

доп., вступ. в силу с 01.09.2021) [Электронный ресурс]/ URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 02.10.2021).

9. Федеральный закон от 05 июня 2012 года №56-ФЗ «О ратификации Конвенции 2006 года о труде в морском судоходстве» [Электронный ресурс]/ URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275589> (дата обращения: 04.10.2021).

References

1. Konovalov YU. V. Usloviya truda i sostoyanie zdorov'ya moryakov: Na primere sudov OAO "Dal'nevostochnoe morskoe parohodstvo": avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.26.02 /YU.V. Konovalov. – Vladivostok, 2000. – 32 s.
2. Mezhdunarodnaya konvenciya po ohrane chelovecheskoj zhizni na more (SOLAS-74/78). – SPb.: ZAO "СНИИМФ", 2018. – 984 s.
3. Konvenciya Mezhdunarodnoj organizacii truda 2006 goda «O trude v morskome sudohodstve» [Elektronnyj resurs]/ URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275589> (дата обращения: 01.10.2021).
4. Poryadok provedeniya instruktsij po ohrane truda [Elektronnyj resurs]/ URL: <https://vstr63.ru/blog/poryadok-provedeniya-instruktsij-po-oxrane-truda/admin> (дата обращения: 01.10.2021).

5. Prikaz Mintruda Rossii ot 11 dekabrya 2020 goda N 886n «Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda na morskikh sudah i sudah vnutrennego vodnogo transporta» [Elektronnyj resurs]/ URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275589> (дата обращения: 04.10.2021).
6. Svod pravil MOT. Preduprezhdenie neschastnykh sluchaev na sudne, v more i portu. – SPb.: ZAO «СНИИМФ», 2001. – 375 s.
7. Tomilin A.N. K voprosu o neobходимosti issledovaniya vliyaniya vospitatel'no-profilakticheskoy deyatel'nosti napravlennoj na snizhenie negativnogo vliyaniya chelovecheskogo faktora na bezopasnost' moreplavaniya /A.N. Tomilin, R.R. Tuktarov // Eksplyuatsiya morskogo transporta. – 2017. – № 2(83). – S. 26-33.
8. Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 30.12.2001 N 197-FZ (red. ot 28.06.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.09.2021) [Elektronnyj resurs]/ URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 02.10.2021).
9. Federal'nyj zakon ot 05 iyunya 2012 goda №56-FZ «O ratifikacii Konvencii 2006 goda o trude v morskome sudohodstve» [Elektronnyj resurs]/ URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275589> (дата обращения: 04.10.2021).

УДК 519.85: 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt101/7

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ В УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА

Е. С. Тимошек, соискатель

Т. Е. Маликова, доктор технических наук, доцент

В работе представлен обзор современных научных исследований в области управления флотом судоходной компании на основе математического моделирования производственной деятельности. Системный анализ трудов различных авторов позволил определить основные подходы к построению математических моделей и рассмотреть методы их решения в области исследования технологических процессов работы флота. Основная цель данного аналитического обзора – исследование возможностей математического аппарата и адаптация его для решения задач, связанных с управлением флотом малой судоходной компании. В результате выполненного исследования были сделаны следующие выводы. Имеющийся в наличии математический аппарат принятия управленческих решений в области управления флотом не соответствует требованиям сегмента транспортного рынка, приходящегося на долю малых судоходных компаний. Кроме того, в ряде научных работ изложено мнение на уровне гипотезы и не подтвержденное научными исследованиями, что нет необходимости применять математическое моделирование в рамках автоматизированных систем текущего и оперативного планирования для такого рода компаний. Следовательно, существует необходимость в выполнении исследовательской работы, в которой будет с научной точки зрения доказана необходимость или ненужность внедрения математического моделирования в деятельность малых судоходных компаний.

Ключевые слова: морской транспорт, методы оптимизации, производственный процесс, управление работой флота, малая судоходная компания

ANALYTICAL REVIEW OF MODELS AND METHODS IN FLEET MANAGEMENT

E.S. Timoshek, T.E. Malikova

The work presents an overview of modern scientific research in the field of fleet management of a shipping company based on mathematical modeling of production activities. A systematic analysis of the works of various authors made it possible to determine the main approaches to the construction of mathematical models and consider methods for their solution in the field of research of technological processes of the fleet. The main purpose of this analytical review is to study the capabilities of the mathematical apparatus and adapt it for

solving problems related to the management of the fleet of a small shipping company. As a result of the performed research, the following conclusions were made. The available mathematical apparatus for making managerial decisions in the field of fleet management does not meet the requirements of the transport market segment accounted for by small shipping companies. In addition, in a number of scientific works, an opinion is presented at the level of a hypothesis and not confirmed by scientific research that there is no need to apply mathematical modeling within the framework of automated systems for current and operational planning for such companies. Consequently, there is a need to carry out research work, which will scientifically prove the need or unnecessary implementation of mathematical modeling in the activities of small shipping companies.

Keywords: sea transport, optimization methods, production process, fleet management, small shipping company.

Начиная с 50-х годов прошлого века математическое моделирование производственных процессов широко и успешно применяется в организации работы флота. За этот достаточно большой промежуток времени накоплен богатый научный опыт применения различных методов оптимизации производственных задач морского транспорта, однако, все существующие на сегодняшний день математические модели являются узкоспециализированными, т. е. предназначенными для решения конкретной задачи и в рамках определенных заранее оговоренных внешних условиях, что делает процесс написания качественного научного обзора по данной тематике достаточно трудоемким.

Большое разнообразие математических моделей и способов их оптимизации приводит к тому, что при изучении накопленного научного опыта и написания аналитических обзоров по

данной тематике прежде всего необходимо учитывать для какой конкретно научной цели выполняется обзор методических основ организации работы флота. Традиционно обзор выполняется либо в историческом развитии моделей и методов решения конкретной научной задачи, либо рассматривается накопленный опыт решения нескольких различных научных задач единым математическим аппаратом.

В качестве примера исторического подхода к выполнению научного обзора можно привести работу [1]. В данной статье в качестве объекта исследования выбрана задача построения оптимального маршрута для транспортировки груза и рассмотрена ее эволюция на временном промежутке начиная с 1959 до 2010 гг. В таблице 1 приведены основные результаты данного исследования.

