровне рейсового планирования, поэтому задача формирования структуры арендуемого флота [6]–[8] и задача определения зоны эффективного использования для каждого из выбранных судов [9] являются приоритетными. Структура флота малой судоходной компании является динамически изменяющимся объектом исследования, так как аренда судов по тайм-чартеру позволяет быстро менять списочный состав судов компании в зависимости от изменений объемов перевозимого груза. Постоянное изменение состава арендуемого флота вследствие увеличения или уменьшения объема грузопотока требует частой корректировки рейсовых планов. Например, в работе [4] на основании приведенных расчетов сделан вывод о том, что обновление плана работы флота необходимо выполнять с интервалом 3–4 ч.

С точки зрения математического моделирования ответ на вопрос о необходимости корректировки найденного оптимального плана решается в два этапа. Первым этапом является проверка на устойчивость оптимального плана математической модели к изменяющимся входным параметрам, вторым — нахождение нового оптимального плана, если при проверке доказано, что план неустойчив. Таким образом, частая корректировка рейсовых планов приводит к необходимости многократного решения одной и той же задачи математического моделирования, но с разными

входными параметрами. Итерационный характер процесса принятия решений в управлении флотом малой судоходной компании определяет актуальность решения задачи автоматизации планирования для подобных предприятий.

В настоящее время накоплен большой опыт методических подходов к реализации автоматизированных систем на основе моделирования динамически изменяющихся объектов в различных направлениях исследования проблем морского транспорта, начиная с главной — безопасности морской перевозки грузов [10]–[12], и заканчивая текущими: управления работой порта [13]–[15] и флота [16], [17]. Однако обзор литературных источников, выполненный в работе [18], показал, что современное развитие математических моделей управления флотом идет в направлении увеличения размерности решаемой задачи за счет внесения в модель как традиционных систем ограничений, учитывающих как эксплуатационный период и объем перевозок для каждого порта, так и дополнительные ограничения на ресурсы, такие, например, как ограничение расхода топлива на главные двигатели в расчете на круговой рейс [19]. В свою очередь, увеличение размерности задачи приводит к повышению трудоемкости вычислительного процесса и обращению исследователей к новым нетрадиционным методам поиска оптимального ответа, в частности, из других областей знаний. Например, из биологии был взят генетический алгоритм, который впоследствии был использован для решения задачи оптимизации маршрута судна [20]. При моделировании работы флота малой судоходной компании диаметрально противоположной задачей является борьба не с всевозрастающим количеством параметров управления в модели, а с малой размерностью в постановке рассматриваемой задачи [21]. Например, два судна выполняют перевозки на одном направлении (задача расстановки флота размерности 2×1).

На российском рынке морских перевозок грузов снабжения для Восточной Арктики работают в основном судоходные компании, попадающих под определение «малых». Исходя из ранее изложенного, разработанные на сегодняшний день методы и модели не в полной мере применимы в рамках задачи автоматизации планирования и управления флотом маленькой компании, требуя адаптации под данные условия моделирования. С точки зрения особенностей эксплуатации судов в Арктике в рамках автоматизации планирования работы флота необходимо рассматривать вопросы выгрузки грузов на необорудованный берег различными вспомогательными плавсредствами, в том числе самоходными баржами или амфибийными вездеходами [22]–[24]. Таким образом, при разработке методического обеспечения управления флотом малой судоходной компании была поставлена частная задача моделирования процесса расстановки вспомогательного флота в условиях его дефицита на основе применения линейного программирования с использованием инструментальных средств MATLAB [25], [26].

