

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-654-665

## THE RESULTS OF NUMERICAL IMPLEMENTATION OF THE TASK OF ARRANGING THE FLEET OF A SMALL SHIPPING COMPANY

**T. E. Malikova, E. S. Timoshek**

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

*The problem of the fleet optimal deployment of a small shipping company engaged in the cargoes transportation in the regions of the Eastern Arctic is considered in the paper. Since mathematical modeling and model experiment allows you to accelerate the process of managerial decision-making and bring it to a higher level, a mathematical model of the fleet deployment on the transport network section is proposed. A distinctive feature of the model from the well-known prototypes is that the transport network section consisting of three ports is chosen as the object for arranging the ships: the port of departure, the intermediate port (by-cargo shipments are unloaded and loaded), and the destination port. The optimality criterion is the complex fleet expenses for a relatively short navigation period. The mathematical model is implemented using linear programming methods in the application environment of the MATLAB package. Practical application of the proposed model allows you to optimal management the coastal transport, to evaluate the effectiveness of each vessel in a particular section of the transport network, and to form a list of the leased fleet for the nearest navigation. As part of the study, a model experiment is carried out to justify the reliability of the obtained model solutions and to prove the adequacy of the proposed model of the fleet arrangement to a real technological process. The experimental base for comparative analysis is formed on the basis of annual reports of freight forwarding activities of a small shipping company and the optimal plan obtained in the course of solving the problem of «determining the effective use of the fleet» in a graphical way. The problems that arise during the organization of loading and unloading operations on the equipped shore and the further delivery of goods to remote Arctic villages are also considered, and an additional problem that needs to be solved in the course of further research is identified.*

*Keywords: sea transport, logistics, model experiment, fleet management, cargo transportation in the Arctic.*

### For citation:

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.

УДК 656.614.3:004.42

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ РАССТАНОВКИ ФЛОТА МАЛОЙ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ

**Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек**

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

*В статье рассмотрена задача оптимальной расстановки флота малой судоходной компании, осуществляющей перевозку грузов снабжения в районах Восточной Арктики. Так как математическое моделирование и модельный эксперимент позволяют ускорить процесс принятия управленческого решения и вывести его на более качественный уровень, предложена математическая модель расстановки флота на участке транспортной сети. Отличительной особенностью модели от известных прототипов является то, что в качестве объекта расстановки судов был выбран участок транспортной сети, состоящий из трех портов: порта отправления, промежуточного порта, где выгружаются и загружаются попутные партии груза, а также порта назначения. Критерием оптимальности являются комплексные расходы флота за относительно короткий навигационный период. Реализация математической модели выполнена методами линейного программирования в среде прикладных программ пакета MATLAB. Практическое применение предложенной модели позволяет обеспечить оптимальное управление каботажными перевозками, оценить эффективность использования каждого судна на конкретном участке*

транспортной сети, сформировать списочный состав арендуемого флота на ближайшую навигацию. В рамках проведенного исследования был выполнен модельный эксперимент для обоснования достоверности полученных модельных решений и доказательства адекватности предложенной модели расстановки флота реальному технологическому процессу. Экспериментальная база сравнительного анализа была сформирована на основе годовых отчетов транспортно-экспедиторской деятельности малой судоходной компании и оптимального плана, полученного в ходе решения задачи «определения зоны эффективного использования флота» графическим способом. Также были рассмотрены проблемы, возникающие при организации погрузочно-разгрузочных работ на оборудованный берег и дальнейшей доставке грузов в удаленные Арктические поселки, а также определена дополнительная задача, которую необходимо решить в ходе дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** морской транспорт, логистика, модельный эксперимент, управление работой флота, перевозка грузов в Арктике.

**Для цитирования:**

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.

### **Введение (Introduction)**

В процессе планирования работы малой судоходной компании приоритетными являются задачи формирования структуры арендуемого флота и определение зоны эффективного использования для каждого из выбранных судов. Структура флота такой компании является динамическим объектом, так как аренда судов по тайм-чартеру позволяет быстро включать одни суда в структуру флота (фрахтовать) и исключать другие (отфрахтовывать) в зависимости от сезонных колебаний объемов грузопотоков на принадлежащем ей малом сегменте рынка морских перевозок.

Особенностями формирования оптимальной структуры арендуемого флота малой судоходной компании являются:

- ориентация на краткосрочную перспективу: от нескольких месяцев (например, период арктической навигации (4–6 мес.)) до одного года;
- наличие возможности резкого отклонения фактического состояния рынка от прогнозируемого;
- рассмотрение грузопотоков и показателей работы судов с достаточно высокой степенью точности и детализации.