Таблица 1 – Применение эволюционного подхода к выполнению научного обзора

Год	Авторы	Результаты исследования	Основная суть исследования	Особенности
1958-1959	Фостер Л. Велдон [2, 3]	Имитационная модель	Позволяет производить оценку различных маршрутов и графиков движения судна в оперативном режиме	Учитываются меняющиеся условия спроса на перевозку
1982-1993	Давид Ронен [4, 5]	1. Классифицировал модели и задачи маршрутизации и планирования движения судов [4]. 2. Выявил недостатки существующих моделей и выработал требования к реалистичным моделям [4]. 3. Обобщил за десятилетний период накопленный опыт в данной области исследований и определил проблемы, требующие дальнейшего изучения [5]	Рассмотрел различия между маршрутизацией сухопутных транспортных средств и маршрутизации судов, различия в планировании их работы, а также причины недостаточного внимания к планированию маршрутизации судов в прошлом. Описал различные режимы работы грузовых судов. Выполнил обзор существующих моделей.	
1991	Анастасиос Перакис и Д. Жарамило [6, 7]	1. Модель оценки эксплуатационных расходов линейных судов на различных маршрутах [6]. 2. Модель оптимального использования существующего флота универсальных или	Представлена линейная программная формулировка задачи размещения линейного флота. Определена методика фиксации частоты судозаходов на различных маршрутах, а также скоростей судов. Модель оптимального использования существующего флота предназначена для поиска оптимального состава и	Применялись методы линейного программирования

Год	Авторы	Результаты исследования	Основная суть исследования	Особенности
		полностью контейнерных судов, среди заданных маршрутов [7].	размещения флота в заданном наборе торговых маршрутов.	
1997	Бен Поул [8]	Модель минимизации эксплуатационных и стоимостных затрат флота линейных судов, работающих на различных маршрутах	Определяется оптимальная расстановка флота с учетом ресурсных ограничений на каждом из возможных вариантов маршрута существующих	Учитываются требования к судну и его обслуживанию
2001	Хелена Бенделл [9]	Модель оптимизации для определения прибыльности работы схем “хаба” и “спец и ступица”	Область применения: определение оптимального количества судов, необходимых для выполнения поставленной задачи развозки грузов; оптимальная расстановка флота; определение рентабельности работы линейного контейнерного сервиса.	Используется математический аппарат смешанного целочисленного программирования
2002	Поуло Тофа и Даниель Виго [10]	Выполнен обзор существующих методов решения задачи маршрутизации транспортных средств	Рассмотрены три основных варианта проблемы маршрутизации транспортных средств с временными окнами, обратными рейсами и доставками	Рассмотрены как точные, так и эвристические методы
2004	Кхетил Фагерхолт [11]	Методика построения оптимальных еженедельных маршрутов для флота судоходной линейной компании	Генерация маршрута со стоимостным и временным показателями. Маршруты являются входными данными в модель задачи целочисленного программирования. Критерий оптимальности маршрута – минимизация общих транспортных расходов. Системы ограничений – эксплуатационный период и объем перевозок для каждого порта.	Эксплуатационный период не превышает одной недели. Математическая модель задачи целочисленного программирования типовая
2005-2010	Миккель Сигурт и Мартин Андерсен [12, 13]	Региональная фидерная система перевозок, позволяющая осуществлять прямую и непрямую доставку между фидерными портами, а так же периодические визиты в порты при учете временных окон	Предложены различные формулировки математических моделей и подходы к решению, основанные на декомпозиции задачи на две подзадачи, связанные с задачей расстановки флота и задачей маршрутизации грузоперевозок	Критерий оптимальности – минимизация общей стоимости маршрута для перевозки в сервисе. Для решения применялся эвристический алгоритм ветвей и цен
2008	Рича Агауал [14]	1. Разработана смешанная целочисленная линейная программа для одновременного решения задач маршрутизации судов и грузов. 2. Разработаны алгоритмы решения поставленной задачи	Модель ограничена еженедельной частотой судозаходов на эксплуатируемых маршрутах. Разработаны поглощающий алгоритм, алгоритм генерации столбцов и двухфазный алгоритм декомпозиции Бендеров.	Впервые рассмотрена перевалка грузов между двумя или более линейными контейнерными сервисами. В ходе решения задачи были использованы алгоритмы делимости задачи.
2009	Мауро Каталани [15]	Модель оптимизации маршрута морских перевозок контейнерных судов, на основе планирования спроса в каждом порту захода	Предложил применить методику, основанную на программе расчета экспертной системы со случайной функцией полезности судовладельца	Количество и тип судов по условиям модели известны и являются входными параметрами модели
	Мэттью Карлафтис [16]	Методика определения оптимальных маршрутов для контейнерного флота	Осуществляется забор груза и его доставка между хабом и несколькими портами	Для построения маршрутов контейнерного флота применялся гибридный генетический алгоритм.

Год	Авторы	Результаты исследования	Основная суть исследования	Особенности
2012	К. Менг и С. Ванг [17]	Исследована проблема расстановки флота и маршрутизации контейнеров в уже спроектированном линейном контейнерном сервисе с	Учитывались перевалочные операции методом включения недельной зависимости от оригинального расписания и максимально допустимых сроков транзита	Применялся метод пространственно-временного сетевого подхода с учетом ограничений транзитного времени на зависимых маршрутах

В качестве примера выполнения научного обзора по критерию использования одного математического аппарата для различных научных задач можно привести работу [18]. В статье исследуется

применимость имитационного моделирования к задачам оптимизации процессов функционирования морских портов и портовых терминалов. В таблице 2 представлен фрагмент представления результатов в подобном исследовании.

Таблица 2 – Применение инструментарного подхода к выполнению научного обзора

Научный подход	Результат исследования	Основная суть исследования	Особенности
Технологическое проектирование морских портов и терминалов	Разработана имитационная модель, отражающая изменения в развитии порта при количественном и качественном изменении грузопотока [19, 20]	Результат применения модели на практике – обоснование управленческих решений в вопросе модернизации перегрузочных комплексов	Предполагает возможность экстенсивного развития уже существующих портов и портовых терминалов (например, увеличение числа причалов, парка перегрузочного оборудования и др.), а также с проектированием новых портовых терминалов, складов и т.п. Однако на практике в большинстве случаев этот путь реализовать невозможно или затруднительно в виду наличия ряда существенных ограничений (территориальных, финансовых, метеорологических и т.п.).
	На основе системного подхода к описанию транспортного узла, представлен фрагмент транспортной модели контейнерного терминала, а также разработана имитационная модель процесса переработки каботажных грузов, основанная на интервальных оценках расчета вероятностных характеристик работы транспортно-технологического терминала [21, 22]	Результат применения модели на практике – повышение качества проектируемых перегрузочных контейнерных терминалов за счет более точного планирования обработки судов и управления этими процессами	
	Формирование общих принципов применения имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов [23]	Определены принципы построения процедур оценки модели на этапе исследования и проверки ее на адекватность реальному прототипу	
	Рассмотрен сам процесс технологического проектирования грузовых терминалов [24] – [26]	Исследована задача расчета морского фронта методами имитационного моделирования [26, 27], а также рассмотрен подход к расчету времени ожидания и занятости причала в новых граничных условиях: для произвольных судов, неоднородных причалов и произвольных характеристиках потока судов [28]	
Совершенствование систем управления контейнеропотоком в морских портах и терминалах	Моделировании технологических операций в системе эксплуатации терминалов [27] – [29] и системе, предполагающей использование промежуточного транспортного узла – «сухого порта» [30, 31]	Разработаны методики имитационного моделирования транспортных операций при изменении расположения технологических зон терминала [29] – [31] и введения в технологическую систему промежуточного транспортного узла («сухой порт») [32, 33]	Направлен на совершенствование деятельности портов за счет получения высоких эксплуатационных показателей
	Моделирование процессов обработки грузопотоков на контейнерном терминале для различных технологических целей [32, 33]	Рассмотрены способы универсального описания и задания типовых грузопотоков, предложены форматы описания функциональных операций в порту и требуемого транспортно-технологического оборудования для их выполнения	