Методы и материалы (Methods and Materials)

В ходе решения поставленной задачи был предложен один из возможных вариантов математической модели расстановки вспомогательного флота в виде задачи производственного планирования, сформулированной следующим образом: для организации обработки судов на рейде с помощью плавсредств портовый флот располагает определенным числом барж ($i = \overline{1; m}$). Известно, что по условиям эксплуатации технологические схемы расстановки барж у борта судна зависят от волнения моря и размеров самих барж. Следовательно, каждая из возможных схем обладает определенным набором барж разных типов, которые одновременно пришвартованы под разгрузку. Соответствующие каждой схеме наборы барж будем называть «буксирным возом». Существует несколько различных вариантов (схем) формирования состава буксирного воза ($j = \overline{1; n}$). Необходимо распределить имеющиеся у портового флота баржи по возможным схемам так, чтобы общая грузоподъемность возов была наибольшей.

Математическая модель задачи запишется следующим образом:

$$f = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i a_{ij} x_j \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, (i = \overline{1; m}); \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (3)$$

где f — общая грузоподъемность буксирных возов;

q_i — грузоподъемность i -го буксира;

a_{ij} — количество буксиров i -го типа, используемых в j -й схеме;

b_i — количество барж каждого типа;

x_j — количество буксирных возов, формируемых для каждой из имеющихся схем.

В качестве «платформы» для написания модуля «оптимизации работы вспомогательных судов» для автоматизированной системы управления флотом малой судоходной компании был выбран пакет прикладных программ среды MATLAB (версия R2017b, лицензия № 970311) ввиду следующих обстоятельств: в данном программном продукте уже создан стандартный каркас решения распределительной задачи в классической постановке и, кроме того, осуществлена возможность адаптации стандартных алгоритмов под структуры моделей, выходящих за рамки классических образцов.

Ввод входных параметров математической модели осуществляется при соблюдении синтаксиса функций `linprog` из дополнения Optimization Toolbox к пакету прикладных программ среды MATLAB:

$$[x, fval] = \text{linprog}(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub).$$

Данная функция позволяет решить задачу линейного программирования в следующей форме:

$$f^T \times X \rightarrow \inf;$$

$$A \times X \leq b;$$

$$Aeq \times X = beq;$$

$$lb \leq X \leq ub,$$

где f^T — вектор коэффициентов целевой функции;

A — матрица коэффициентов при переменных в ограничениях-неравенствах;

b — вектор свободных членов в ограничениях-неравенствах;

X — вектор значений переменных (параметров управления);

Aeq — матрица коэффициентов при переменных в ограничениях-равенствах;

beq — вектор свободных членов в ограничениях-равенствах;

lb — вектор ограничений плана X снизу;

ub — вектор ограничений плана X сверху.

Выполним адаптацию функции `linprog` применительно к условиям решаемой математической задачи (1)–(3). Во-первых, в синтаксисе функции заложено нахождение минимума целевой функции. В математической модели расстановки вспомогательного флота целевая функция — функция максимума (1) и, следовательно, коэффициенты целевой функции необходимо вводить с противоположными знаками, т. е. коэффициенты f^T умножаются на (-1) . Во-вторых, еще одной отличительной особенностью модели от канонической формы является отсутствие группы ограничений равенств (2). Внося данные изменения в каноническую форму функции, получим

$$[x, fval] = \text{linprog}(-f, A, b, [], [], lb).$$

В данной записи функция `linprog` решает задачу в следующей форме:

$$-f^T \times X \rightarrow \inf;$$

$$A \times X \leq b;$$

$$lb \leq X,$$

где f^T — вектор коэффициентов целевой функции;

A — матрица коэффициентов при переменных в ограничениях-неравенствах;

b — вектор свободных членов в ограничениях-неравенствах;

X — вектор значений переменных (параметров управления);

lb — вектор ограничений плана X снизу.

