

Научная статья
УДК 629.12
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/40-53>

Оценка эффективности пассажирского судна с использованием методов имитационного моделирования

Игорь Александрович Новосельцев, Максим Владимирович Китаев 

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация
 kitaev.mv@dvfu.ru

Аннотация. Предлагаемое исследование направлено на разработку методов совершенствования работы пассажирского флота в современных условиях. В статье представлены алгоритм и блок-схема имитационной модели, предназначенной для численного моделирования основных функциональных процессов, возникающих при осуществлении морских пассажирских перевозок на островные направления г. Владивостока. Приведены результаты моделирования и оценки экономической эффективности работы катамарана «Москва» как при реальном (действующем) годовом распределении пассажиропотока, так и при работе судна по утверждённому расписанию при различной степени загрузки и стоимости билета. В результате исследования установлено, что существующая система морских пассажирских перевозок не является экономически эффективной и требует изменений для приведения в соответствие с современными реалиями.

Ключевые слова: имитационная модель, морские пассажирские перевозки, проектные характеристики, экономическая эффективность

Для цитирования: Новосельцев И.А., Китаев М.В. Оценка эффективности пассажирского судна с использованием методов имитационного моделирования // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 4(61). С. 40–53.

Original article

A simulation-based assessment of passenger vessel effectiveness

Igor A. Novoseltcev, Maksim V. Kitaev 

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation
 kitaev.mv@dvfu.ru

Abstract. At present research we describe a method oriented to assessment and improvement the operation efficiency of marine passenger vessels in real conditions. In this paper the algorithm and block diagram of a simulation model oriented to numerical simulation of passenger transportation process in Vladivostok city are presented. The results of numerical modeling and economic efficiency assessment of a passenger catamaran “Moskva” are presented as for real annual passenger traffic distribution as for schedule operate conditions with different values of passenger loads and ticket prices. As a result of the study, it was found that the existing system of maritime passenger transportation is not effective and requires changes to bring it in line with modern realities.

Keywords: simulation model, marine passenger transportation, design characteristics, economic efficiency

For citation: Novoseltcev I.A., Kitaev M.V. A simulation-based assessment of passenger vessel effectiveness. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 4(61), pp. 40–53. (In Russ.).

Введение

В настоящее время наблюдается перераспределение туристических потоков в сторону внутренних направлений РФ. В сложившейся ситуации географические особенности и природные ресурсы Приморского края необходимо рассматривать как потенциал для развития региона, основные виды деятельности которого неотъемлемо связаны с морем. Развитие морской транспортной инфраструктуры и пассажирских перевозок напрямую влияет на подвижность местного населения, доступность удалённых районов и поселений, развитие морского и островного туризма [1].

Результаты ранее выполненных исследований, направленных на оценку объёмов морских пассажирских перевозок в период с 2018 по 2023 г. на островные территории, входящие в состав г. Владивостока, подтверждают необходимость решения задач, направленных на обновление и пополнение пассажирского флота Приморского края новыми судами [2]. Однако, прежде чем приступить к решению задач оптимизации состава и пополнения флота, необходимо выполнить анализ и оценку экономической эффективности судов, находящихся в эксплуатации, и определить степень соответствия их проектных характеристик реальным условиям пассажирских перевозок.

В работе [2, 3] обозначены основные типы и проектные характеристики судов, осуществляющих пассажирские перевозки на п-ов Песчаный и острова, входящие в состав г. Владивостока. В результате исследования было установлено, что в период с 2018 по 2023 г. наибольшее количество пассажиров перевезено катамараном «Москва», построенным к первому Восточному экономическому форуму в 2012 г. Главные размерения и проектные характеристики указанного катамарана приведены в табл. 1.

Таблица / Table 1

Проектные характеристики катамарана «Москва»
Design characteristics of passenger catamaran «Moskva»

Величина	L , м	B , м	H , м	T , м	V_s , уз	D , т	n , чел.	N_{dv} , кВт
Значение	28,5	8,7	3,0	1,3	25,0	101	220	1800

Принятые обозначения: L , B , H , T – длина, ширина, высота бота и осадка судна соответственно; V_s – скорость хода; D – проектное водоизмещение; n – пассажироместимость; N – мощность энергетической установки.

Accepted designations: L , B , H , T – length, width, height and draft of the vessel, respectively; V_s – speed; D – design displacement; n – passenger capacity; N – main engines power.

В научной деятельности и поисковых инженерных исследованиях наиболее распространённым способом решения задач, связанным с оценкой функциональной эффективности морской техники, является разработка и использование математических моделей [4–7]. При этом имитационные модели являются одним из основных инструментов для анализа и оценки эффективности альтернативных вариантов проектных решений как в отечественной [8–14], так и зарубежной практике [15–17]. Цель настоящей работы состоит в разработке и верификации имитационной модели осуществления морских пассажирских перевозок на островных направлениях г. Владивостока с последующей оценкой эффективности работы катамарана «Москва» в различных условиях.

Разработка имитационной модели

С целью выявления особенностей работы судна на наиболее популярной как у местных жителей, так и у туристов линии Владивосток – Попова – Рейнеке – Владивосток посредством ПО «GPS Track» определены следующие характеристики рейса:

- протяжённость линии, скорость хода и время движения на различных участках;
- время посадки и высадки пассажиров;
- время разгона и торможения.

На рис. 1 представлен интерфейс программы «GPS Track» с основными параметрами движения судна и пример графика, характеризующего изменение скорости хода на различных участках.