В первом варианте выполнения аналитического обзора основной акцент делается на развитие методических основ изучаемой проблемы в хронологическом порядке. Основные выводы полученные в ходе исследования: усложнение моделей, путем введения дополнительных условий-ограничений, необходимость в ходе решения в упрощении модели объекта, чтобы искусственно применить к ней доступные на момент изучения проблемы математические методы. Как итог переход к трансвычислительных NP-трудных задач. Пытка обобщить накопленный опыт решения рассматриваемой проблемы за большей временной отрезок приводит к большому перечню перечисленных в списке работ, а также делает обзор трудным для восприятия.

Второй вариант – систематизация научных работ по определенному признаку – позволяет существенно сократить список литературы, и главное – сформулировать основные научные подходы, используемые при исследовании проблемы, оценить степень изученности и определить место вашего конкретного исследования в решаемой научной проблеме, т. е. ответить на вопрос актуальности проводимого научного изыскания.

Целью выполнения аналитического обзора в данном случае является исследование возможностей математического аппарата и адаптация его для решения задач, связанных с управлением флотом малой судоходной компании. В работе [34] было сформулировано понятие «малая судоходная» как компания, владеющая малым количеством судов, но не менее двух, либо арендующая флот и осуществляющая перевозки в одном единственном направлении. Иначе говоря, возникает вопрос: «Существует ли такой математический аппарат, который позволяет найти решение для задачи расстановки двух типов судов на одной линии?»

Ни один из рассмотренных выше подходов к написанию аналитических обзоров не позволит в полной мере решить поставленную в данной работе задачу. Поэтому в основание систематизации накопленных знаний в исследуемой области положим процессный подход [35, 36]. Целесообразность применения данного классификатора можно аргументировать следующим образом. При управлении флотом, возникает необходимость рациональной организации и взаимодействия основного и вспомогательных процессов, обеспечения их функционирования всеми необходимыми ресурсами (информация, финансы, техника и технологии, специалисты и др.). Исходя из

этого систематизация математических методов и моделей управления работой флота под таким углом зрения имеет актуальность и определенную новизну.

Так как методологическим базисом организации функции управления является бизнес-планирование работы флота по направлениям рассмотрим современное состояние данной проблемы и подходов к ее решению. В работе [37] (авторы А. Ю. Платов и Ю. И. Платов) выполнен критический анализ различных подходов к бизнес-планированию работы флота и сформулированы общие недостатки такие как: отсутствие обоснованных резервов при определении потребности во флоте, изменяющихся по периодам навигации, водным путям, типам судов и в зависимости от других условий; не учитывается влияние на расход топлива условий плавания и загрузки судов, скоростей движения, соотношения ходового и стояночного времени на различных грузопотоках; при расчете эксплуатационных расходов не рассматриваются показатели характеризующие конкретные рейсы судов, например такие как условия оплаты труда, особенности грузов и др. А также обобщен практический опыт организации бизнес-планирования работы флота в компании «Волготанкер» с устранением перечисленных выше недостатков. Остановимся на данном опыте более подробно, так как в данном случае рассматривается методика моделирования работы флота на одном направлении и приведен пример моделирования бизнес-процессов для небольшой компании, что для нашего исследования представляет наибольший интерес.

Описание входных параметров модели. Эксплуатационный период работы флота принимается произвольно (указывается количество суток в плановом периоде) и начинается с произвольного момента навигации. Потребность во флоте вычисляется по видам перевозок, грузопотокам, типам судов и их специализации, фрахтователям и должна быть выражена целым числом. Эксплуатационные расходы определяются по каждому судну и суммируются по всем рейсам, также учитываются при расчете этого показателя расходы на переход судов в пункты первой погрузки и зимнего отстоя. Резервы времени заданы как накладное время по каждому рейсу в зависимости от периода навигации и района плавания отдельно по ходовым операциям, грузовым работам, шлюзованию, при прохождении каналов и других проблемных участках водных путей. Эко-

номико-математический анализ бизнес-процессов выполняется для небольших компаний в два этапа: планирование рейса; определение эксплуатационных расходов, объемов перевозок, временных затрат как по отдельным грузопотокам, так

суммарные по всем перевозкам. По мнению, авторов работы: «Модель расстановки судов по договорным или прогнозным потокам для небольших компаний не применима». В таблице 3 представлены математические модели, используемые на каждом из двух этапов анализа.

Таблица 3 – Математические модели анализа бизнес-процессов из работы [37]

	Математическая модель
Основная модель первого этапа	$\frac{QF - C}{t_{кр} + \Delta t} \rightarrow \max ; C = c_1 B + c_2 (t_{кр} + \Delta t) + c_3,$ <p>где $t_{кр}$ – время кругового рейса, час; Δt – сумма резервного времени по каждой операции, час; Q – эксплуатационная загрузка судна, т; F – фрахтовая ставка, руб./т; C – эксплуатационные затраты, руб.; B – расход топлива, кг; c_1 – цена топлива, руб., кг; c_2 – «арендный коэффициент», руб./час; c_3 – прочие расходы, руб.</p>
Вспомогательная модель первого этапа	$B = \sum_{k=1}^N q_k t_k \rightarrow \min ; t_x = \sum_{k=1}^N t_k ; t_k^{\min} \leq t_k \leq t_k^{\max}.$ <p>Для расчёта расхода топлива на главные двигатели водный путь разбивается на элементарные участки, для каждого из которых определяется ходовое время t_k и соответствующий ему часовой расход топлива g_k.</p>
Модель второго этапа	<p>Эксплуатационные расходы определяются как сумма расходов по всем судам и всем рейсам за период. При этом добавляются расходы на смазку, которые вычисляются через коэффициент от расхода топлива. Потребность в судах определяется по формуле:</p> $\Phi = \frac{G (t_{кр} + \Delta t)}{Q t_{ом}},$ <p>где G – объем перевозок, т.</p>

На этапе планирования рейса используются две математические модели: основная и вспомогательная. Основная модель применяется для определения по каждому грузопотоку и эксплуатационному периоду моменты ввода и вывода судов из эксплуатации, время движения до пункта первой погрузки и пункта вывода после последнего рейса, время кругового рейса с учетом прогнозируемых условий плавания. С помощью вспомогательной модели выполняется оптимизация такого параметра основной модели как расчет расхода топлива на главные двигатели на круговой рейс.