В-третьих, необходимо предварительно найти значения коэффициентов целевой функции. Экономическим смыслом каждого коэффициента является грузоподъемность буксирного воя, формируемого для соответствующей схемы, вычисляемая по формуле

$$C_j = \sum_{i=1}^m q_i \cdot a_{ij} \quad (j = \overline{1;n}).$$

Операция вычисления коэффициентов целевой функции задачи (1)–(3) должна быть записана в программе MATLAB в стандартной для нее форме записи формул:

$$C1 = q1 * D(1,1) + q2 * D(2,1) + \dots + qt * D(m,1);$$

$$C2 = q1 * D(1,2) + q2 * D(2,2) + \dots + qt * D(m,2); \quad (4)$$

...;

$$Cn = q1 * D(1,n) + q2 * D(2,n) + \dots + qt * D(m,n).$$

Из формул (4) следует, что входными переменными программы являются в данном случае: грузоподъемность каждого типа плавсредств (вектор Q), матрица D — составы буксирных воя для каждого из вариантов схем расстановки. Также необходимо организовать ввод переменных b_i — количество плавсредств каждого типа. Таким образом, пользователь в процессе работы с программой будет иметь дело с базами данных, ввод которых в среде MATLAB организован через оформление входных переменных в форматах текстов файлов.

Результаты (Results)

Проанализируем работу программы в тестовом режиме на числовом примере расстановки вспомогательного флота (размерность задачи 2×3). Входные параметры модели приведены в следующей таблице:

Принятые обозначения математической модели

Тип баржи	Грузоподъемность, т (коэффициенты вектора Q)	Состав буксирного воя для каждой схемы, шт. (коэффициенты матрицы D)			Количество барж, шт.
		1-я схема	2-я схема	3-я схема	
Малое плавсредство	14	4	0	2	$b_1 = 20$
Большое плавсредство	40	0	2	1	$b_2 = 10$

Примечание. Малое плавсредство — самоходная баржа проект «Север 02»: $Dw = 14$ т ($L \cdot B = 15,5 \cdot 3,85$). Большое плавсредство — самоходная баржа «Славянка УД»: $Dw = 40$ т, ($L \cdot B = 16 \cdot 5,2$).

Организация ввода входных параметров в формате текстовых файлов и сама программа решения числового примера приведены на рис. 1, а, результаты ее работы представлены на рис. 1, б.

а)

```

Editor - C:\Users\Максим\Documents\n23.m
n22.m x Mat22.m x n20.m x n23.m x +
1 %Введите расстановку плавсредств по схемам обработки
2 D=[4 0 2; 0 2 1]
3 %Введите дедевейт малого плавсредства
4 q1=14
5 %Введите дедевейт большого плавсредства
6 q2=40
7 %Введите количество малых плавсредств
8 n1=20
9 %Введите количество больших плавсредств
10 n2=10
11 c1=q1*D(1,1)+q2*D(2,1);
12 c2=q1*D(1,2)+q2*D(2,2);
13 c3=q1*D(1,3)+q2*D(2,3);
14 f=[-c1; -c2; -c3];
15 A=D;
16 b=[n1;n2];
17 lb=zeros(3,1);
18 [x,fval]=linprog(f,A,b,[],[],lb);
19 x
20 fval
21

```

б)

```

Command Window

Optimal solution found.

x =

     5
     5
     0

fval =

    -680

```

Рис. 1. Программа для решения задачи расстановки вспомогательного флота (а) и ее результаты (б)

В результате оптимальным решением является следующий план расстановки вспомогательного флота. Для первой схемы формируется пять буксирных возов, для второй схемы — пять буксирных возов, третью схему использовать нерентабельно. Максимальная грузоподъемность флота по найденному плану составит 680 т.

Обсуждение (Discussion)

Согласно результатам численного эксперимента, расстановка плавсредств вдоль борта судна при рейдовой разгрузки должна выполняться согласно схемам, представленным на рис. 2. Схемы размещения плавсредств (рис. 2, а, б), соответствуют первому варианту (схеме) состава буксирного вота, формируемого исключительно из барж малой грузоподъемности (баржа проект «Север 02», $D_w = 14$ т). Отличительной особенностью схемы, приведенной на рис. 2, а от схемы рис. 2, б является то, что первая применяется при наличии волнения, так как в этом случае плавсредства могут швартоваться только со стороны подветренного борта, а вторая — в штиль.