Подробный анализ литературных источников, выполненный Д. О. Вишневым [1], убедительно доказал, что при постановке задачи рассматривается процесс формирования оптимальной структуры арендуемого флота в долгосрочной перспективе без учета текущего состояния сегмента рынка судоходной компании, грузопотоков и специфических условий работы судов. Отсюда следует, что имеющиеся модели оптимизации структуры флота не полностью отражают основные, характерные для процесса планирования работы малой судоходной компании, закономерности и поэтому не могут применяться в рамках данного исследования.

Задача формирования структуры арендуемого флота на краткосрочную перспективу (4–6 мес.) может быть решена без построения математической модели оптимизации структуры флота. Для ее решения достаточно определить зоны эффективного использования каждого судна из предварительного списка предлагаемых к аренде судов. Результатом решения задачи является список судов, оптимальный для работы на конкретном сегменте транспортного рынка. При этом в контексте постановки задачи судно считается наилучшим, если себестоимость его работы в зоне будет наименьшей по сравнению с другими судами, при условии выполнения заданного объема перевозок. Методика решения данной задачи графическим способом представлена в статье [2].

Кроме графического способа решения задачи следует рассмотреть возможность применения аналитических методов, широко используемых и хорошо зарекомендовавших себя при исследовании сложных динамических систем, к которым в том числе относятся и процессы управления

работой флота и порта, такие, например, как имитационное моделирование [3]–[6], теория катастроф [7], [8], а также методы исследования операций [9]–[12]. Зарубежный опыт принятия управленческих решений в вопросах оптимальной расстановки флота свидетельствует о том, что наибольшее распространение получили *методы регрессионного анализа* [13]. Например, в практической деятельности судоходных компаний США и Европы применяются следующие регрессионные зависимости: зависимость суточного расхода топлива от мощности главного двигателя [14] и зависимость от дедвейта [15], [16].

Следует отметить, что в области решения задачи оптимального управления флотом наиболее часто используются *методы исследования операций* [17], [18]. Под термином «исследование операций» понимают методологию применения математических количественных методов для обоснования принимаемых решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности [19]. В основу принятия решений в данной методологии положен общеизвестный постулат: «Оптимальным решением является такой набор значений переменных, при котором достигается оптимальный вариант функционирования транспортной системы». При выполнении данного исследования в качестве инструментария был выбран один из количественных методов исследования операций, а именно решение распределительной задачи линейного программирования симплексным методом.

Несмотря на многообразие указанных ранее традиционных методов принятия управленческих решений на морском транспорте, следует выделить объединяющие их факторы: исследование динамически сложных систем; формирование условий на базе точных прогнозов, в основе которых находится обработка больших массивов статистических данных и математическое моделирование, целью которого является исследование различных режимов функционирования рассматриваемой системы. Например, при постановке классической задачи расстановки флота в терминах исследования операций на большую размерность указывает выражение вида «в объеме некоторого парокходства», т. е. задача решается для всех судов, имеющихся в крупной судоходной компании. В случае минимально допустимой размерности модели  $2 \times 2$  для ее решения точными методами используется *симплексный метод*, или *метод потенциалов*, а для решения приближенными методами — *метод наибольших разностей*, или *метод почти оптимальных планов*. Отсюда следует вывод, что существующие модели не подходят для прогнозирования работы флота малой судоходной компании, имеющей в своем распоряжении одно-два судна и осуществляющей перевозку на одном направлении, т. е. для задач расстановки флота размерности  $2 \times 1$ . Следует отметить, что на российском рынке морских перевозок грузов снабжения для Восточной Арктики работают в основном судоходные компании, подпадающих под определение «малые». Таким образом, существует актуальная задача адаптации математического аппарата исследования операций к условиям малых судоходных компаний.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

В ходе решения поставленной задачи был предложен вариант математической модели расстановки флота на участке транспортной сети. Постановка данной задачи и ее математическая модель представлены в статье [20]. В связи с тем, что по условию задачи в период навигации перевозка грузов осуществляется по одному и тому же «маршруту», математическая модель в данной постановке является *вырожденной*. Для решения проблемы вырожденности предложено искусственно разбить весь «маршрут» на отдельные участки по аналогии с выражением «зона использования судна», используемом в случае графического метода решения задачи [2]. При этом применяется правило разбиения на участки, состоящие из трех портов: порта погрузки различных партий груза (*пункта отправления*); порта, где выгружаются и загружаются попутные партии груза (*промежуточного пункта*) и порта назначения, где производится выгрузка всех партий груза (*пункта прибытия*). Таким образом, расстановка флота осуществляется на множестве отдельных участков, что решает проблему вырожденности постановки задачи.