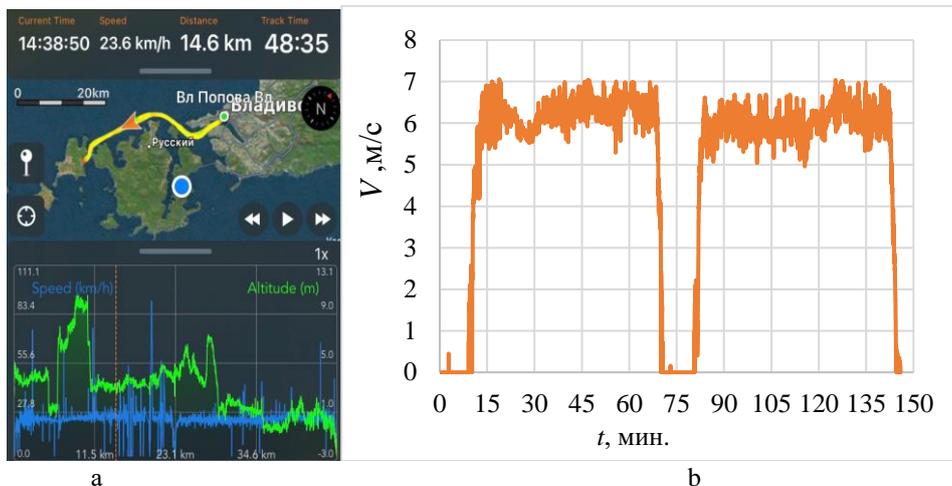


Рис. 1. Параметры движения катамарана «Москва»:
a – интерфейс программы; b – график изменения скорости
 Fig. 1. Route operation parameters for catamaran "Moskva":
 a – program interface; b – speed variation

В результате проведённого исследования рассматриваемая линия была разбита на типовые участки, характеризующиеся временем выполнения функциональных операций (t) и пройденным судном расстоянием (s). В качестве примера такое разбиение для прямого перехода (участок линии Владивосток – Попова) показано на рис. 2.

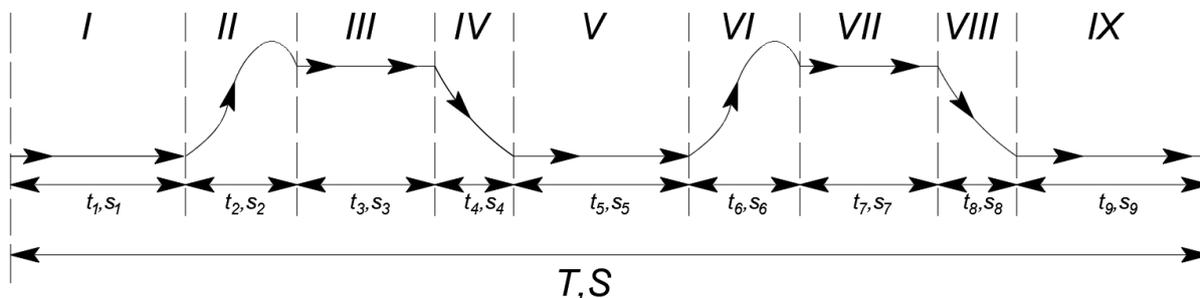


Рис. 2. Схематичное представление работы судна на линии:
I – стоянка; II – разгон; III – движение; IV – торможение; V – стоянка; VI – разгон; VII – движение;
VIII – торможение; IX – стоянка
 Fig. 2. Stages of vessel operations on route:
 I – mooring; II – acceleration; III – movement; IV – braking; V – mooring; VI – acceleration;
 VII – movement; VIII – braking; IX – mooring

Имитационная модель представляет собой формализованное описание логики функционирования пассажирского судна на заданной линии перевозок с учётом региональных особенностей пассажиропотока, эксплуатационных, экономических и гидрометеорологических условий. Принципиальная схема моделирования работы судна на рассматриваемой линии показана на рис. 3. Основное назначение имитационной модели состоит в определении текущих и интегральных эксплуатационно-экономических показателей (элементы рейса, затраты и доходы) посредством поэтапного моделирования выполняемых судном операций в течение всего периода его работы на рассматриваемой линии перевозок. Структура вычислительных блоков имитационной модели приведена на рис. 4.

