

Научная статья  
УДК 656.614.32  
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-54-60>  
EDN PCLYOF

## **Обоснование общей топологии и иерархии принятия решений в системе планирования транспортного обеспечения добывающих судов**

*Владимир Евгеньевич Вальков*

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
Владивосток, Россия, vlvalkov@yandex.ru*

---

**Аннотация.** Рассматривается система транспортного сообщения с группами добывающих судов, осуществляющих деятельность по добыче рыбы и морепродуктов в удаленных районах Мирового океана и работающих по экспедиционной форме добычи, т. е. без возможности ежециклического, в ходе заполнения грузовых помещений, посещения портов для передачи грузов и пополнения необходимых запасов снабжения. При организации работы добывающих судов по экспедиционной форме существует зависимость добывающего флота от транспортного, осуществляющего вывоз рыбы и рыбопродукции из районов промысла и доставку необходимого снабжения для поддержания постоянного и бесперебойного процесса функционирования промысловых судов. Одним из ключевых факторов успеха в рыболовной деятельности является бесперебойное, четко спланированное и ритмичное поступление грузов снабжения, необходимых для жизнедеятельности и бесперебойной работы добывающих судов, а также своевременное освобождение их грузовых помещений, предназначенных для кратковременного хранения улова или переработанной рыбы и морепродуктов. Выявлено, что сложность решения частных задач снабжения промысловых экспедиций основана на методах математического моделирования, основная цель которого – оптимизация затрат на снабжение экспедиции необходимыми ресурсами в течение всего периода ее работы на определенном объекте промысла. При этом важно учитывать маршруты движения транспортных судов. Планируя рейсы, необходимо закладывать возможные случайные отклонения (например, из-за погоды) во время перехода и при проведении погрузочно-разгрузочных работ в море. Предлагаемая методология основана на поэтапном наращивании сложности структур и детализации параметров моделей. Каждый этап разработки гарантирует внутреннюю согласованность создаваемых экземпляров и предоставляет исчерпывающую информацию, необходимую для их валидации и калибровки. Конечной целью является создание прочной методической базы для подтверждения адекватности каждой модели в рамках заданной иерархической последовательности.

**Ключевые слова:** океанический лов, комплексное снабжение судов, транспортное сообщение, удаленные районы Мирового океана, дискрет

**Для цитирования:** Вальков В. Е. Обоснование общей топологии и иерархии принятия решений в системе планирования транспортного обеспечения добывающих судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 2. С. 54–60. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-54-60>. EDN PCLYOF.

Original article

## **Substantiation of the general topology and hierarchy of decision-making in the transportation planning system for mining vessels**

*Vladimir E. Valkov*

*The Far Eastern State Technical Fisheries University,  
Vladivostok, Russia, vlvalkov@yandex.ru*

---

**Abstract.** The system of transport communication with groups of mining vessels engaged in fish and seafood extraction in remote areas of the World Ocean and operating in an expeditionary form of extraction is considered, i.e. without the possibility of cyclical, during filling cargo spaces, visiting ports for cargo transfer and replenishment of neces-

sary supplies. When organizing the work of fishing vessels in the expeditionary form, there is a dependence of the mining fleet on the transport fleet, which carries out the export of fish and fish products from fishing areas and delivers the necessary supplies to maintain a constant and uninterrupted operation of fishing vessels. One of the key success factors in fishing activities is the uninterrupted, well-planned and rhythmic delivery of supplies necessary for the life and uninterrupted operation of fishing vessels, as well as the timely release of their cargo spaces intended for short-term storage of caught or processed fish and seafood. It is revealed that the complexity of solving particular problems of supplying fishing expeditions is based on mathematical modeling methods, the main purpose of which is to optimize the costs of supplying the expedition with the necessary resources during the entire period of its operation at a certain fishing facility. At the same time, it is important to take into account the routes of transport vessels. When planning flights, it is necessary to take into account possible accidental deviations (for example, due to the weather) during the transition and during loading and unloading operations at sea. The proposed methodology is based on a step-by-step increase in the complexity of structures and the specification of model parameters. Each stage of development guarantees the internal consistency of the created examples and provides comprehensive information necessary for their validation and calibration. The ultimate goal is to create a solid methodological basis for confirming the adequacy of each model within a given hierarchical sequence.