Практическое применение предложенной модели, безусловно, позволяет обеспечить оптимальное управление каботажными перевозками в транспортном комплексе, выполнив оценку эф-

фективности использования судна на конкретном участке транспортной сети. Однако требуется доказать адекватность предложенной модели реальному технологическому процессу. Для подтверждения этого был проведен модельный эксперимент с целью обоснования достоверности получаемых модельных решений. В качестве объекта эксперимента была выбрана транспортно-экспедиторская деятельность компании ООО «МаринТЭК», которую кратко можно охарактеризовать следующим образом. Перевозки осуществляются арендованным флотом, который фрахтуется у транспортной компании «Камчатское морское пароходство». Торговый порт Владивосток является отправной точкой морского участка транспортной сети компании, в котором формируются партии груза для отправки. По пути следования осуществляются заходы в несколько портов и портовых пунктов: Анадырь, Беринговский, Провидения, Лаврентия, Певек [20]. Навигационный период, ограниченный погодными и ледовыми условиями плавания судов, составляет три месяца. Исходные данные численного эксперимента были сформированы на основании рейсовых отчетов за 2018 г., предоставленных компанией «МаринТЭК», а также полного списка предлагаемых в аренду судов, взятого с официального сайта компании «Камчатское морское пароходство».

В качестве платформы для выполнения модельного эксперимента был выбран пакет прикладных программ среды MATLAB (версии R2017b, лицензия № 970311) на основе следующих возможностей или характеристик. Данный программный продукт является крайне гибким инструментом, так как при его использовании в задачах оптимизации создан основной каркас решения распределительной задачи в классической постановке, а также предусмотрена возможность адаптации используемых алгоритмов путем подстройки кода под модели, выходящие за рамки классической постановки [21], [22]. Представляет интерес функциональная возможность настройки работы программы с большими базами данными, оформленными в форматах текстов файлов. Кроме того, именно данный программный продукт широко используется в прикладных исследованиях ряда отечественных научных школ при решении актуальных задач морского транспорта [23], [24], а также в процессе обучения будущих специалистов отрасли [25].

### Результаты (Results)

На основании анализа рейсовых отчетов был сделан вывод о том, что за один рейс каждое судно осуществляет заходы для выгрузки груза в 2–3 порта восточного побережья Арктики, а также были выделены основные транспортные участки и определен для каждого из них объем перевозимого груза (табл. 1).

Таблица 1

#### Участки транспортной сети

| Описание участка сети                                    | Протяженность, мили | Потребность, ДФЭ |
|----------------------------------------------------------|---------------------|------------------|
| 1. Владивосток – Беринговский – Анадырь – Владивосток    | 4654                | 128              |
| 2. Владивосток – Анадырь – Провидения – Владивосток      | 5112                | 130              |
| 3. Владивосток – Анадырь – Лаврентия – Владивосток       | 5434                | 243              |
| 4. Владивосток – Анадырь – Певек – Владивосток           | 6483                | 150              |
| 5. Владивосток – Беринговский – Провидения – Владивосток | 5112                | 100              |
| 6. Владивосток – Лаврентия – Нешкан (села) – Владивосток | 5778                | 315              |
| 7. Владивосток – Беринговский – Певек – Владивосток      | 6966                | 120              |

Формирование первоначального списка судов выполнено исходя из сложившегося опыта фрахтования судов у компаний «Камчатское морское пароходство» и ОАО «Совфрахт». При этом определяющими характеристиками выбора являлись: осадка, оснащение судна грузовыми устройствами и грузоподъемность (контейнеровместимость) — табл. 2.

Таблица 2

**Технико-эксплуатационные характеристики судов**

| Суда                   | Характеристики |            |                               |           |                                               |
|------------------------|----------------|------------|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|
|                        | Скорость, уз   | Дедвейт, т | Контейнерная вместимость, ДФЭ | Осадка, м | Краны (количество штук × грузоподъемность, т) |
| 1. «Владимир Мясников» | 13             | 12608      | 678                           | 8,8       | 3 × 40                                        |
| 2. «Николай Ахромеев»  | 11             | 9122       | 330                           | 7,2       | 2 × 60                                        |
| 3. «Юрий Тарапуров»    | 11             | 12840      | 678                           | 8,6       | 3 × 40                                        |
| 4. «Иван Капралов»     | 14,5           | 9165       | 660                           | 7,7       | –                                             |
| 5. «Семен Дежнев»      | 14             | 4900       | 356                           | 1,84      | 2 × 60                                        |
| 6. «Олег Таволжанский» | 11             | 17556      | 922                           | 9,5       | 3 × 60                                        |

Входные параметры модельного эксперимента представлены в табл. 3–5.