Замечания к основной модели. Арендный коэффициент c_2 вычисляется как сумма всех затрат по судну (составу) или типу на единицу времени эксплуатации, кроме расходов на топливо и смазку, сборов за прохождение ВВП, портовых и канальных сборов и оплаты услуг за КОФ. Прочие расходы c_3 определяются как сумма портовых и канальных сборов, платы за прохождение ВВП, оплата услуг за КОФ, вычисленные для конкретного кругового рейса. Кроме того, в c_3 могут быть включены затраты на смену дислокации судна (балластный пробег), если таковая предполагается исходя из расстановки судов.

Замечание к вспомогательной модели. Минимальное t_k^{\min} и максимальное t_k^{\max} время движения для каждого участка вычисляются по ограничительным характеристикам главных двигателей, ограничениям по динамической просадке судов, а также условиям управляемости и минимальной устойчивой частоты вращения вала двигателя.

Замечание к модели второго этапа. Если потребность в судах меньше величины рабочего ядра флота $\Phi_{раб}$, то для оставшихся вне перевозок судов $\Phi_{раб} - \Phi$ расходы вычисляются по формуле:

$$C = c_2 (t_{кр} + \Delta t).$$

Алгоритм вычисления расхода топлива в зависимости от скорости судна является существенной особенностью авторской модели анализа бизнес-процессов управления работой флота, представленной в работе [37], и является по своей сути компиляцией математической модели, относящейся к математическому аппарату методов оптимизации, и регрессионного анализа, широко применяемого в плановых расчетах за рубежом. Однако, в регрессионных моделях, используемых в практической деятельности специалистов водного транспорта США и Европы, не применялась

именно регрессионная зависимости расхода топлива от скорости, а также не учитывались условия плавания судна в конкретном рейсе. В качестве подтверждения приведем несколько зарубежных работ [38-41], в которых используются тем или иным образом регрессионные зависимости расхода топлива. В работе [38] представлен вариант принятия управленческого решения на основании регрессионной зависимости суточного расхода топлива от мощности главного двигателя, а в работах [39, 40] – зависимость от дедевейта. В работе [41] интерполяция расхода топлива выполняется на основе двух линейных функций, построенных по трем точкам. Такой подход применяется в случае если судоходная компания обладает не полными данными.

Напомним, что в статье [37] был выдвинут тезис, что модель расстановки судов по договорным или прогнозным потокам для небольших компаний не применима. По этой причине модель расстановки флота в этой работе не рассматривалась. Однако, в статье [42] (автор С.С. Мойсеенко) предложен подход к оптимизации работы флота строится на таких бизнес процессах как выбор типа судна для освоения грузопотока и расстановка тоннажа по направлениям перевозок. Анализ бизнес

процессов в статье выполнен в три этапа.

На первом этапе определяется изменение величины ожидаемой прибыли по каждому судну в условиях изменений объемов грузоперевозок и композиции грузов. С этой целью для каждого рассматриваемого типа судна решается задача линейной программирования с критерием оптимальности – минимизация затрат на транспортировку грузов. В результате решения находятся оптимальные значения объемов перевозки грузов с учетом их композиции, временных интервалов и других ограничений. На втором этапе рассчитывается ожидаемая величина прибыли для каждого рассматриваемого типа судна при различных объемах грузоперевозок. На третьем этапе решается задача выбора типов судов для освоения ожидаемых объемов грузопотоков с критерием оптимальности – максимизация общей прибыли флота. Математическое моделирование применяется на первом и третьем этапе анализа. В качестве инструментария для решения математических моделей применяется соответственно методы линейного и динамического программирования. В таблице 4 представлены математические модели первого и третьего этапа анализа.

Таблица 4 – Математические модели анализа бизнес-процессов из работы [42]

	Математическая модель
<p>Модель первого этапа (линейного программирования). Выбор судна для освоения грузопотока.</p>	$Z_k = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ijk} x_{ijk} \rightarrow \min ; \text{при ограничениях: } \sum_{i=1}^m \sum_j \frac{1}{a_{ijk}} x_{ijk} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} ,$ $\sum_{i=1}^m \sum_j x_{ijk} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_{ijk} , \sum_{i=1}^m \sum_j \frac{1}{R_{ijk}} x_{ijk} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{ijk}^{cm} ,$ $\sum_{i=1}^m \sum_j f_{ijk}^t x_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{ijk}^T ;$ <p>условие не отрицательности переменных: $x_{ijk} \geq 0 (i = \overline{1; m}; j = \overline{1; n})$,</p> <p>где x_{ijk} – количество груза i-го рода, j-го вида, перевозимого k-м типом судна; z_{ijk} – затраты на транспортировку одной тонны груза i-го рода, j-го вида, перевозимого k-м типом судна; a_{ijk} – коэффициент загрузки k-ого типа судна; D_{ijk} – средняя чистая грузопоместимость k-ого типа судна при загрузке; R_{ijk} – средняя интенсивность грузовой обработки судна (тонн в сутки) k-го типа судна; T_{ijk}^{cm} – статистическое время(средняя величина), в сутках; f_{ijk}^t – средняя доходная ставка на тонно-мило груза, в рублях/долларах; F_{ijk}^T – средняя величина доходности k-го типа судна, обеспечивающая его рентабельность, в рублях/долларах.</p>
<p>Модель третьего этапа (динамического программирования). Расстановка тоннажа по направлениям перевозок</p>	<p>Параметры управления: x_1, x_2, x_3, x_4 – искомые объемы грузоперевозок; $\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_n)$ – прибыль от освоения грузоперевозок соответствующими типами судов.</p> <p>Рекуррентное уравнение распределения объема грузоперевозок между судами:</p> $f_n(S) = \max[f_{n-1}(S) + \varphi_n(x_n)] , n = \overline{2; k}; 0 \leq S_n \leq S ,$ <p>где $f(S)$ – суммарная прибыль</p>

Замечание к модели первого этапа. В результате решения задачи получим оптимальные значения переменных x_{ijk} . Затем оптимальный

план исследуется на устойчивость и определяются доверительные интервалы, в которых решение остается неизменным. Далее рассчитывается

ожидаемая прибыль для различных объемов грузоперевозок. Полученные в результате экономические показатели прибыли являются входными параметрами для модели третьего этапа.