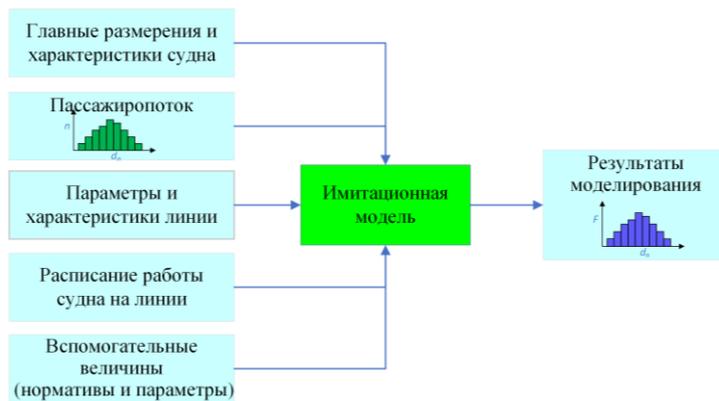


Рис. 3. Принципиальная блок-схема моделирования работы судна на линии

Fig. 3. Flowchart of ship operation modeling

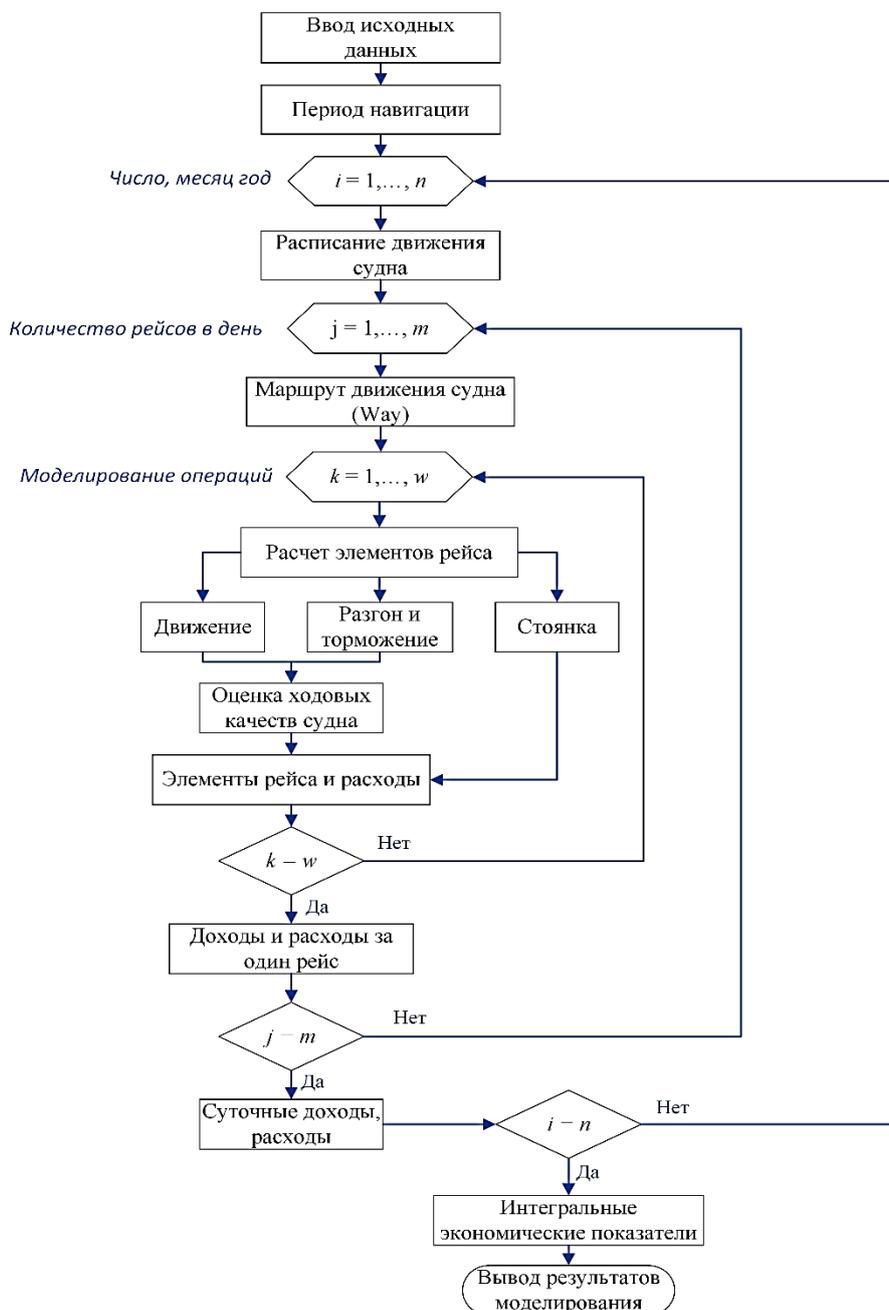


Рис. 4. Алгоритм расчёта эксплуатационно-экономических показателей

Fig. 4. Algorithm for vessel's operational and economic characteristics calculation

В настоящем исследовании оценка экономической эффективности судна, работающего на островных линиях пассажирских перевозок, основана на использовании фактического распределения пассажиропотока в течение периода летней навигации [2] и соответствующего расписания, приведённого на официальном сайте администрации г. Владивостока [18].

Эксплуатационно-экономические показатели, такие как количество рейсов, ходовое и стояночное время, доходы и эксплуатационные затраты в процессе моделирования, вычисляются для каждого рейса, совершаемого судном согласно расписанию, затем суммируются по дням и далее обобщаются за весь период навигации.

К параметрам и характеристикам линии перевозок относятся: период навигации, стоимость и вид билета (местный житель/турист) на конкретном плече перевозок, эксплуатационная скорость на отдельных участках линии, коэффициент загрузки, направления и средние значения скоростей ветра, а также соответствующие им высоты волн трёхпроцентной обеспеченности. Последние учитываются в расчётах дополнительного сопротивления (воздушной и волновой составляющей) по методикам, рекомендуемым к использованию при оценке ходовых качеств судов катамаранного типа [19–20] и увеличению мощности главного двигателя, необходимой для движения с заданной скоростью. Обработка статистических данных по ветроволновым режимам для Японского моря осуществлялась с использованием методики, рассмотренной в работе [21], где за основу принимаются данные, характеризующие повторяемость скоростей ветра по направлениям, повторяемость скоростей ветра и повторяемость высот волн, приведённые в справочном издании Российского морского регистра судоходства [22].

В качестве вспомогательных величин на рис. 3 выступают коэффициенты, участвующие в расчётах элементов рейса и оценке экономической эффективности работы судна (в основном эксплуатационных затрат).

Алгоритм, моделирующий работу судна по расписанию, показан на рис. 5, а характеристики рассматриваемых направлений перевозок приведены в табл. 2.