**Keywords:** ocean fishing, complex supply of vessels, transport links, remote areas of the World Ocean, discretion

**For citation:** Valkov V. E. Substantiation of the general topology and hierarchy of decision-making in the transportation planning system for mining vessels. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2026;2:54-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-2-54-60>. EDN PCLYOF.

### Введение

Добыча и последующая транспортировка рыбы представляют собой ключевой процесс, который требует строгого соблюдения определенных технологий. Этот процесс становится особенно важным при океаническом лове, когда места промысла расположены далеко от зон потребления или временного хранения рыбы и рыбопродукции. Транспортировка от места вылова до пунктов дальнейшей переработки осуществляется либо добывающими, либо специальными транспортными судами. Самый распространенный производственный процесс, когда в промысловой экспедиции добывается рыба и – в зависимости от того, подвергалась она первичной переработке или нет, – ее необходимо транспортировать на предприятия по ее дальнейшей переработке, расположенные на берегу, т. е. на значительном расстоянии [1] от места промысла или в специализированные рыбные терминалы (порты) для перевалки и дальнейшего хранения. При экспедиционной форме работы флота помимо транспортировки рыбы и рыбопродукции возникает потребность обеспечения работы добывающего флота с помощью доставки необходимого снабжения в районы промысла.

### Материалы и методы исследования

В общем смысле рассматривается система транспортного сообщения с группами добывающих судов, осуществляющих промысловую деятельность в удаленных районах Мирового океана (УРМО), с последующей перегрузкой рыбопродукции на транспортные рефрижераторы (суда-снабженцы) по мере заполнения трюмов, а также с возможностью пополнения запасов непосредственно в море, т. е. без посещения портов обслуживания. Следовательно, предметом изучения обо-

значены следующие основные грузопотоки:

– в УРМО из базового порта – средств материально-технического обеспечения (МТО), включая горюче-смазочные материалы, продовольствие и воду, а также доставку членов экипажей судов при их замене;

– в базовые порты из УРМО – продукции добывающих и обрабатывающих судов, а также вывоз членов экипажей судов при их замене.

С одной стороны, номенклатура указанных грузопотоков определяет возможность (необходимость) использования различных типов транспортных средств: приемно-транспортных судов, приемно-транспортных рефрижераторов (ТР), топливных танкеров (ТН), танкеров-водолеев, судов комплексного снабжения (РФТР, предназначенных для приема, хранения, транспортировки и передачи жидких и сухих грузов на суда и береговые пункты) и др. (имеется отечественный опыт использования пассажирских судов для смены членов экипажей).

С другой стороны, определяется возможность использования одного или нескольких базовых портов (а при смене членов экипажей судов – дополнительно и пассажирских судов-хабов), поскольку, например, средства МТО, в частности топливо и вода, могут поставляться из одних портов, а продукция непосредственно экспортироваться в другие порты.

Таким образом, в зависимости от количества входящих в систему базовых портов, обслуживаемых из них УРМО и характера возможных маршрутов, целесообразно рассмотреть следующие транспортные схемы:

- однобазовая однорайонная маятниковая схема;
- многобазовая однорайонная маятниковая схема;
- однобазовая многорайонная маятниковая схема;
- многобазовая многорайонная маятниковая схема;

- однобазовая многорайонная кольцевая схема;
- многобазовая многорайонная кольцевая схема.

Определенная сложность формируемых транспортных схем предполагает наличие конкурентных отношений в каждом обслуживаемом УРМО как

между транспортными, так и рыболовными (промышленными) судами за возможность первоочередного либо своевременного обслуживания и формирование соответствующих очередей (рис. 1).

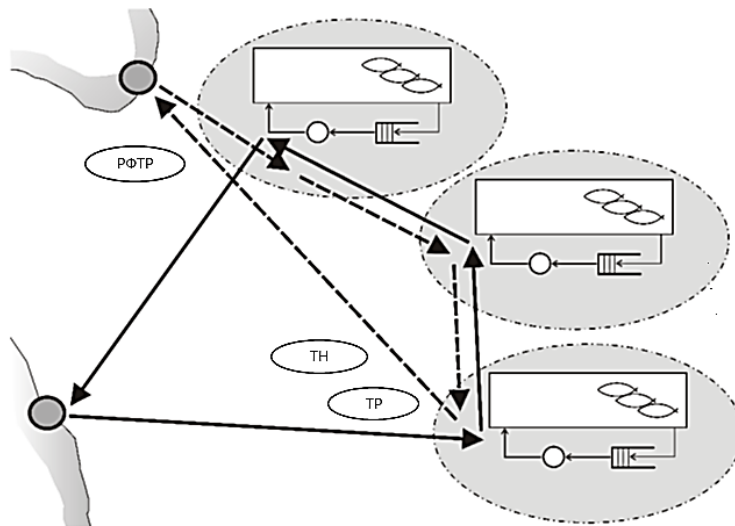


Рис. 1. Конкуренция транспортно-технологических процессов в удаленных районах Мирового океана