Таблица 3

**Время рейса судна на участке транспортной сети, сут**

| Суда                   | Участки |      |      |    |    |    |      |
|------------------------|---------|------|------|----|----|----|------|
|                        | 1       | 2    | 3    | 4  | 5  | 6  | 7    |
| 1. «Владимир Мясников» | 18      | 19,0 | 21,0 | 26 | 19 | 21 | 25   |
| 2. «Николай Ахромеев»  | 21      | 22,2 | 23,8 | 29 | 23 | 25 | 30   |
| 3. «Юрий Тарапуров»    | 21      | 22,2 | 23,8 | 29 | 23 | 25 | 30   |
| 4. «Иван Капралов»     | 16,2    | 17,8 | 19,0 | 23 | 18 | 20 | 23   |
| 5. «Семен Дежнев»      | 20      | 19,0 | 19,0 | 24 | 19 | 21 | 24   |
| 6. «Олег Таволжанский» | 21      | 22,0 | 24,0 | 30 | 23 | 25 | 29,7 |

Таблица 4

**Эксплуатационные расходы судна за рейс, (тыс. руб.)**

| Суда                   | Участки |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | 1       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| 1. «Владимир Мясников» | 9981    | 10675 | 11562 | 14746 | 10675 | 11884 | 14164 |
| 2. «Николай Ахромеев»  | 10493   | 11222 | 12069 | 14911 | 11483 | 12674 | 15176 |
| 3. «Юрий Тарапуров»    | 11615   | 12425 | 13361 | 16517 | 12715 | 14035 | 16809 |
| 4. «Иван Капралов»     | 8333    | 9222  | 10833 | 11482 | 9222  | 10281 | 12027 |
| 5. «Семен Дежнев»      | 7128    | 7885  | 8098  | 10224 | 7885  | 8773  | 10224 |
| 6. «Олег Таволжанский» | 15623   | 16710 | 17968 | 22202 | 17100 | 18869 | 22592 |

Таблица 5

**Провозная способность судна за один рейс, ДФЭ**

| Суда                   | Участки |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 1. «Владимир Мясников» | 125     | 125 | 195 | 160 | 125 | 170 | 100 |
| 2. «Николай Ахромеев»  | 114     | 120 | 175 | 165 | 120 | 150 | 90  |
| 3. «Юрий Тарапуров»    | 125     | 125 | 195 | 160 | 125 | 170 | 100 |
| 4. «Иван Капралов»     | 120     | 120 | 180 | 150 | 120 | 140 | 100 |
| 5. «Семен Дежнев»      | 100     | 95  | 110 | 100 | 100 | 100 | 80  |
| 6. «Олег Таволжанский» | 170     | 170 | 210 | 180 | 170 | 170 | 150 |

Целью эксперимента являлось построение плана расстановки шести судов на семи участках, обеспечивающих минимум эксплуатационных расходов (см. табл. 4) при условии выполнения за-



данного объема перевозок на этих участках (см. табл. 1), а также выполнение сравнительного анализа плана, полученного аналитическим путем, с результатами работы компании «МаринТЭК» за 2018 г. По результатам анализа необходимо было сделать вывод о соответствии предложенной модели реальному технологическому процессу.

Для организации модельного эксперимента была сформирована функция `linprog` из дополнения Optimization Toolbox к пакету прикладных программ среды MATLAB:

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

Переменными этой функции являются матрицы размерности, соответствующей размерности задачи  $(i \times j) = 6 \times 7$ , где  $i$  — судно;  $j$  — участок транспортной сети.

Целевая функция (минимум эксплуатационных расходов за навигационный период) представлена в виде:

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

где  $f^T$  — матрица коэффициентов целевой функции (см. табл. 4):

$$f^T = \begin{pmatrix} 9981 & 10675 & 11562 & 14746 & 10675 & 11884 & 14164 \\ 10493 & 11222 & 12069 & 14911 & 11483 & 12674 & 15176 \\ 11615 & 12425 & 13361 & 16517 & 12715 & 14035 & 16809 \\ 8333 & 9222 & 10833 & 11482 & 9222 & 10281 & 12027 \\ 7128 & 7885 & 8098 & 10224 & 7885 & 8773 & 10224 \\ 15623 & 16710 & 17968 & 22202 & 17100 & 18869 & 22592 \end{pmatrix};$$

$X$  — матрица параметров управления; за параметры управления приняты:  $x_{ij}$  — количество рейсов  $i$ -го судна на  $j$ -м участке маршрута.

Ограничения на ресурсы представлены двумя группами.

*Первая группа ограничений:*

$$A \times X \leq b, \quad (1)$$

где  $A$  — матрица коэффициентов при переменных в ограничениях-неравенствах (см. табл. 3);  $b$  — вектор свободных членов в ограничениях-неравенствах.

Экономический смысл неравенств (1) заключается в том, что суммарное время работы судна не может превышать эксплуатационного (навигационного) периода, который, по условию задачи, равен 90 сут (значения вектора  $b$ ). Вектор  $A$  задан в виде матрицы, сформированной на основе данных табл. 3:

$$A = \begin{pmatrix} 18 & 19 & 21 & 26 & 19 & 21 & 25 \\ 21 & 22,2 & 23,8 & 29 & 23 & 25 & 30 \\ 21 & 22,2 & 23,8 & 29 & 23 & 25 & 30 \\ 16,2 & 17,8 & 19 & 23 & 18 & 20 & 23 \\ 20 & 19 & 19 & 24 & 19 & 21 & 24 \\ 21 & 22 & 24 & 30 & 23 & 25 & 29,7 \end{pmatrix}.$$

*Вторая группа ограничений:*

$$Aeq \times X \leq beq, \quad (2)$$

где  $Aeq$  — матрица коэффициентов при переменных в ограничениях-равенствах;  $beq$  — вектор свободных членов в ограничениях-равенствах (см. табл. 1).