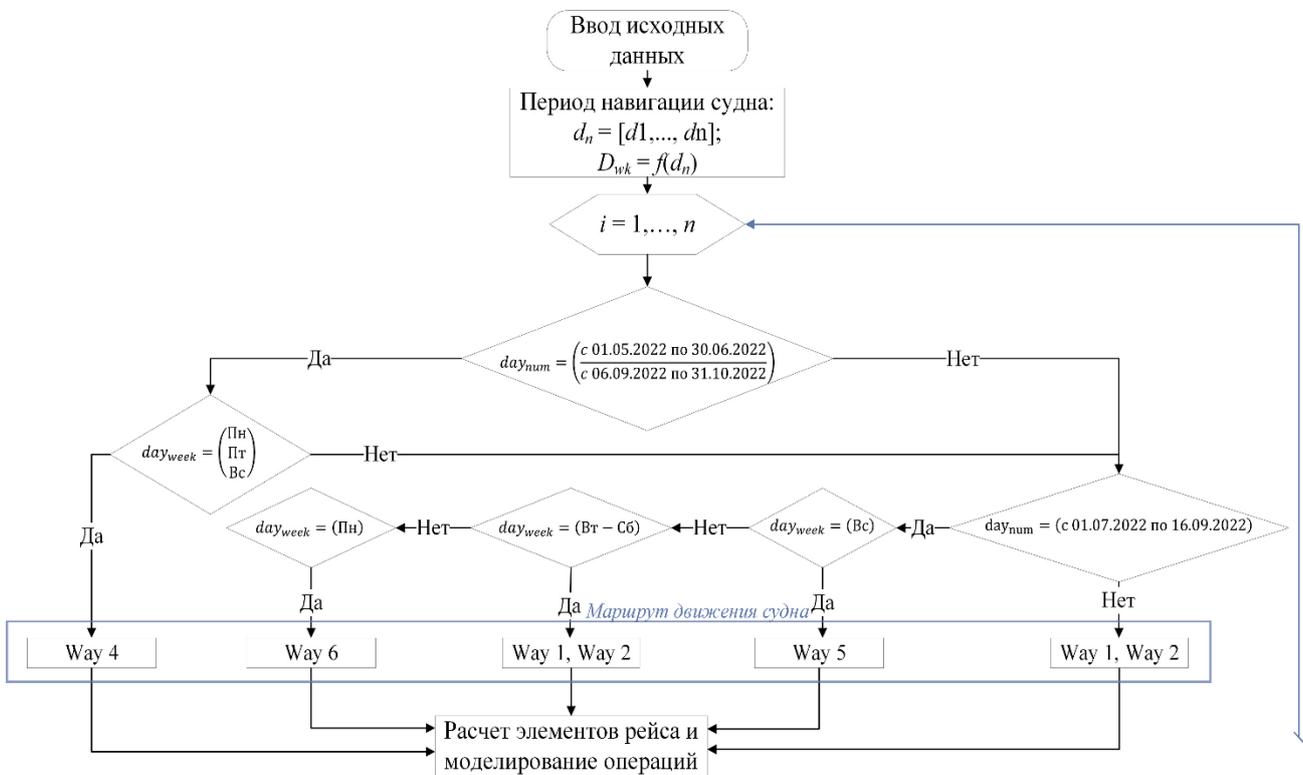


Рис. 5. Алгоритм моделирования работы судна по расписанию

Fig. 5. Algorithm for vessel's operation modeling in according to the schedule

Характеристики направлений перевозок
 Characteristics of transportation lines

№	Направление	Протяжённость, миль	Обозначение
1	Попова – Владивосток	14	Way 1
2	Владивосток – Попова	14	Way 2
3	Владивосток – Попова – Рейнеке	21	Way 5
4	Владивосток – Рейнеке – Попова – Владивосток	38	Way 4
5	Рейнеке – Попова – Владивосток	21	Way 6
6	Владивосток – Попова – Рейнеке – Попова – Владивосток	42	Way 7

Скорость движения в акватории морского порта Владивосток ограничена 12 уз. Согласно результатам замеров реальная скорость хода на рассматриваемой линии (см. рис. 1) при выходе из зоны действия ограничений составляет $11 \div 13$ уз., а время рейса – 56 минут.

В настоящем исследовании направление Way 3 (о. Русский – о. Попова) не рассматривается, т.к. работает только в зимнее время, а для перевозок используют СВП «Владрегул».

Для определения элементов рейса судна используются классические зависимости, приведённые ниже. Так, расчёт продолжительности рейса выполняется по формуле:

$$T = T_x + T_c,$$

где T_x и T_c – ходовое и стояночное время в минутах соответственно.

Ходовое время судна за рейс рассчитывается следующим образом:

$$T_x = t_p + t_m + t_x,$$

где t_p , t_m и t_x – время разгона, торможения и движения судна с заданной скоростью.

Для расчёта времени разгона (t_p) и торможения (t_m) в минутах использованы зависимости следующего вида:

$$t_p = \sum t_{pi} = C_1 \frac{D V_{si} n d}{N_{dvi}},$$

$$t_m = \sum t_{mi} = C_2 \frac{D V_{si} n' d}{N_{dvi}'},$$

где N_{dv} – мощность двигателя, кВт; V_s – скорость, уз.; D – водоизмещение, т; n – частота вращения винта, об/мин; и N_{dv}' и n' – мощность двигателя и частота вращения винта в режиме заднего хода, об/мин; d – диаметр винта, м; C_1 и C_2 – коэффициенты, зависящие от гидродинамических характеристик гребного винта, приняты по рекомендациям [23].