Fig. 1. Competition of transport and technological processes in remote areas of the World Ocean

Планирование массового обслуживания такого рода очередей (рис. 2) представляется достаточно затрудненным ввиду известного разнообразия номенклатур перевозимых грузов, применяемых устройств передачи сухих и жидких грузов, даже

при их унифицированном исполнении и применении, а также погодных условий, чем определяются вероятностные характеристики соответствующих морских операций.

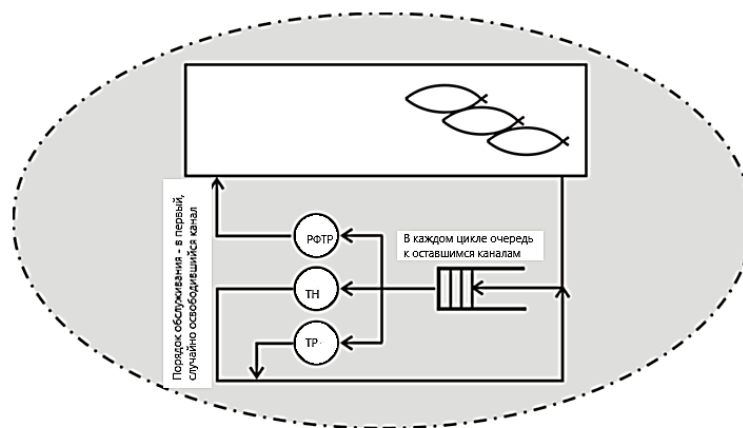


Рис. 2. Характер взаимодействия транспортных и рыболовных (промышленных) судов в удаленных районах Мирового океана

Fig. 2. The nature of interaction between transport and fishing vessels in remote areas of the World Ocean

### Постановка задачи

Таким образом, укрупненная иерархия принятия решений определяется последовательностью получения результатов этапных задач, являющихся, в свою очередь, исходными данными для сле-

дующих задач:

1. Определение последовательности посещения транспортными судами УРМО – в зависимости от характера маршрутов применимы расстановочная задача [2] либо, согласно действующей схеме, «за-

дача коммивояжера» смешанного целочисленного линейного программирования.

2. Определение элементов маршрутов транспортных судов – применимы методы имитационного моделирования.

3. Определение порядка обслуживания рыболовных (промысловых) судов в УРМО – применима задача массового обслуживания.

4. Определение продолжительности морских операций в УРМО – применимы методы имитационного моделирования.

Высокая степень неопределенности исходных данных, невозможность формирования полного перечня управляющих воздействий и параметров изучаемой системы, наличие множества возмущающих воздействий от окружения системы переводят изучаемую систему из категории детерминированных закрытых в категорию стохастических открытых систем, что, как следствие, обуславливает аналогичные характеристики и свойства моделей, создаваемых для изучения моделируемой категории [3].

Методологическим подходом при построении моделей выбрана технология последовательного усложнения структуры и детализация параметров моделей, позволяющая на каждом этапе разработки обеспечивать непротиворечивость экземпляров последовательности и предоставлять необходимую информацию для валидации и калибровки. Тем самым предполагается обеспечить методическую основу для доказательства адекватности каждой модели в указанной иерархической последовательности.

Согласно общей теории моделирования, на начальных этапах разработки моделей каждая из них отражает лишь один выбранный аспект изучаемой системы, что позволяет выполнять разработку и тестирование свойств модели в относительно независимом режиме. Рассмотрение всех аспектов моделируемой системы как раз и является причиной появления комплекса моделей. По мере уточнения представлений и повышения степени приближения модели к характеристикам изучаемой системы отдельные модельные компоненты становятся все более связанными между собой по данным и функциональным связям, тем самым переводя создаваемый методический инструмент из категории комплекса моделей в комплексную модель. Эта методология, по сути, является вариантом системного подхода к проектированию подобных категорий.