Экономический смысл равенств (2) состоит в том, что выполнение объема перевозок на каждом участке должно быть обеспечено. Вектор  $Aeq$  представлен элементами матрицы (см. табл. 5):

$$Aeq = \begin{pmatrix} 125 & 125 & 195 & 160 & 125 & 170 & 100 \\ 114 & 120 & 175 & 165 & 120 & 150 & 90 \\ 125 & 125 & 195 & 160 & 120 & 170 & 100 \\ 120 & 120 & 180 & 150 & 120 & 140 & 100 \\ 100 & 95 & 110 & 100 & 100 & 100 & 80 \\ 170 & 170 & 210 & 180 & 170 & 170 & 150 \end{pmatrix}.$$

Вектор  $beq$  (заданные на участках объемы перевозок) записан в следующем виде:

$$beq = (128 \ 130 \ 243 \ 150 \ 100 \ 315 \ 120).$$

Необходимо также определить два дополнительных вектора:  $lb$  — вектор ограничений плана снизу и  $ub$  — вектор ограничений плана сверху. Так как областью решений данной задачи являются только неотрицательные числа ( $lb = 0$ ),  $ub$  не будет иметь ограничений сверху. Численный результат модельного эксперимента представлен в табл. 6.

Таблица 6

**Количество рейсов по типам судов и участкам транспортной сети**

| Суда                   | Участки |        |        |       |        |        |        |
|------------------------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
|                        | 1       | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7      |
| 1. «Владимир Мясников» | 0       | 0      | 1,2462 | 0     | 0      | 1,8529 | 0      |
| 2. «Николай Ахромеев»  | 0       | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0      |
| 3. «Юрий Тарапуров»    | 0       | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0      |
| 4. «Иван Капралов»     | 1,0667  | 1,0833 | 0      | 1,000 | 0,1576 | 0      | 1,2000 |
| 5. «Семен Дежнев»      | 0       | 0      | 0      | 0     | 0,8109 | 0      | 0      |
| 6. «Олег Таволжанский» | 0       | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0      |

На основании полученных результатов сделан вывод о том, что для выполнения заданного объема перевозок в период навигации достаточно аренды трех судов: «Владимир Мясников», «Иван Капралов» и «Семен Дежнев». Общие эксплуатационные расходы для данных судов составили 890690 тыс. усл. ден. ед. (тыс. руб.). Аренда судов «Юрий Тарапуров», «Олег Таволжанский», «Николай Ахромеев» компании экономически невыгодна.

В табл. 7 и 8 представлены результаты проверки выполнения ограничений математической модели для сформированного списка арендуемых судов.

Таблица 7

**Время работы судов на участках сети**

| Суда                   | Участки |      |      |    |      |    |      | $\Sigma T_3$ |
|------------------------|---------|------|------|----|------|----|------|--------------|
|                        | 1       | 2    | 3    | 4  | 5    | 6  | 7    |              |
| 1. «Владимир Мясников» | —       | —    | 26,2 | —  | —    | 39 | —    | 65,2         |
| 2. «Иван Капралов»     | 17,3    | 19,3 | —    | 23 | 2,8  | —  | 27,6 | 90           |
| 3. «Семен Дежнев»      | —       | —    | —    | —  | 15,4 | —  | —    | 15,4         |

Таблица 8

**Обеспечение объема перевозок на участках сети**

| Суда                   | Участки |     |     |     |     |     |     | Итого |
|------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
|                        | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |       |
| 1. «Владимир Мясников» | —       | —   | 243 | —   | —   | 315 | —   | 558   |
| 2. «Иван Капралов»     | 128     | 130 | —   | 150 | 19  | —   | 120 | 547   |
| 3. «Семен Дежнев»      | —       | —   | —   | —   | 81  | —   | —   | 81    |
| Потребность, ДФЭ       | 128     | 130 | 243 | 150 | 100 | 315 | 120 | 1186  |

На основании полученных расчетов сформировано следующее управленческое решение:

- судно «Владимир Мясников» является оптимальным для работы на участках: «Владивосток – Анадырь – Лаврентия – Владивосток» (3-й участок) и «Владивосток – Лаврентия – Нешкан – Владивосток» (6-й участок);
- судно «Иван Капралов» является оптимальным для работы на участках: «Владивосток – Беринговский – Анадырь» (1-й участок); «Владивосток – Анадырь – Провидения – Владивосток» (2-й участок); «Владивосток – Анадырь – Певек – Владивосток» (4-й участок); «Владивосток – Беринговский – Певек – Владивосток» (7-й участок);
- судно «Семен Дежнев» является оптимальным на участке «Владивосток – Беринговский – Провидения – Владивосток» (5-й участок).