Время движения судна с заданной скоростью определяется по формуле:

$$t_x = \sum \frac{S_i}{V_{si}},$$

где S_i – участок пути, пройденный судном с скоростью V_{si} .

Стояночное время судна за рейс определяется по формуле:

$$T_c = \sum t_{ci},$$

где t_{ci} – время стоянки (посадки и высадки пассажиров).

В зависимости от загрузки стояночное время судна на каждой остановке (в среднем) составляет от 10 до 20 минут.

Доход от продажи билетов рассчитывается по следующей формуле:

$$In = tic \cdot Ntrip \cdot Npass \cdot q,$$

где tic – стоимость билета, руб.; $Ntrip$ – количество рейсов судна; $Npass$ – количество привезённых пассажиров, чел./рейс; q – коэффициент использования пассажироместности.

Эксплуатационные затраты судна вычисляются по формуле:

$$Exp = C_{const} + C_{var},$$

где C_{const} и C_{var} – постоянные и переменные расходы в руб.

Постоянные расходы рассчитываются по методике, представленной в работе [6]:

$$C_{const} = C_{crew} + C_{rp} + C_{ins} + C_{am} + C_{adm},$$

где C_{crew} – расходы на содержание экипажа; C_{rp} – расходы на ремонт; C_{ins} – расходы на страхование; C_{am} – амортизационные отчисления; C_{adm} – административные расходы.

Расходы на содержание экипажа рассчитываются по формуле:

$$C_{crew} = n_{crew} \cdot k_{crew} \cdot t_{op},$$

где n_{crew} – количество членов экипажа, чел; k_{crew} – стоимость содержания одного члена экипажа, руб./мес.; t_{op} – период эксплуатации судна, мес.

Расходы на текущее обслуживание судна и ремонт рассчитываются по формуле:

$$C_{rp} = \frac{k_{rp} \cdot C_{build} \cdot t_{op}}{A_{ship}},$$

где $k_{rp} = 0,003$ – коэффициент нормативных отчислений на текущий ремонт; C_{build} – стоимость судна, руб.; A_{ship} – возраст судна, лет.

Расходы по страхованию рассчитываются по формуле:

$$C_{ins} = \frac{k_{ins} \cdot C_{build} \cdot t_{op}}{A_{ship}},$$

где $k_{ins} = 0,003$ – норматив отчислений на страхование.

Амортизационные отчисления вычисляются по формуле:

$$C_{am} = \frac{k_{am} \cdot C_{build} \cdot t_{op}}{A_{ship}},$$

где $k_{am} = 0,062$ – норматив отчисления на амортизацию.

Административные расходы рассчитываются по формуле:

$$C_{adm} = \frac{k_{adm} \cdot C_{build} \cdot t_{op}}{A_{ship}},$$

где $k_{adm} = 0,015$ – норматив отчислений на административные расходы.

Переменные расходы рассчитываются по формуле:

$$C_{var} = C_{fuel} + C_{ps},$$

где C_{fuel} – затраты на топливо и смазочные материалы, руб.; C_{ps} – плата за пользование портовой инфраструктурой, руб. [24].

Затраты на топливо на участке пути определяются по формуле:

$$C_{fuel} = c_{fuel} \cdot g_e \cdot N_{trip} \cdot T \cdot N_{dv},$$

где c_{fuel} – стоимость топлива руб./т; g_e – удельный расход топлива и смазочных материалов, г/кВт ч.; N_{trip} – количество рейсов; N_{dv} – суммарная мощность, потребляемая ГД, кВт.

После определения затрат на топливо для участка пути происходит суммирование затрат за один рейс, за день (количество рейсов принимается согласно расписанию) и далее за весь эксплуатационный период.

Прибыль до уплаты налогов определяется по формуле:

$$Pro = In - Exp.$$

Прибыль после уплаты налога рассчитывается по формуле:

$$Pr = Pro - 0.2 \cdot Pro.$$

Результаты моделирования

В настоящем разделе статьи приводятся результаты моделирования работы катамарана «Москва» на островных линиях пассажирских перевозок при фактическом пассажиропотоке

(за 2022 год), а также итоги теоретических исследований, связанных с оценкой влияния изменения коэффициента загрузки судна и стоимости билета на основные эксплуатационно-экономические показатели.

На рис. 6 показаны результаты, полученные по актуальным данным работы судна в 2022 году с учётом отмен (по погодным условиям) и введением дополнительных рейсов, обусловленных повышенным спросом на услуги перевозок в период летних отпусков (с июля по август).

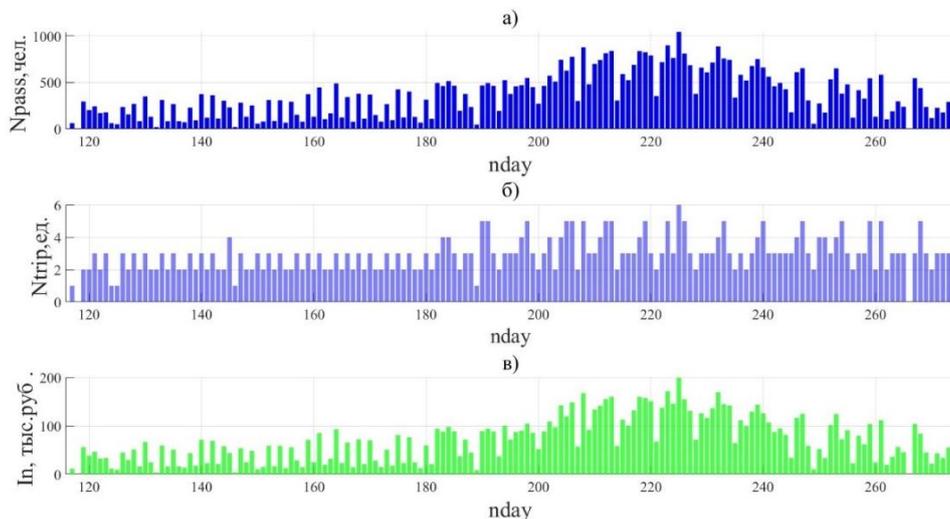


Рис. 6. Показатели работы судна на линии:
а – количество перевезенных пассажиров; б – количество рейсов; в – доход