Модельные компоненты на начальных стадиях проектирования представлены аналитическими (алгебраическими) расчетными моделями, являющимися детерминированными. С их помощью получают средние значения основных величин, характеризующих свойства и параметры той или иной подсистемы.

Следующий этап – отход от «жестких» детерминированных связей к функциональным стоха-

стическим зависимостям, которые методически относятся к категории «мягких» вычислений. Наиболее эффективным инструментом для этого является использование методов статистического моделирования. В рамках этого подхода все входные и выходные значения моделируемой системы представляются случайными величинами, характеризующимися своими законами распределения. При этом центральными значениями (математическими ожиданиями) входных величин становятся полученные алгебраическими методами значения. При изменении в определенных пределах законы распределения и характеристики разброса появляется возможность получения оценки распределения выходных величин. Сравнение центральных значений со значениями, полученными алгебраическими методами, позволяет оценить возможные разбросы исследуемых параметров вокруг предполагаемых значений. Одной из основных целей этого этапа является классический системный анализ чувствительности системы к вариациям значений отдельных параметров.

Следующим этапом является замена предполагаемых априори законов распределения выходных величин на статистически собираемые значения, отражающие не обобщенные абстрактные флуктуации, а конкретные функциональные взаимодействия элементов системы. Инструментом для достижения этой цели служат процессные имитационные модели, учитывающие детали влияния характеристик элементов и связей на процессы, протекающие «на структуре» модели, рассматриваемой как «логическая машина».

Каждая построенная таким образом модель гносеологически является средством анализа, поскольку позволяет получить интересующие свойства варианта модели и определенного набора входных воздействий на нее. Задача синтеза модели, т. е. получение оптимальной, рациональной или допустимой конфигурации и характеристик проектируемой реальной системы, решается многократным повторением задачи анализа при направленном поиске в пространстве параметров и состояний. Указанный подход реализуется в виде последовательности сценариев, определяющих общий ход экспериментов с моделью и число повторений на каждом шаге, обеспечивающих требуемый уровень достоверности (доверия).

### **Результаты исследования**

Построение пути между заданными точками производится в дискретном рабочем поле, в котором различными символами закодированы непреодолимые препятствия и навигационные условия, затрудняющие прохождение. Последние представляют собой задержки, которые можно допустить при от-

существовании возможности обойти подобные области.

Построение пути выполняется модифицированным волновым алгоритмом. Модификация сводится к тому, что в дискретах с преодолимыми препятствиями распространение волны задерживается на число тактов, определяемое кодировкой степени сложности их преодоления.

При отсутствии навигационных затруднений в дискретном рабочем поле выполняется распространение волны обычным алгоритмом с последующим восстановлением обратного пути от конечной до начальной точки традиционным способом. При повышении сложности навигационных условий распространение волны приближается к непреодолимым препятствиям в соответствующих локациях. Средняя степень сложности заставляет волну проникать сквозь препятствия, если трудоемкость их обхода превышает трудоемкость их преодоления.

Данные о времени преодоления каждого дискрета, задаваемые в той или иной форме, представляют собой некоторые средние значения. Очевидно, что соответствующие значения для каждого дискрета являются случайной величиной, для которой указанные средние значения служат математическим ожиданием. Предположив тот или иной закон распределения каждой случайной величины и задавшись параметром среднеквадратического отклонения, можно генерировать для каждого дискрета реализацию этой случайной величины. Таким образом, схема проведения эксперимента является моделированием по методу Монте-Карло. В таком случае пройденный путь будет характеризоваться суммарной длительностью, которая будет представлять

собой результат единичного эксперимента [4].

Более строго указанная процедура описывается следующим образом: пусть распределение случайной величины – времени преодоления дискрета – подчиняется интегральному закону

$$F(t) = P(T > t)$$

с математическим ожиданием, равным значению задержки  $m_i = n$ , и относительным отклонением

$$\frac{\sigma}{m_i} = \frac{\sqrt{D_x}}{m_i},$$

определяемым желаемой степенью разброса. По свойству интегральной функции распределения вероятности:  $0 \leq F(t) \leq 1$ .