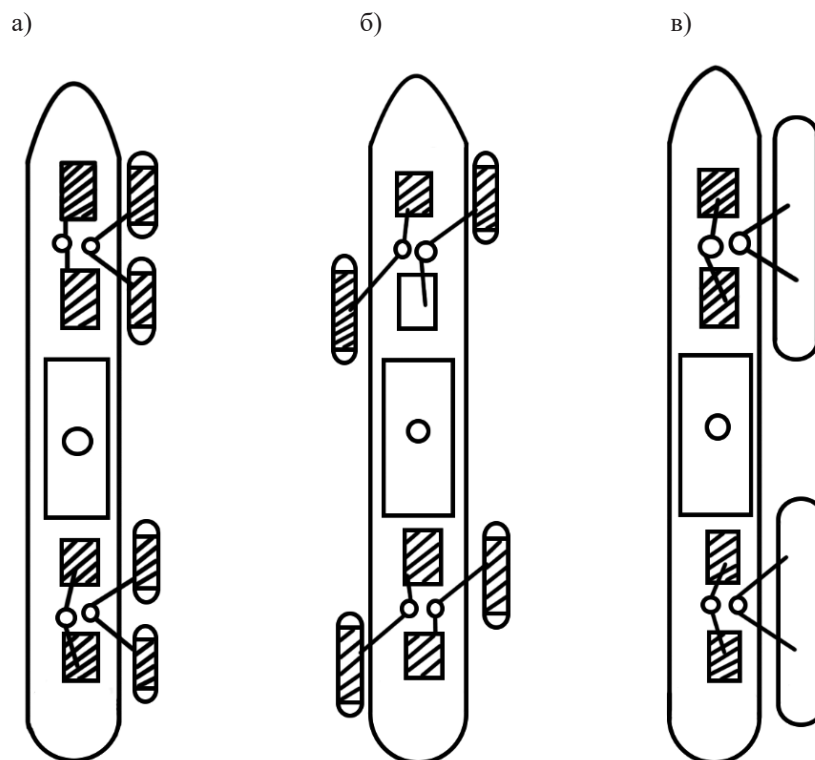


Рис. 2. Схема расположения плавсредств у судна:
а — с одного борта на каждый люк; б — с обоих бортов в шахматном порядке;
в — с одного борта на смежные люки

Схема размещения плавсредств, приведенная рис. 2, в, соответствует второму варианту (схеме) состава буксирного воя, формируемого только из барж большой грузоподъемности (баржа «Славянка УД», $Dw = 40$ т), Схема размещения в которой используется одновременно как баржи малой грузоподъемности, так и баржа большой грузоподъемности оказалась в данном случае неоптимальной.

Закключение (Conclusion)

Предложен вычислительный алгоритм и процедура оптимизации, позволяющие полностью автоматизировать процесс решения задачи расстановки вспомогательного флота на основе применения линейного программирования с использованием инструментальных средств MATLAB.

Описанный в работе алгоритм является одной из составных частей (подпрограммой) для автоматизированной системы (программы) принятия решений в управлении флотом малой судоходной компании, разрабатываемой на базе Морского государственного университета имени адмирала Г. И. Невельского. Интерфейс как подпрограммы, так и самой программы в целом за счет организации ввода переменных в форматах текстов файлов позволяет пользователю удобно и быстро изменять входные параметры моделируемых процессов, что, в конечном итоге, решает проблему трудоемкости при частой корректировке рейсовых планов малых судоходных компаний.