Fig. 6. Ship operation characteristics:
a – passengers transported value; б – number of vessel routes; в – income

На рис. 7 приведены диаграммы, характеризующие зависимость затрат на топливо от количества совершённых судном в течение дня рейсов.

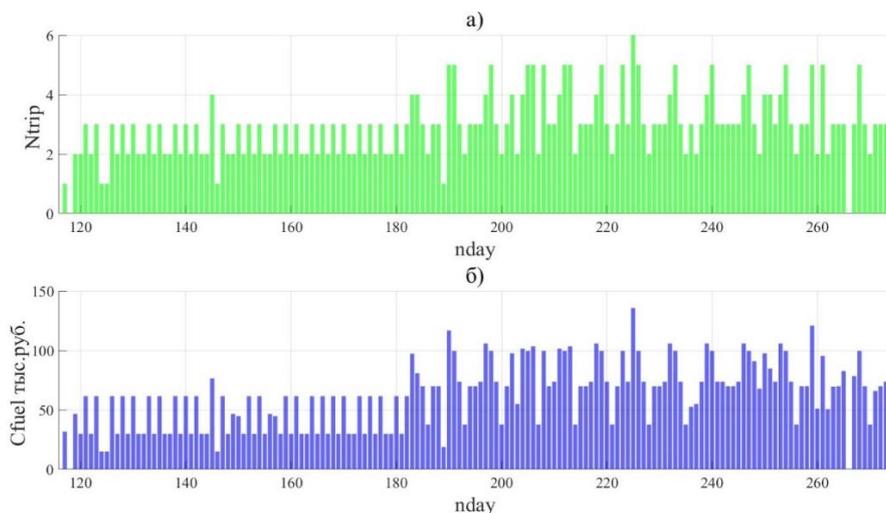


Рис. 7. Зависимость затрат на топливо (б) от количества рейсов (а)

Fig. 7. Dependence of fuel costs (б) on the vessel routes number (а)

При оценке доходов и затрат учитывались следующие значения параметров, характеризующих условия перевозок: стоимость билета для местных жителей (островитян) составляет 74 руб./чел., а для прочих категорий пассажиров – 191 руб./чел., стоимость тонны топлива – 70 тыс. руб./т.

На рис. 8 представлены результаты оценки экономических показателей работы судна на островных пассажирских линиях.

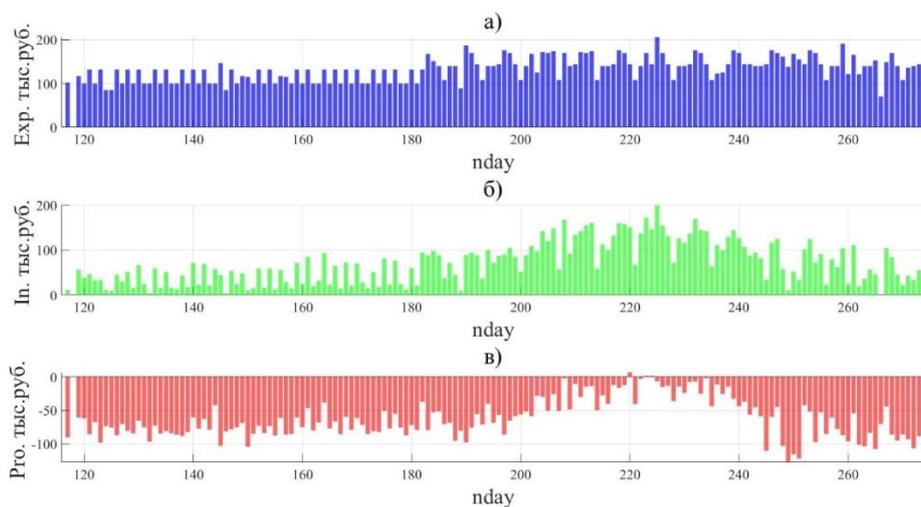


Рис. 8. Результаты оценки экономических показателей работы судна на линии: а – эксплуатационные расходы; б – доход от продажи билетов; в – прибыль до уплаты налогов

Fig. 8. Results of vessel's economic characteristics assessment: а – operation costs; б – income; в – profit before taxes

Из графиков результатов следует, что при действующих ценах на топливо и билеты островные морские пассажирские перевозки, осуществляемые судном пассажироместимостью 220 человек, являются нерентабельными, что подтверждается реальной практикой эксплуатации. В большинстве случаев только годовые затраты на топливо превышают получаемый от перевозок доход. Т.е. без субсидий городской администрации в рыночных условиях такие перевозки существовать просто не могут. Кроме того, возникает вопрос о целесообразности и рациональности использования судна пассажироместимостью 200 чел. при имеющемся неравномерном годовом распределении пассажиропотока, т.к. отчётливо просматривается зависимость объёмов перевозок от времени года.