### Обсуждение (Discussion)

Согласно результатам модельного эксперимента (табл. 9), суда «Владимир Мясников» и «Иван Капралов» являются основными для аренды флота, выполняя перевозку большей части грузопотока судоходной компании, причем грузопотоки равномерно распределены между этими судами (558 и 547 ДФЭ соответственно). Судно «Семен Дежнев» является вспомогательным, так как осуществляет перевозку остатка грузопотока на участке «Владивосток – Беринговский – Провидения – Владивосток», который не смогло выполнить судно «Иван Капралов». Кроме того, для судна «Иван Капралов» зоной эффективного использования является весь маршрут (от Владивостока до Певека), а для судна «Владимир Мясников» зона эффективности более короткая (от Владивостока до Лаврентия с заходами в Арктические поселки). Данный вывод совпадает с результатами, полученными в ходе решения данной задачи графическим методом и представленными в статье [2]. В частности, при решении задачи обоими способами (аналитическим и графическим) можно сделать вывод о том, что судно «Николай Ахромеев» является нерентабельным для компании и должно быть заменено на судно «Иван Капралов».

Таблица 9

**Сравнительная таблица результатов модельного эксперимента и отчетных показателей перевозок контейнеров (ДФЭ) компании ООО «МаринТЭК» в 2018 г.**

| Суда                | Источник информации   | Порты и портовые пункты |         |            |           |        |       | Итого по судну |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|---------|------------|-----------|--------|-------|----------------|
|                     |                       | Беринговский            | Анадырь | Провидения | Лаврентия | Нешкан | Певек |                |
| «Владимир Мясников» | Модельный эксперимент | –                       | 243     | –          | 165       | 150    | –     | 558            |
|                     | Отчетные показатели   | 24                      | 118     | 53         | 165       | 150    | 137   | 647            |
| «Иван Капралов»     | Модельный эксперимент | 148                     | 160     | 102        | –         | –      | 137   | 547            |
| «Николай Ахромеев»  | Отчетные показатели   | 92                      | 194     | 32         | –         | –      | –     | 318            |
| «Семен Дежнев»      | Модельный эксперимент | 81                      | –       | –          | –         | –      | –     | 81             |
| «СТ Конфиденс»      | Отчетные показатели   | 113                     | 91      | 17         | –         | –      | –     | 221            |
| Итого по порту, ДФЭ | Модельный эксперимент | 229                     | 403     | 102        | 165       | 150    | 137   | 1186           |
|                     | Отчетные показатели   | 229                     | 403     | 102        | 165       | 150    | 137   | 1186           |

Полученные в ходе проведения модельного эксперимента результаты не противоречат отчетным показателям перевозок контейнеров (ДФЭ) в 2018 г. компании ООО «МаринТЭК» по основным портам Чукотки (см. табл. 9). Расхождение между отчетными показателями и результатами



моделирования объясняются следующими обстоятельствами. Во-первых, в модельном эксперименте обоснована необходимость введения в список арендуемого флота судно «Иван Капралов», которое имеет более высокую эксплуатационную скорость, а также наименьшие эксплуатационные расходы по сравнению с другими судами (см. табл. 2). Во-вторых, судно «СТ Конфиденс» было арендовано в 2018 г. ООО «МаринТЭК» у компании ОАО «Совфрахт» как вспомогательное судно для вывоза остатка грузопотока. В мае 2019 г. данное судно было выведено из эксплуатации и утилизировано владельцем, поэтому в модельный эксперимент было введено судно «Семен Дежнев» с аналогичными судну «СТ Конфиденс» транспортными характеристиками.

Таким образом, на основании ранее изложенного можно утверждать, что полученные аналитические решения являются достоверными, а математическая модель расстановки флота на участке транспортной сети адекватно описывает существующий технологический процесс перевозки грузов компании ООО «МаринТЭК». При формировании управленческого решения дополнительно необходимо обратить внимание на то, что для части пунктов захода необходимо организовать выгрузку на необорудованный берег. Например, на 3-м и 6-м участках (см. табл. 1) осуществляется выгрузка контейнеров как в оборудованных портах, таких как Анадырь, так и на необорудованный берег — порт Лаврентия и Нешкан. В этой связи выбранные программой суда «Владимир Мясников» и «Семен Дежнев» соответствуют заявленным условиям работы (см. табл. 2), так как имеют собственные краны для производства погрузочно-разгрузочных работ и среднюю осадку. Судно «Иван Капралов» не имеет судового вооружения, необходимого для перевалки груза на необорудованный берег, но его использование возможно на выбранных аналитическим путем участках (1-й, 2-й, 4-й и 7-й участки), так как они имеют судозаходы только в оборудованные порты Анадырь, Певек и Providenia.