Практическое применение математической модели «расстановки вспомогательного флота» и ее подпрограммного аналога в рамках оптимального управления флотом судоходной компании в малых сегментах рынка морских перевозок обеспечивает быструю реакцию на малейшие изменения конъюнктуры последнего. Анализ получаемой в процессе моделирования информации позволяет оценить эффективность использования вспомогательного флота на конкретном участке транспортной сети и сформировать оптимальные схемы его работы на ближайшую навигацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриенко Д. В. Исследование операций — инструмент для повышения эффективности управления водным транспортом / Д. В. Дмитриенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 1131–1141. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141.
2. Салько Д. Ю. Применение линейного моделирования при планировании работы флота судоходной компании / Д. Ю. Салько, К. М. Искандаров // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2012. — № 1(1). — С. 81–84.
3. Маликова Т. Е. Математические методы и модели в управлении на морском транспорте: учебное пособие / Т. Е. Маликова. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2018. — 373 с.
4. Зачесов В. П. Текущее и оперативное планирование работы флота в рыночных условиях / В. П. Зачесов, Ю. И. Платов // Транспортное дело России. — 2017. — № 1. — С. 143–144.
5. Маликова Т. Е. Формирование понятийного аппарата «малая судоходная компания» / Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Материалы IV Национальной научно-технической конференции. — Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2021. — С. 319–325.
6. Вишневский Д. О. Моделирование оптимальной структуры флота и перспективных направлений его работы / Д. О. Вишневский // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — Т. 1. — № 3(21). — С. 4–8. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37095
7. Тимошек Е. С. Распределительная модель судов снабжения Арктического региона на участке транспортной сети / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2019. — № 60. — С. 213–222.
8. Маликова Т. Е. Результаты численной реализации задачи расстановки флота малой судоходной компании / Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 654–665. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-654-665.
9. Тимошек Е. С. Определение зоны эффективного использования транспортного флота в арктическом регионе на примере группы судов компании ООО «Маринтэк» / Е. С. Тимошек, С. Е. Чуйкова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2019. — № 61. — С. 184–192.
10. Маликова Т. Е. Использование теории графов при разработке математических моделей систем «смещающийся груз-спецустройство» / Т. Е. Маликова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2012. — № 2. — С. 39–42.
11. Nechaev Yu. I. Control of functioning regimes of on-board intelligence systems of safety monitoring / Yu. I. Nechaev, O. N. Petrov // Proceedings of 9th International ship stability workshop. — Hamburg, Germany, 2007. — Pp. 1–9.
12. Маликова Т. Е. Исследование системы обеспечения технологической безопасности морских судов методами теории катастроф / Т. Е. Маликова, М. А. Москаленко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2014. — № 3. — С. 94–97.
13. Кукушкин И. В. Алгоритмическое и программное обеспечение имитационного моделирования процессов переработки каботажных грузов / И. В. Кукушкин, А. П. Нырков, А. А. Нырков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 190–200. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-190-200.
14. Янченко А. А. Дискретно-событийная модель в задачах эксплуатации контейнерных терминалов / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. — 2017. — № 4 (85). — С. 25–31.
15. Kuznetsov A. L. Simulation Model of Container Land Terminals / A. L. Kuznetsov, A. V. Kirichenko, J. J. Eglit // TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. — 2018. — Vol. 12. — № 2. — Pp. 321–326. DOI: 10.12716/1001.12.02.13.
16. Румянцева А. А. Рациональная расстановка флота с использованием индексного метода / А. А. Румянцева // Экономика и предпринимательство. — 2019. — № 7(108). — С. 1073–1076.
17. Мойсеенко С. С. Методика выбора судов для освоения заданного грузопотока / С. С. Мойсеенко // IV Международной Балтийский морской форум: материалы Международного морского форума. — 2016. — С. 99–104.

18. Галин А. В. Аналитический обзор методов маршрутизации судов в линейном контейнерном сервисе при сбое его работы / А. В. Галин, А. С. Малыхин // Транспортное дело России. — 2019. — № 2. — С. 162–164.

19. Платов А. Ю. О современных методах бизнес-планирования работы речного флота / А. Ю. Платов, Ю. И. Платов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2018. — № 54. — С. 110–115.