Ниже представлены результаты теоретического исследования, основанного на оценке изменения экономических показателей при работе судна по расписанию [18] при изменении стоимости билета и коэффициента загрузки. Так, на рис. 9 показаны графики, характеризующие распределение количества рейсов и затрат на топливо в течение периода летней навигации при работе судна по расписанию.

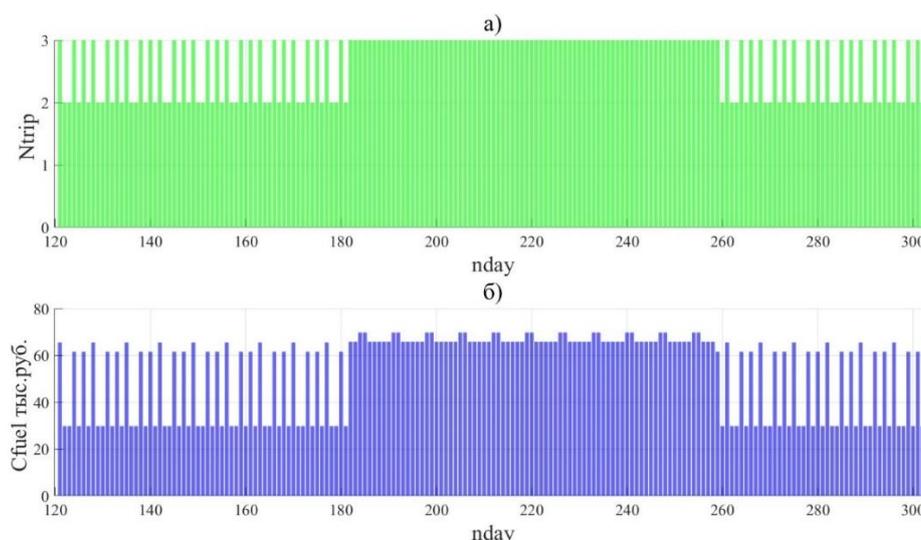


Рис. 9. Пример результатов моделирования работы судна по расписанию: а – количество рейсов в день; б – расходы на топливо

Fig. 9. Example of modeling results: а – routes number; б – fuel costs

На рис. 10. представлены графики, характеризующие изменение экономических показателей при работе судна по расписанию при постоянном значении коэффициента загрузки в каждом рейсе, равном 0,80.

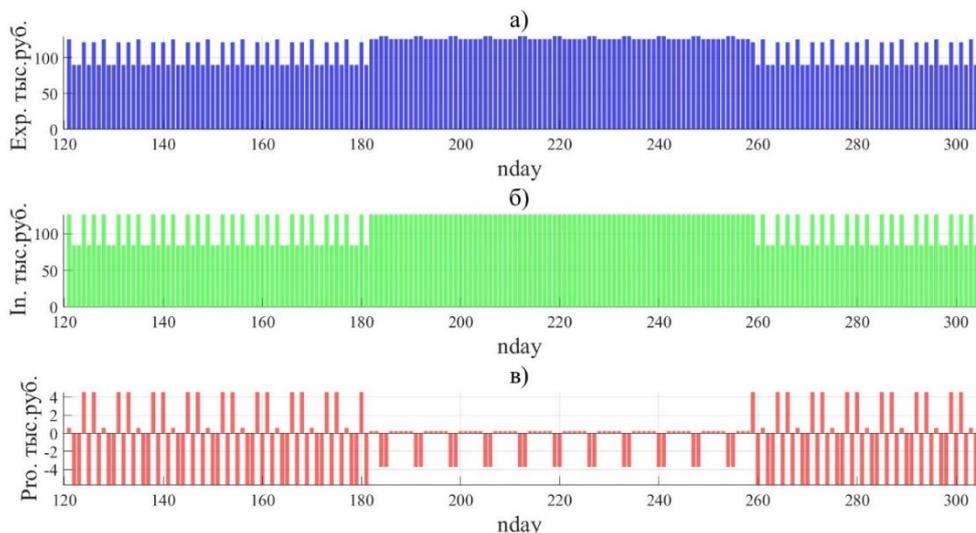


Рис. 10. Экономические показатели работы судна по расписанию:
а – суммарные эксплуатационные расходы; б – доходы от продажи билетов;
в – прибыль до уплаты налогов

Fig. 10. Example of economic characteristics modeling results:
 а – operating costs; б – income; в – profit before taxes

Разработанная модель позволяет определить стоимость билета, при которой будет получаться нулевой доход от эксплуатации рассматриваемого судна, что в графическом виде показано на рис. 11 для различных значений коэффициента загрузки судна.