Если генерировать значения  $\epsilon$  случайной величины, равномерно распределенной на интервале  $[0, 1]$ , то значения обратной функции  $F^{-1}(\epsilon)$  окажутся распределенными по выбранному закону. Сумма значений  $F^{-1}(\epsilon)$  для всех дискретов анализируемого пути даст время прохождения маршрута длиной  $N$  для одного статистического эксперимента, или  $T_N = \sum_{i=1}^N F^{-1}(\epsilon)$ .

Проведя достаточную по объему серию подобных экспериментов, можно получить исчерпывающую характеристику интересующей нас случайной величины  $T_N$ , длительности прохождения построенного маршрута. Результаты, полученные в серии из 1 тыс. экспериментов прогона модели прохождения судна по построенному маршруту, приведены на рис. 3.

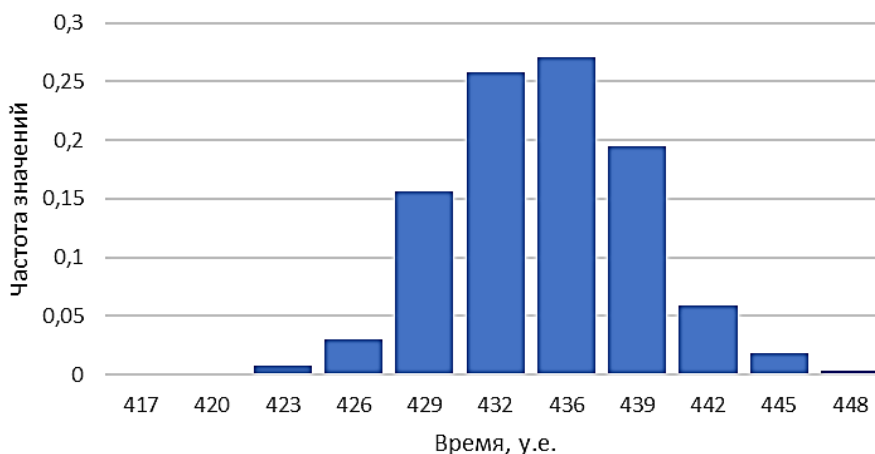


Рис. 3. Частота (вероятность) времени перехода по маршруту

Fig. 3. Frequency (probability) of the transition time along the route

Если на каждом маршруте (стринге) предполагается движение нескольких судов, то для получения общей визуализации используется алгоритм пространственно-временной развертки. Идея алго-

ритма заключается в следующем. Пусть описание каждого маршрута получено в виде списка координат последовательных дискретов с сопоставленным значением преодоления каждого из них.

Иными словами, переход от одного дискрета к следующему выполняется с определенной задержкой, равной этому значению.

Блок-схема алгоритма моделирования и анимации движения транспортных средств по множественным маршрутам приведена на рис. 4.