При организации выгрузки на оборудованный берег необходимо учитывать следующие особенности. Во-первых, процесс перевалки груза с морских плавсредств на сухопутные у среза воды в условиях прибоя является трудоемким и травмоопасным. Во-вторых, берег Восточной Арктики отличается высокой крутизной галечных пляжей, уклон которых составляет в среднем  $8^\circ$  по сравнению с западной частью Арктики, где уклон пляжей составляет примерно  $2^\circ$  [26]. Исходя из этого использовать транспорт на воздушной подушке для доставки груза на берег в данных условиях не представляется возможным и придется обеспечивать безопасную выгрузку грузов у борта судна на расстоянии 2–5 км от берега при волнении 3–4 балла, в битом льду, на припайной или плавающей льдине. Одним из вариантов организации выгрузки груза у борта судна с доставкой груза до места назначения (удаленного арктического поселка) является применение нового амфибийного перегрузочного транспорта, разработанного в Морском государственном университете имени адмирала Г. И. Невельского [27], [28]. Амфибийный вездеход обладает мореходностью в 4 балла, проходимость в битом льду и по заснеженному льду, а также безопасным сходом с припаянного льда в воду и надежным выходом из воды на лед. Он может устойчиво двигаться одним бортом по воде, другим — по льду, преодолеть прибойную полосу и выйти на берег при волнении 4 балла.

### Выводы (Summary)

1. Практическое применение математической модели «расстановка флота на участке транспортной сети» обеспечивает оптимальное управление флотом судоходной компании даже в малых сегментах рынка морских перевозок и быструю реакцию на малейшие изменения его конъюнктуры.
2. Учет получаемой в процессе моделирования информации позволяет оценивать эффективность использования предложенного к аренде судна на конкретном участке транспортной сети и сформировать структуру флота малой судоходной компании на ближайшую навигацию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. 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.
3. 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.
4. Кузнецов А. Л. Использование эвристических алгоритмов в задачах моделирования работы морского транспорта / А. Л. Кузнецов [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — № 4–4 (42). — С. 224–228.
5. Янченко А. А. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, И. Н. Вольнов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.
6. Эглит Я. Я. Математическое моделирование выбора варианта доставки груза транспортно-экспедиторскими компаниями / Я. Я. Эглит [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. — 2019. — № 1 (90). — С. 15–22. DOI: 10.34046/aumsuomt90-3.
7. Вольнов И. Н. Катастрофа сборки и моделирование морских динамических объектов в экстремальных ситуациях / И. Н. Вольнов, А. С. Шпак // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2018. — № 57. — С. 184–190.
8. 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.
9. Румянцев А. А. Рациональная расстановка флота с использованием индексного метода / А. А. Румянцев // Экономика и предпринимательство. — 2019. — № 7(108). — С. 1073–1076.
10. Галин А. В. Поиск унифицированного метода для маршрутизации судов при сбое работы линейного контейнерного сервиса / А. В. Галин, А. С. Малыхин // Логистика: современные тенденции развития: Материалы XVIII Международной научно-практической конференции. — СПб.: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2019. — С. 90–100.
11. 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.
12. Маликова Т. Е. Использование теории графов при разработке математических моделей систем «смещающийся груз-спецстройств» / Т. Е. Маликова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2012. — № 2. — С. 39–42.
13. 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.
14. Economic Guidance memorandum. 05-06 FY 2004. Shallow Draft Vessel Operating Costs. — U. S. Army Corps of Engineers, 2004. — 16 p.
15. Gentle N. F. An Estimate of Operating Costs for Bulk, Ro-Ro and Container Ships / N. F. Gentle, R. J. Perkins. — Watson Ferguson and Co., 1982. — 53 p.
16. Počuča M. Methodology of day-to-day ship costs assessment / M. Počuča // Promet-Traffic&Transportation. — 2006. — Vol. 18. — No. 5. — Pp. 337–345.
17. 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.
18. 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.
19. Эглит Я. Я. Возможности применения современных методов в регулировании логистических потоков на транспорте / Я. Я. Эглит [и др.] // Системный анализ и логистика. — 2019. — № 3 (21). — С. 13–20.
20. 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.
21. 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.

22. Ревинская О. Г. Гибкость использования в MatLab входных и выходных параметров стандартных и нестандартных функций / О. Г. Ревинская // Программные продукты и системы. — 2019. — № 1. — С. 42–54.
23. Изотов О. А. Математическое моделирование мультимодальных перевозок в условиях Крайнего Севера / О. А. Изотов, Д. Л. Головцов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2016. — № 1. — С. 95–102.
24. Янченко А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 57–67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
25. 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.
26. 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.
27. Азовцев А. И. Развитие судов для условий грузовых операций на необорудованных берегах Арктических и Субарктических морей / А. И. Азовцев [и др.] // Полярная механика. — 2016. — № 3. — С. 450–460.
28. 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.