20. Кузнецов А. Л. Метод генетических химер для решения задачи рационализации маршрутов морской транспортировки / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, Г. Б. Попов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 456–467. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-456-467.

21. Тимошек Е. С. Адаптация задачи расстановки флота к условиям работы малых судоходных компаний / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Логистика: современные тенденции развития. Материалы XIX Международной научно-практической конференции. — СПб.: Изд-во ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2020. — С. 97–103.

22. Азовцев А. И. Развитие судов для условий грузовых операций на необорудованных берегах Арктических и Субарктических морей / А. И. Азовцев, В. А. Кулеш, С. А. Огай, В. А. Петров // Полярная механика. — 2016. — № 3. — С. 450–460.

23. Азовцев А. И. Мореходные вездеходы на воздухоопорных гусеницах для повышения эффективности транспортной системы Арктики / А. И. Азовцев, С. А. Огай // Полярная механика. — 2016. — № 3. — С. 483–494.

24. Азовцев А. И. Прогноз преимуществ транспортных средств на воздухоопорных гусеницах для комплексного освоения замерзающего шельфа и побережья Арктики и Дальнего Востока / А. И. Азовцев, С. А. Огай, О. В. Москаленко // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Доклады научно-практической конференции. — 2017. — № 2 (2). — С. 354–358.

25. Бородин Г. А. Использование среды MATLAB при решении задач линейного программирования / Г. А. Бородин, В. А. Титов, И. Н. Маслякова // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 11–1. — С. 23–26.

26. Тимошек Е. С. Решение задач расстановки флота в среде MATLAB в учебном процессе морских вузов / Е. С. Тимошек // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2019. — № 4 (29). — С. 25–30.

REFERENCES

1. Dmitrienko, Dmitry V. “Operations research — a tool to improve the efficiency of management of water transport.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5 (2017): 1131–1141. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141.

2. Salko, D.Y., and K. M. Iskandarov. “The application of linear modeling while planning the shipping company operation.” *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F. F. Ushakova* 1(1) (2012): 81–84.

3. Malikova, T. E. *Matematicheskie metody i modeli v upravlenii na morskoy transporte: uchebnoye posobie*. M. Izdatel'stvo Jurajt, 2018.

4. Zachesov, V., and Y. Platov. “Current and operational planning of the fleet in market conditions.” *Transport business of Russia* 1 (2017): 143–144.

5. Malikova, Tatiana E., and Elena S. Timoshek. “Formation of the conceptual apparatus “small shipping company”.” *Innovatsionnoye razvitiye rybnoy otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii. Materialy IV Natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Vladivostok: Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybnokhozyaistvennyi universitet, 2021. 319–325.

6. Vishnevsky, D. “Modeling of the optimal fleet structure and perspective directions of its work.” *Technology audit and production reserves* 3(21) (2015): 4–8. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37095.

7. Timoshek, Elena S., and Tatyana E. Malikova. “Routing model for supply ships operating in the Arctic Region transport network.” *Bulletin of VSAWT* 60 (2019): 213–222.

8. Malikova, Tatiana E., and Elena S. Timoshek. “The results of numerical implementation of the task of arranging the fleet of a small shipping company.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 654–665. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-654-665.