Замечание к модели третьего этапа. В данной постановке математическая модель расстановки тоннажа по направлениям перевозок является типовой моделью из раздела динамического программирования исследования операций. Метод нахождения оптимального плана задачи общеизвестен. По этой причине нет необходимости в описании соответствующего алгоритма решения данной задачи [43, с. 264]. Результат решения задачи: определено оптимальное распределение ожидаемого объема грузоперевозок и соответствующий этому распределению список судов, использование которых на данном конкретном объеме перевозимого груза приносит грузовладельцу максимальную прибыль.

Одной из краеугольных задач, решаемых в рамках планирования бизнес процессов работы флота, является задача определения оптимального маршрута. В качестве примера, рассмотрим несколько работ, опубликованных за последнее время, в которых представлен математический аппарат решения данной задачи. Данные научные разработки дополняют научный обзор, представленный в табл. 1.

Так научная работа аспиранта Я. А. Филатовой [44], выполненная под руководством профессора С. С. Мойсеенко, дополняет авторский подход к оптимизации бизнес процессов работы флота изложенный в [42] методикой построения оптимального маршрута для транспортировки груза с использованием алгоритма Прима (алгоритм ближайшего соседа) из теории графов. Практическая ценность предложенной в исследовании [44] методики заключается в том, что алгоритм расчета прост в реализации, не зависит от размерности решаемой задачи, т. е. может применяться в рамках процесса принятия решений для малых судходных компаний, и главное может быть использован как один из возможных способов реализации подпрограммы определения оптимальной последовательности захода судна в порты одного бассейна при их постоянном обслуживании. Кроме того, в работе приведен пример построения оптимального маршрута, связывающего между собой порты Дальневосточного бассейна.

В работе [45] поставлена цель – разработать алгоритмический инструмент, способный решать задачи оптимизации круговых судовых рейсов, базируясь на критерии длины маршрута, в частности для нахождения наименее затратного круго-

вого рейса с заходом в конкретные порты с конкретным грузом при перевозках в Арктическом регионе.

Математический аппарат, положенный в основание алгоритмического инструмента, – эвристическое программирование, в частности генетический алгоритм. В роли «генов» при решении задачи выступают порты, в которые необходимо совершить по одному судозаходу в рамках кругового рейса. Под «особь» понимают часть уже сформированного маршрута. Координаты портов задаются в декартовой системе координат и измеряются в милях, т. е. расстояние между двумя любыми портами рассчитывается по формуле:

$$S_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2},$$

где S_{ij} – расстояние между i -м портом и j -м портом, x_i, x_j – координаты соответствующих портов по оси абсцисс; y_i, y_j – координаты соответствующих портов по оси ординат. Зная расстояния между всеми портами, можно находить длины каждого из сгенерированных круговых рейсов. Критерий оптимальности алгоритма – наименьшая длина рейса из возможных длин сгенерированной совокупности.

В работе отмечено, что генетический алгоритм в классической форме не приемлем для решения задачи оптимизации круговых судовых рейсов, так как возникает проблема в операции «скрещивание родительских особей». При скрещивании геномов двух «родителей» в новой особи часть портов может быть дублирована, так как «гены» (конкретные порты в маршруте) одного «родителя» могут быть уже использованы в «генах» другого. Возникает противоречие с обязательным условием в постановке задачи: «Судно может заходить в порт только один раз».

Для того, чтобы при моделировании маршрута подобных ситуаций, описанной выше, не возникало, классический генетический алгоритм был дополнен механизмом создания «химер». В следующем поколении если геномы родителей имеют в своих списках повторяющиеся участки, то от каждого «однополого родителя» формируются две «особи»: одна с «головой родителя» и случайным «хвостом», другая – с «хвостом родителя» и случайной «головой», что и объясняет использование дополнительного термина «химера» в названии генетического алгоритма, представленного в работе [45].

В статье [46] выполнена оценка обрабатываемого объема данных в процессе нахождения оптимального маршрута посредством генетического алгоритма. Указано, что механизм поиска оптимального решения поставленной задачи

сильно зависит от выбора коэффициентов, задающих режим работы генетических операторов. Иначе говоря, перед использованием алгоритма в практической деятельности необходимо выявить основные закономерности между используемыми коэффициентами, а также определить оптимальные значения, при которых работа алгоритма будет наиболее эффективной. На основании проведенного численного эксперимента было доказано, что с увеличением размера популяции растет и эффективность работы алгоритма путем снижения количества поколений, необходимых для решения задачи, и одновременно с этим значительно возрастает время, необходимое для расчета каждого из генерируемых поколений, в связи с увеличением нагрузки на вычислительную систему путем увеличения размера популяции в каждом цикле. Сделан вывод, что наилучший размер популяции, обрабатываемый за один цикл является размер из 1000 особей.

Исходя из выше изложенного можно сделать следующие выводы о степени разработанности математического аппарата принятия решений в области оптимального управления флотом судовой компании.

1. В научной литературе по управлению работой флота в советский период развития эксплуатационной науки и практики был накоплен богатый опыт применения математического моделирования в рамках планирования работы морского транспорта.

2. Несмотря на многообразие перечисленных выше традиционных методов принятия управленческих решений на морском транспорте можно выделить объединяющие их факторы: исследуются динамически сложные системы; решение формируется на основе точных прогнозов, в основание которых положена обработка больших массивов статистических данных и математическое моделирование, целью которого является исследование различных режимов функционирования сложившейся транспортной системы.

3. Развитие математического аппарата управления флотом идет в направлении увеличения размерности решаемой задачи путем ввода в математическую модель дополнительных ограничений, т. е. увеличения трудоемкости процесса ее решения. В свою очередь возрастание трудоемкости приводит к поиску новых не традиционных способов решения задачи, таких как, приведенный в качестве примера, метод генетических химер [45].