## REFERENCES

1. 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.
2. 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.
3. Yanchenko, A. A., and T. E. Malikova. “A discrete-event model for operations in container terminals.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (85) (2017): 25–31.
4. Kuznetsov, Alexander L., Alexander V. Kirichenko, Anatoly E. Sazonov, and German B. Popov. “Application of heuristic algorithms in the problem of simulation of sea transport operations.” *Marine Intellectual Technologies* 4-4(42) (2018): 224–228.
5. Yanchenko, Anna A., Tatiana E. Malikova, and Igor N. Volnov. “Developing the model for study of terminal zoning impact on its operating efficiency.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.
6. Eglit, Y. Y., C. Y. Eglite, A. A. Kovtun, A. Y. Rusin, and A. A. Dmitriev. “Mathematical modeling of choice of variant of delivery of cargo forwarding companies.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1(90) (2019): 15–22. DOI: 10.34046/aumsuomt90-3.
7. Volnov, I. N., and A. S. Shpak. “Assembly catastrophe and modeling of marine dynamic objects in extreme situations.” *Bulletin of VSAWT* 57 (2018): 184–190.
8. 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.
9. Rumiantseva, A. A. “Rational fleet allocation using the index method.” *Journal of Economy and entrepreneurship* 7(108) (2019): 1073–1076.
10. Galin, A. V., and A. S. Malykhin. “Search unified method for routing vessels in case of fault of liner container service.” *Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya: Materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. SPb.: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S.O. Makarova», 2019. 90–100.
11. Moiseenko, S. S. “Metodika vybora sudov dlya osvoeniya zadannogo gruzopotoka.” *IV Mezhdunarodnoi Baltiiskii morskoi forum: materialy Mezhdunarodnogo morskogo foruma*. 2016. 99–104.
12. 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.
13. Platov, A. Y., and J. I. Platov. “The modern methods of business planning of river fleet.” *Bulletin of VSAWT* 54 (2018): 110–115.

14. *Economic Guidance memorandum. 05-06 FY 2004. Shallow Draft Vessel Operating Costs*. U.S. Army Corps of Engineers, 2004.
15. Gentle, N. F., and R. J. Perkins. *An Estimate of Operating Costs for Bulk, Ro-Ro and Container Ships*. Watson Ferguson and Co., 1982.
16. Počuča, Milojka. "Methodology of day-to-day ship costs assessment." *Promet-Traffic&Transportation* 18.5 (2006): 337–345.
17. 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.
18. 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.
19. Eglit, Y. Y., C. Y. Eglite, A. A. Kovtun, and A. A. Dmitriev. "Possibilities of application of modern methods in the regulation of logistic flows transport." *System analysis and logistics* 3(21) (2019): 13–20.
20. 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.
21. Borodin, G. A., V. A. Titov, and I. N. Maslyakova. "Solving liner programming problems with MATLAB." *Fundamental research* 11-1 (2016): 23–26.
22. Revinskaya, O. G. "Flexibility of using input and output parameters of standard and non-standard functions in MatLab." *Software & Systems* 1 (2019): 042–054.
23. Izotov, Oleg Albertovich, and Dmitriy Lvovich Golovtsov. "Mathematical modeling of multimodal transportation in the Far North." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2016): 95–102.
24. Yanchenko, Anna A., Tatiana E. Malikova, and Dmitry A. Oskin. "Experimental studies of the impact of a container terminal zoning on its operation efficiency under the conditions of the free port Vladivostok." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 57–67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
25. 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.
26. Azovtsev, A. I., S. A. Ogai, and O. V. Moskalenko. "Prognostic advantages of transport means on air-sea routes for the complex development of the Arctic shelf and the coastal zone of the Arctic and the Far East." *Problemy transporta Dal'nego Vostoka. Doklady nauchno-prakticheskoi konferentsii* 2(2) (2017): 354–358.
27. Azovtsev, Anatoliy, Victor Kulesh, Aleksey Ogai, 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.
28. 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.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Маликова Татьяна Егоровна** —  
доктор технических наук, доцент  
Морской государственный университет  
имени адмирала Г. И. Невельского  
690059, Российская Федерация, Владивосток,  
ул. Верхнепортовая, 50А  
e-mail: [tanMalik@mail.ru](mailto:tanMalik@mail.ru)  
**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](mailto:timoshek-es@mail.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**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: [tanMalik@mail.ru](mailto:tanMalik@mail.ru)  
**Timoshek, Elena S.** —  
Senior lecturer  
Maritime State University named after  
Admiral G. I. Nevelskoi  
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,  
Russian Federation  
e-mail: [timoshek-es@mail.ru](mailto:timoshek-es@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 16 июля 2020 г.  
Received: July 16, 2020.