9. Timoshek, Elena S., and Svetlana E. Chuikova. "Determination of the zone of effective use of transport fleet in the Arctic region on the example of the "MarinTEK" vessel group." *Bulletin of VSAWT* 61 (2019): 184–192.
10. Malikova, T. E. "Using the theory of graphs in developing mathematical models of the systems «shifting cargoes — special equipment»." *Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East* 2 (2012): 39–42.
11. Nechaev, Yu. I., and O. N. Petrov. "Control of functioning regimes of on-board intelligence systems of safety monitoring." *Proceedings of 9th International ship stability workshop*. Hamburg. Germany, 2007. 1–9.
12. Malikova, T. E., and M. A. Moskalenko. "Catastrophe theory application to the study of the system of ensuring sea-going vessels' technological safety." *Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East* 3 (2014): 94–97.
13. Kukushkin, I.V., A. P. Nyrkov, and A. A. Nyrkov. "Algorithms and software of simulation modeling of the coasting ships processing." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(36) (2016): 190–200. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-190-200.
14. Yanchenko, A. A., and T. E. Malikova. "A discrete-event model for operations in container terminals." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (85) (2017): 25–31.
15. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, and J. J. Eglit. "Simulation Model of Container Land Terminals." *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 12.2 (2018): 321–326. DOI: 10.12716/1001.12.02.13.
16. Rumiantseva, A. A. "Rational fleet allocation using the index method." *Journal of Economy and entrepreneurship* 7(108) (2019): 1073–1076.
17. Moiseenko, S.S. "Metodika vybora sudov dlya osvoeniya zadannogo gruzopotoka." *IV Mezhdunarodnoi Baltiiskii morskoi forum: materialy Mezhdunarodnogo morskogo foruma*. 2016. 99–104.
18. Galin, A., and A. Malykhin. "Analytical review of methods of routing of vessels in the linear container service in case of failure of its work." *Transport business of Russia* 2 (2019): 162–164.
19. Platov, A. Y., and J. I. Platov. "The modern methods of business planning of river fleet." *Bulletin of VSAWT* 54 (2018): 110–115.
20. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and German B. Popov. "Chimerical genetic algorithm for sea route rationalization." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.3 (2017): 456–467. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-456-467.
21. Timoshek, Elena S., and Tatiana E. Malikova. "Adaptatsiya zadachi rasstanovki flota k usloviyam raboty mal'kh sudokhodnykh kompaniy." *Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya. Materialy XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. SPb.: Izd-vo GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2020. 97–103.
22. Azovtsev, Anatoliy, Victor Kulesh, Aleksey Ogay, and Vladimir Petrov. "Ship's Construction Development for Cargo Operations in Condition of the Unimproved Port Facilities in Arctic and Subarctic Coast." *Polyarnaya mekhanika* 3 (2016): 450–460.
23. Azovtsev, Anatoliy, and Sergey Ogai "Seaworthy All-Terrain Vehicles on Air-Supported Tracks for Increasing Effectiveness of the Arctic Transport System." *Polyarnaya mekhanika* 3 (2016): 483–494.
24. Azovtsev, A. I., S. A. Ogai, and O. V. Moskalenko. "Prognoz preimushchestv transportnykh sredstv na vozdukhopornnykh gusenitsakh dlya kompleksnogo osvoeniya zamerzayushchego shel'fa i poberezh'ya Arktiki i Dal'nego Vostoka." *Problemy transporta Dal'nego Vostoka. Doklady nauchno-prakticheskoi konferentsii* 2(2) (2017): 354–358.
25. Borodin, G. A., V. A. Titov, and I. N. Maslyakova. "Solving liner programming problems with MATLAB." *Fundamental research* 11–1 (2016): 23–26.
26. Timoshek, Elena S. "Solving the problems of fleet planning in MATLAB in the educational process of maritime universities." *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F. F. Ushakova* 4(29) (2019): 25–30.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тимошек Елена Сергеевна —
старший преподаватель
Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50А
e-mail: timoshek-es@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Timoshek, Elena S. —
Senior lecturer
Maritime State University named
after Admiral G. I. Nevel'skiy
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation
e-mail: timoshek-es@mail.ru

Маликова Татьяна Егоровна —
доктор технических наук, доцент
Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50А
e-mail: Malikova@msun.ru

Malikova, Tatiana E. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Maritime State University named
after Admiral G. I. Nevelskoi
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation
e-mail: Malikova@msun.ru

*Статья поступила в редакцию 1 октября 2021 г.
Received: October 1, 2021.*