Но также необходимо учитывать степень востребованности имеющихся в наличии на сегодняшний день математических методов и моделей в изменившихся внешних условиях работы морского транспорта. Следует учесть, что резкий переход к рыночным отношениям привёл к распаду сложившейся на тот момент системы управления. В результате приватизации парокходств и портов прежние связи между ними и грузовладельцами были разрушены, и прежняя система планирования перестала быть применимой в практической деятельности. Количество флота значительно сократилось, и география перевозок сузилась. На транспортный рынок пришли малые судоходные компании, имеющие несколько судов и не нуждающиеся в развитой системе планирования работы флота [47]. Для таких компаний все задачи, требующие планирования, сосредоточены на уровне рейсового планирования, что не требует обработка больших массивов данных, и как следствие решения задач больших размерностей.

Таким образом, имеющийся в наличии математический аппарат принятия управленческих решений в области управления флотом не соответствует нуждам и требованиям сегмента транспортного рынка, приходящегося на долю малых судоходных компаний. Кроме того, существует мнение на уровне гипотезы и не подтвержденное научными исследованиями, что нет необходимости применять математическое моделирование в рамках автоматизированных систем текущего и оперативного планирования для такого рода компаний.

Однако любая выдвинутая гипотеза рано или поздно требует научного подтверждения или опровержения, т. е. необходимо выполнить исследовательскую работу, в которой будет доказана необходимость или ненужность внедрения математического моделирования в деятельность малых судоходных компаний, а также адаптировать уже существующие математические модели к новым внешним условиям их применения [48-50].

Литература

1. Галин А. В. Аналитический обзор методов маршрутизации судов в линейном контейнерном сервисе при сбое его работы / А. В. Галин, А. С. Мальхин // Транспортное дело России. – 2019. – № 2. – С. 162–164.
2. Foster L. Weldon Cargo Containerization in the West Coast-Hawaiian Trade / Foster L. Weldon. – Operational Research. – 1958. – Vol. 6. – № 5. – Pp. 649-790.

3. *Foster L. Weldon*, editor. Operational Simulation of a Freighter Fleet, Research Techniques in Maritime Transportation, Washington, National Research Council publication 720, 1959.
4. *Ronen D.* Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems / David Ronen – European Journal of Operational Research. – 1982. – Vol. 12. – № 2. – Pp. 119-126.
5. *Ronen D.* Ship scheduling: The last decade / D. Ronen – European Journal of Operational Research. – 1993. – Vol. 71. – № 3. – Pp. 325-333.
6. *A. N. Perakis, D. I. Jaramillo* Fleet deployment optimization for liner shipping, part 1. / A. N. Perakis, D. I. Jaramillo. – Maritime Policy and Management. – 1991. – Vol. 18. – № 3. – Pp. 183-200.
7. *N. Perakis, D. I. Jaramillo* Fleet deployment optimization for liner shipping Part 2. Implementation and result / N. Perakis, D. I. Jaramillo. – Maritime Policy and Management. – 1991. – Vol. 18. – № 4. – Pp. 235-262.
8. *B. J. Powell, A. N. Perakis* Fleet deployment optimization for liner shipping: an integer programming model. / B. J. Powell, A. N. Perakis. – Maritime Policy and Management. – 1997. – Vol. 24. – № 2. – Pp. 183-192.
9. *Bendall HB, Stent AF* A scheduling model for a high speed containership service: A hub and spoke short-sea application. / Bendall HB, Stent AF. – International Journal of Maritime Economics. – 2001. – Vol. 3 – № 3. – Pp. 262-277.
10. *P. Toth, D. Vigo, editors.* The Vehicle Routing Problem. Discrete Mathematics and Applications. SIAM, 2002.
11. *K. Fagerholt* Designing optimal routes in a liner shipping problem. / K. Fagerholt. – Maritime Policy and Management. – 2004. – Vol. 31. – № 4. – Pp. 259-268.
12. *Sigurt M, Ulstein N, Nygreen B, Ryan D* (2005) Ship scheduling with recurring visits and visit separation requirements. In: Desaulniers G, Desrosiers, J., Solomon, M. (ed) / Sigurt M, Ulstein N, Nygreen B, Ryan D. – Column Generation. – Springer, US, – pp 225-245.
13. *Andersen MW* Service network design and management in liner container shipping applications (Chapter 5). Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 2010.
14. *R. Agarwal, E. Ozlem* Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping. / R. Agarwal, E. Ozlem. – Transportation Science. – 2008. – Vol. 42. – № 2. – Pp. 175-196.
15. *Catalani M* Ship scheduling and routing optimization: An application to Western Mediterranean area. / Catalani M. – European Transport. – 2009. – Vol. 42 – Pp. 67-82.
16. *Karlaftis MG, Kepaptsoglou K, Sambracos E* (2009) Containership routing with time deadlines and simultaneous deliveries and pick-ups. / Karlaftis MG, Kepaptsoglou K, Sambracos E. – Transportation Research. – Vol. 45. – № 1. – Pp. 210-221.
17. *Meng Q, Wang S* (2012) Liner ship fleet deployment with weekdependent container shipment demand. / Meng Q, Wang S – European Journal of Operational Research. – Vol. 222. – № 2. – Pp. 41-252.
18. *Янченко А.А.* Научные подходы к исследованию процессов функционирования морских портов и портовых терминалов / А.А. Янченко // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 55 (55). – С. 185-192.
19. *Галин А.В.* Обобщенная имитационная модель процесса развития портов / А.В. Галин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 6 (34). – С. 43-51.
20. *Галин А.В.* Воздействие ограничений на обобщенную имитационную модель процесса развития портов / А.В. Галин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 1 (35). – С. 7-14.
21. *Майоров Н.Н.* Исследование состояния контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования / Н. Н. Майоров, А. В. Кириченко, В. А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 3 (37). – С. 7-15.
22. *Кукушкин И. В.* Алгоритмическое и программное обеспечение имитационного моделирования процессов переработки каботажных грузов / И. В. Кукушкин, А. П. Нырклов, А. А. Нырклов // 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.
23. *Кузнецов А. Л.* Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. А. Погодин, В. Н. Щербаклова-Слосаренко // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 93-102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-8-2-93-102.
24. *Китиков А. Н.* Расчет морского фронта методами имитационного моделирования / А. Н. Китиков, А. Л. Кузнецов, И.А. Русинов // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – № 2 (72). – С. 3-6.
25. *Китиков А. Н.* Ограничения при расчете морского фронта методами теории массового обслуживания / А. Н. Китиков, А. Л. Кузнецов, И.А. Русинов // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – № 1 (71). – С. 3-6.
26. *Кузнецов А.Л.* Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий / А.Л. Кузнецов, В.А. Погодин, Я.Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. – 2011. – 1 (63). – С. 3-8.