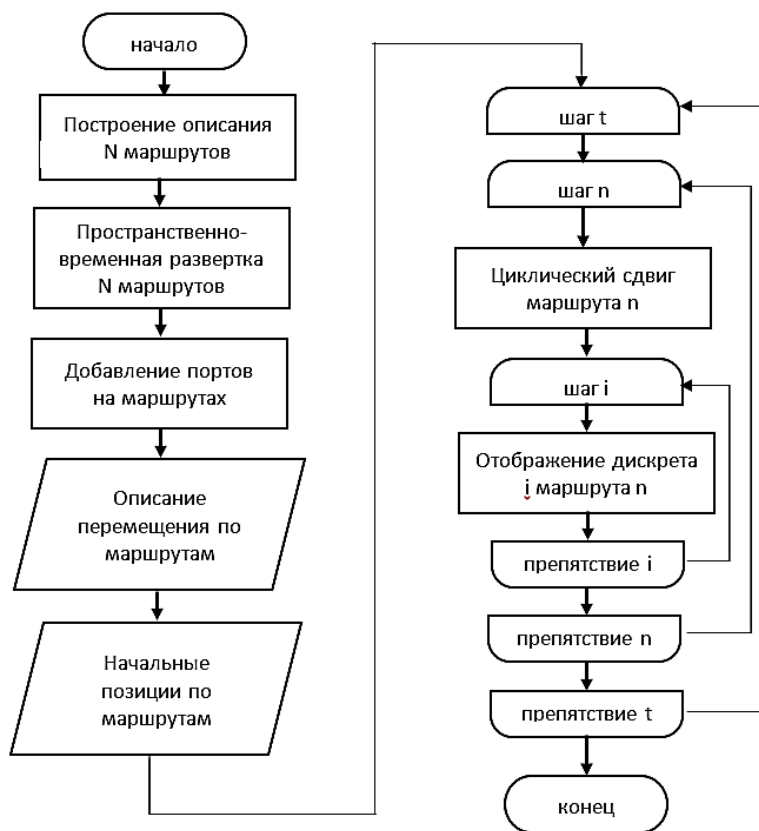


Рис. 4. Блок-схема алгоритма моделирования и анимации

Fig. 4. Block diagram of the modeling and animation algorithm

Следует подчеркнуть, что все описываемые выше алгоритмы и примеры относятся к построению и отладке методических прототипов моделей, которые служат средством их валидации. Очевидно, что трудоемкость и специфика создания профессионального программного продукта требует привлечения специалистов соответствующего профиля. После успешной валидации всех моделей они используются в качестве элементов уточнения технического задания на создание профессионального программного продукта и его верификации. Последняя проводится путем сравнения результатов работы профессиональной версии и методического прототипа.

### Заключение

Полученные путем спланированных таким образом серий экспериментов результаты, после анализа их адекватности и эффективности, служат эмпирической основой для формулировки методики использования уже комплексной модели.

Очевидно, что в некоторых постановках задач проектирования может использоваться конечный продукт, полученный на последних этапах описанной процедуры. В других случаях, в зависимости от конкретной формулировки, генерация продукта должна проводиться в соответствии с описанной методологией с более ранних этапов.

### Список источников

1. Нигматуллина В. Я., Шакиров В. Е., Меликян Е. С. Транспортировка рыбы и морепродуктов // Вопросы транспортировки и хранения продуктов питания. Екатеринбург: Изд-во УрГАУ, 2024. С. 41–44.
2. Кириченко А. В., Кононенко В. А., Королева Е. А. и др. Перевозка экспортно-импортных грузов // Организация логистических систем / под ред. А. В. Кириченко.

3. М.: Питер, 2004. 420 с.
3. Теплякова Н. В. Организационно-экономический механизм развития рыбохозяйственного комплекса: на примере Камчатской области: дис. ... канд. экон. наук. М., 2004. 148 с.
4. Kiseleva E. V., Belyanin N. E., Valkov V. E., Strashko V. E. Solving the problem of optimizing the transport

system fishing area maintenance // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2024. № 4. С. 91–98. DOI 10.24143/2073-1574-2024-4-91-98.

#### References

1. Nigmatullina V. Ya., Shakirov V. E., Melikyan E. S. Transportirovka ryby i moreproduktov [Transportation of fish and seafood]. *Voprosy transportirovki i hraneniya produktov pitaniya*. Ekaterinburg, Izd-vo UrGAU, 2024. Pp. 41-44.
2. Kirichenko A. V., Kononenko V. A., Koroleva E. A. i dr. Perevozka eksportno-importnyh gruzov. *Organizaciya logisticheskikh sistem* [Transportation of export-import cargoes. Organization of logistics systems]. Pod redakciej A. V. Kirichenko. Moscow, Piter Publ., 2004. 420 p.
3. Teplyakova N. V. *Organizacionno-ekonomicheskij mekhanizm razvitiya rybohozyajstvennogo kompleksa: na primere Kamchatskoj oblasti: dis. ... kand. ekon. nauk* [The organizational and economic mechanism of the development of the fisheries complex: on the example of the Kamchatka region: dis. ... kand. ekon. sciences]. Moscow, 2004. 148 p.
4. Kiseleva E. V., Belyanin N. E., Valkov V. E., Strashko V. E. Solving the problem of optimizing the transport system fishing area maintenance. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*, 2024, no. 4, pp. 91-98. DOI 10.24143/2073-1574-2024-4-91-98.

Статья поступила в редакцию 21.01.2026; одобрена после рецензирования 25.02.2026; принята к публикации 15.04.2026  
The article was submitted 21.01.2026; approved after reviewing 25.02.2026; accepted for publication 15.04.2026

#### Информация об авторе / Information about the author

**Владимир Евгеньевич Вальков** – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры эксплуатации и управления транспортом; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; vlvalkov@yandex.ru

**Vladimir E. Valkov** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Operation and Transport Management; The Far Eastern State Technical Fisheries University; vlvalkov@yandex.ru