27. 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.
28. Кузнецов А. Л. Дискретно-событийное моделирование в задачах проектирования и эксплуатации автомобильных терминалов / А. Л. Кузнецов, С. В. Бобрышев, Я. Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. – 2011. – № 2 (64). – С. 8–13.
29. 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.
30. Кузнецов А. Л. Обоснование концепции «сухого» порта / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Транспортное дело России. – 2013. – № 4. – С. 77-80.
31. Щербакова-Слюсаренко В.Н. Разработка функциональной модели контейнерного терминала типа «сухой порт» и принципов ее использования в технологическом проектировании / В.Н. Щербакова-Слюсаренко, В.А. Погодин, А.С. Ткаченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т.9. – № 1. – С. 48-60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.
32. Кузнецов А.Л. Имитационное моделирование как инструмент расчета наземных контейнерных терминалов / А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.С. Ткаченко, Г.Б. Попов // [Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология](#). – 2018. – № 1. – С. 100-108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.
33. Маликова Т. Е. Модель массового обслуживания импортного грузопотока с применением технологии предварительного информирования / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко, И. Н. Вольнов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т.9 – № 2. – С. 280-287. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-280-287.
34. Маликова Т. Е. Формирование понятийного аппарата «малая судоходная компания» / Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек // В сборнике: Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Материалы IV Национальной научно-технической конференции. – 2021. – С. 319-325.
35. Маликова Т. Е. Системный анализ взаимодействия участников транспортного рынка при оформлении грузов в морском порту / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 25–29.
36. Маликова Т. Е. Применение технологии предварительного информирования таможенных органов при морских внеплановых грузоперевозках / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 3 (37). – С. 33–45. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45.
37. Платов А. Ю. О современных методах бизнес-планирования работы речного флота / А. Ю. Платов, Ю. И. Платов // Вестник государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 54. – С. 110–115.
38. Economic Guidance memorandum 05-06 FY 2004 Shallow Draft Vessel Operating Costs. U.S. Army Corps of Engineers, 2004. P. 16.
39. Gentle N.F. An Estimate of Operating Costs for Bulk, Ro-Ro and Container Ships / [N.F. Gentle](#), [R.J. Perkins](#)// Bureau of Transport Economics, Canberra. 1982.
40. Pocuca M. Methodology of Day-to-Day Ship Costs Assessment / [M. Pocuca](#)// [Traffic&Transportation](#). Vol. 18, 2006, No. 5, pp. 337-345.
41. Andersson H. Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping / H. Andersson, K. Fagerholt, K. Hobblesland // [Computers & Operations Research](#) 55, 2015. p. 233–240.
42. Мойсеенко С.С. Методика выбора судов для освоения заданного грузопотока / С.С.Мойсеенко // В сборнике: IV Международной Балтийский морской форум материалы Международного морского форума. – 2016. – С. 99-104.
43. Маликова Т. Е. Математические методы и модели в управлении на морском транспорте: учебное пособие / Т.Е. Маликова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 373 с. – (Серия 11: Университеты России).
44. Филатова Я. А. Оптимизация обслуживания судном портов одного бассейна / Я. А. Филатова, С.С.Мойсеенко // В сборнике: V Международный Балтийский морской форум. Материалы Международного морского форума. – 2017. – С. 111-118.
45. 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.
46. Федоренко К. В. Исследование основных параметров генетического алгоритма применительно к задаче поиска оптимального маршрута / К. В. Федоренко, А. Л. Оловянный // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. –

- № 4. – С. 714–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.
47. *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.
 48. *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.
 49. *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.
 50. *Тимошек Е. С.* Адаптация задачи расстановки флота к условиям работы малых судоходных компаний / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XIX Международной научно-практической конференции. Редколлегия: В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.], 2020. – С. 97–103.
- REFERENCES**
1. *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.” *Transportnoe delo Rossii* 2 (2019): 162–164.
 2. *Foster L.* Weldon Cargo Containerization in the West Coast-Hawaiian Trade / Foster L. Weldon. – Operational Research. – 1958. – Vol. 6. – № 5. – Pp. 649-790.
 3. *Foster L.* Weldon, editor. Operational Simulation of a Freighter Fleet, Research Techniques in Maritime Transportation, Washington, National Research Council publication 720, 1959.
 4. *Ronen D.* Cargo ships routing and scheduling: Survey of models and problems / David Ronen – European Journal of Operational Research. – 1982. – Vol. 12. – № 2. – Pp. 119-126.
 5. *Ronen D.* Ship scheduling: The last decade / D. Ronen – European Journal of Operational Research. – 1993. – Vol. 71. – № 3. – Pp. 325–333.
 6. *A.N. Perakis, D. I. Jaramillo* Fleet deployment optimization for liner shipping, part 1. / A. N. Perakis, D. I. Jaramillo. – Maritime Policy and Management. – 1991. – Vol. 18. – № 3. – Pp. 183–200.
 7. *N. Perakis, D. I. Jaramillo* Fleet deployment optimization for liner shipping Part 2. Implementation and result / N. Perakis, D. I. Jaramillo. – Maritime Policy and Management. – 1991. – Vol. 18. – № 4. – Pp. 235-262.
 8. *B. J. Powell, A. N. Perakis* Fleet deployment optimization for liner shipping: an integer programming model. / B. J. Powell, A. N. Perakis. – Maritime Policy and Management. – 1997. – Vol. 24. – №2. – Pp. 183–192.
 9. *Bendall HB, Stent AF* A scheduling model for a high speed containership service: A hub and spoke short-sea application. / Bendall HB, Stent AF. – International Journal of Maritime Economics. – 2001. – Vol. 3 – № 3. – Pp. 262-277.
 10. *P. Toth, D. Vigo, editors.* The Vehicle Routing Problem. Discrete Mathematics and Applications. SIAM, 2002.
 11. *K. Fagerholt* Designing optimal routes in a liner shipping problem. / K. Fagerholt. – Maritime Policy and Management. – 2004. – Vol. 31. – № 4. – Pp. 259–268.
 12. *Sigurt M, Ulstein N, Nygreen B, Ryan D* (2005) Ship scheduling with recurring visits and visit separation requirements. In: Desaulniers G, Desrosiers, J., Solomon, M. (ed) / Sigurt M, Ulstein N, Nygreen B, Ryan D. – Column Generation. – Springer, US, – pp 225-245.
 13. *Andersen MW* Service network design and management in liner container shipping applications (Chapter 5). Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 2010.
 14. *R. Agarwal, E. Ozlem* Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping. / R. Agarwal, E. Ozlem. – Transportation Science. – 2008. – Vol. 42. – № 2. – Pp. 175–196.
 15. *Catalani M* Ship scheduling and routing optimization: An application to Western Mediterranean area. / Catalani M. – European Transport. – 2009. – Vol. 42 – Pp. 67-82.
 16. *Karlaftis MG, Kepaptsoglou K, Sambracos E* (2009) Containership routing with time deadlines and simultaneous deliveries and pick-ups. / Karlaftis MG, Kepaptsoglou K, Sambracos E. – Transportation Research. – Vol. 45. – №1. – Pp. 210-221.
 17. *Meng Q, Wang S* (2012) Liner ship fleet deployment with weekdependent container shipment demand. / Meng Q, Wang S – European Journal of Operational Research. – Vol. 222. – № 2. – Pp. 41-252.
 18. *Yanchenko A.A.* “Scientific approaches to the sea ports and port terminals operating processes study.” *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 55 (2018): 185–192.
 19. *Galin A. V.* “Generalized imitation model of ports development process.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(34) (2015): 43-51.
 20. *Galin A. V.* “The restrictions effect on a generalized imitation model of the development process of ports.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1 (35) (2016): 7-14.
 21. *Majorov N. N., A. V. Kirichenko, and V. A. Fetisov.* “Research operational management container

- terminal based on the transport model and simulation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(37) (2016): 7–15.
22. 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.
 23. Kuznetsov A. L., A. V. Kirichenko, V. A. Pogodin, and V. N. Sherbakova-Slyusarenko "Importance of simulation modelling for technological design and evaluating parameters of cargo terminals." *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaiatekhnika i tekhnologiya* 2 (2017): 93–102.
 24. Kitikov A.N., A.L. Kuznetsov, and I.A. Rusinov. "Simulation techniques for the assessment of sea port front." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2 (72) (2013): 3–6.
 25. Kitikov A.N., A.L. Kuznetsov, and I.A. Rusinov. "Limitation of the queuing theory techniques for the assessment of sea port front." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1 (71) (2013): 3–6.
 26. Kuznetsov A.L., V.A. Pogodin, and Y.B. Spasskiy. "The simulation modeling of the port operations subject to differentiated weather conditions." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1 (63) (2013): 3–8.
 27. Yanchenko A.A., and T.E. Malikova. "A discrete-event model for operations in container terminals." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (85) (2017): 25–31.
 28. Kuznetsov A.L., S.V. Bobryshev, and Y.B. Spasskiy. "Discrete events simulation in the tasks of development and operations of the car terminals." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2 (64) (2011): 8–13.
 29. 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.
 30. Kuznetsov A.L., and V. N. Shcherbakova-Slyusarenko. "Justification of "dry port" concept." *Transportnoe delo Rossii* 4 (2013): 77–80.
 31. Shcherbakova-Slyusarenko, Victoria N., Vladimir A. Pogodin, and Andrei S. Tkachenko. "The development of the functional model for the "dry port" type container terminal and principles of its use in the technological design." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 48–60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.
 32. Kuznetsov A. L., A. V. Kirichenko, A. S. Tkachenko, and G. B. Popov. "Simulation modeling as a dry cargo terminals' calculation tool." *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaiatekhnika i tekhnologiya* 1 (2018): 100–108.
 33. Malikova, Tatiana E., Anna A. Yanchenko, and Igor N. Volnov. "The model of massive handling cargo flow for import with the use of preliminary informing technology." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.2 (2017): 280–287. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-280-287.
 34. Malikova Tatiana E., and Elena S. Timoshek. "Formation of the conceptual apparatus «small shipping company»." *V sbornike: Innovatsionnoe razvitie rybnoy otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii. Materialy IV Natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, 2021: C. 319-325.
 35. Malikova T. E., and A. A. Yanchenko. "The system analysis of transport market participants interaction in the process of goods clearance at sea port." *Nauchnye problem transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* 4 (2015): 25–29.
 36. Malikova T. E., and A. A. Yanchenko. "The implementation of preliminary informing technology of customs authorities in sea spot cargo transportation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(37) (2016): 33–45. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-33-45.
 37. Platov A.Y., and J.I. Platov. "The modern methods of business planning of river fleet." *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta* 54 (2018): 110-115.
 38. Economic Guidance memorandum 05-06 FY 2004 Shallow Draft Vessel Operating Costs. U.S. Army Corps of Engineers, 2004. P. 16.
 39. Gentle N.F. An Estimate of Operating Costs for Bulk, Ro-Ro and Container Ships / [N.F. Gentle](#), [R.J. Perkins](#)// Bureau of Transport Economics, Canberra. 1982.
 40. Pocuca M. Methodology of Day-to-Day Ship Costs Assessment / [M. Pocuca](#)// *Traffic & Transportation*. Vol. 18, 2006, No. 5, pp. 337-345.
 41. Andersson H. Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping / H. Andersson, K. Fagerholt, K. Hobbesland // *Computers & Operations Research* 55, 2015. p. 233–240.
 42. Moiseenko S. S. "Metodika vyborasudovdlya osvoeniyazadannogogruzopotoka." *IV Mezhdunarodnoi Baltiiskii morskoi forum: materialy Mezhdunarodnogo morskogo foruma*. 2016. 99–104.
 43. Malikova T. E. "Matematicheskie metody i modeli v upravlenii na morskom transporte: uchebnoe posobie." *M. Izdatel'stvo Jurajt* (2018). – 373 s. - (Serija 11 : Universitety Rossii).
 44. Filatova Ya. A., and S. S. Moiseenko "Optimizatsiya obsluzhivaniya sudnom portov odnogo

- bassejna.”V *Mezhdunarodnoi Baltiiskii morskoi forum: materialy Mezhdunarodnogo morskogo foruma*. 2017. 111–118.
45. 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 admiral S.O. Makarova* 9.3 (2017): 456–467. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-456-467.
 46. Fedorenko Kirill V., and Arkadii L. Olovyannikov. “Research of the main parameters of the genetic algorithm for the problem of searching the optimal route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova* 9.4 (2017): 714–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.
 47. Zachesov V., and Y. Platov. “Current and operational planning of the fleet in market conditions.” *Transportnoe delo Rossii* 1 (2017): 143–144.
 48. Timoshek, Elena S., and Tatiana E. Malikova. “Routing model for supply ships operating in the Arctic Region transport network.” *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 60 (2019): 213–222.
 49. 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 admiral S.O. Makarova* 12.4 (2020): 654–665. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-654-665.
 50. Timoshek, Elena S., and Tatiana E. Malikova. “Adaptatsiya zadachi rasstanovki flota k usloviyam raboty malyx sudokhodnykh kompaniy.” V sbornike: *Logistika: sovremennye tendentsii razvitiya. Materialy XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Redkollegiya: V.S. Lukinskiy (otv. red.) [i dr.]*, 2020: C. 97–103.