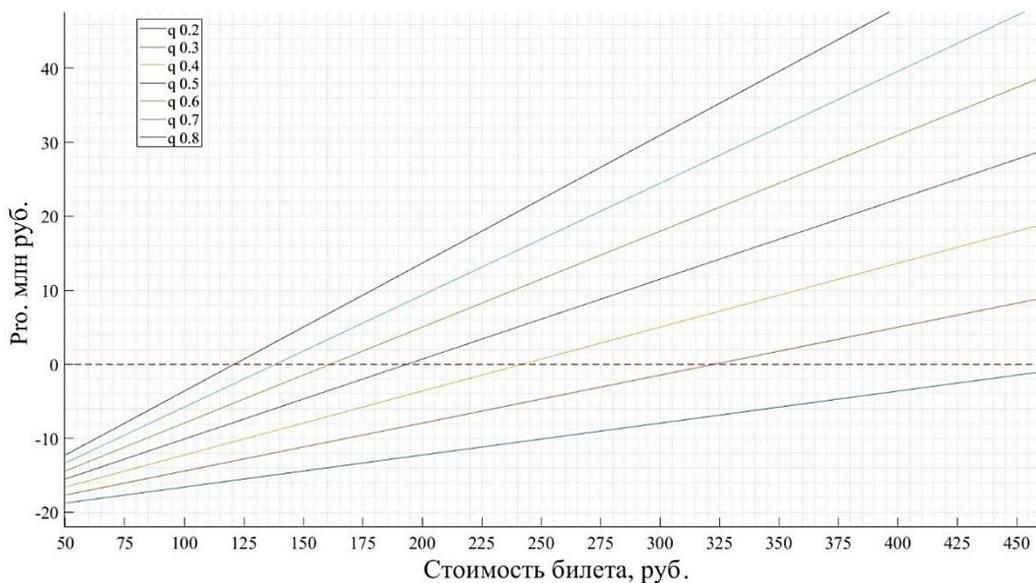


Рис. 11. Зависимость дохода от коэффициента загрузки и стоимости билета

Fig. 11. Dependence of income on the load factor and ticket price

Аналогичным образом для катамарана «Москва» и фактического распределения пассажиропотока в 2022 году рейсов и была определена стоимость билета, обеспечивающая нулевой доход, которая составила 360 руб. при единой стоимости проезда (без учёта льготной категории пассажиров), в графическом виде представлено на рис. 12.

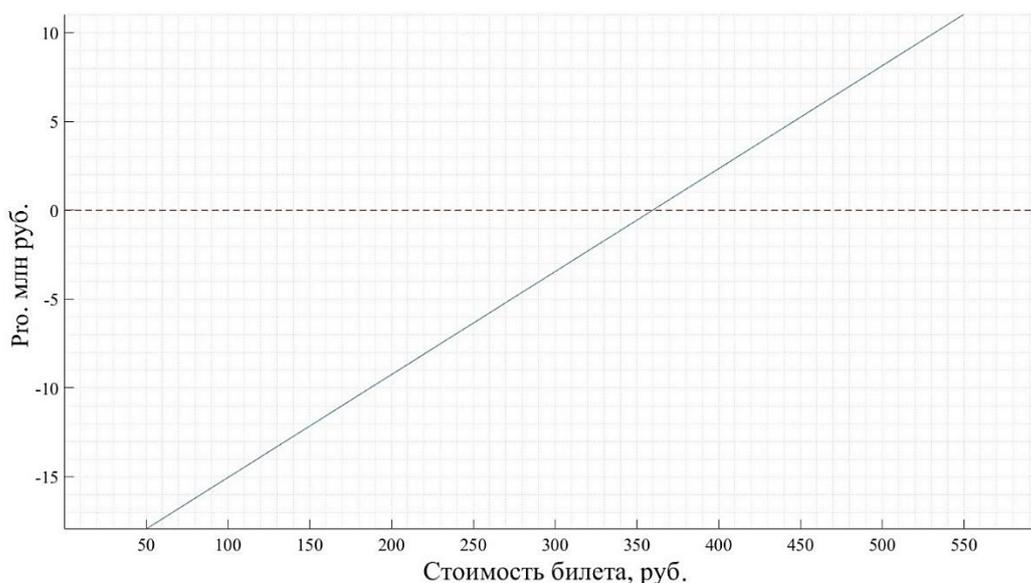


Рис.12. Зависимость дохода от стоимости билета для катамарана «Москва»

Fig. 12. Dependence of income on the cost of a ticket for the catamaran "Moskva"

Обсуждение результатов

В результате оценки эксплуатационно-экономических показателей пассажирского катамарана «Москва», полученных с использованием разработанной имитационной модели, установлено, что рассматриваемый проект пассажирского судна не соответствует существующим условиям перевозок. В большинстве расчётных случаев, как при фактическом распределении пассажиропотока, так и при вариации коэффициента загрузки (заполняемости салона), затраты на топливо превышают получаемый от перевозки пассажиров доход. Соответственно, при учёте слагаемого, учитывающего постоянную составляющую расходов, которые несёт судноходная компания при эксплуатации, обслуживании и зимнем хранении судна, разница в доходах и расходах будет ещё больше. Подобное состояние дел подтверждается как при работе судна по официальному (утверждённому в администрации города) расписанию, так и с учётом дополнительных рейсов и объёмов перевозок, совершаемых в пиковый сезон летних отпусков (июль – август).

Результаты исследования говорят не только о ежегодной необходимости пересмотра тарифов на морские пассажирские перевозки ввиду существенного роста цен на топливо, но и о том, что существующая система осуществления и планирования морских пассажирских перевозок требует приведения в соответствие с современными реалиями. Очевидной является проблема оптимизации состава пассажирского флота. Необходимы новые решения, учитывающие сезонность и неравномерность годового распределения пассажиропотока, направленные на повышение эффективности системы морских пассажирских перевозок в Приморском крае.

Заключение

Разработанная имитационная модель позволяет выполнять оценку эксплуатационно-экономических показателей функционирования пассажирских судов, учитывать региональные особенности линий и неравномерность пассажиропотока. В рамках решения задач оптимизации состава и пополнения флота рассматриваемая имитационная модель, в совокупности с моделями проектирования судов, может быть использована для оценки функциональной эффективности судов различных типов, отличающихся проектными характеристиками.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

И.А. Новосельцев – сбор данных, анализ и интерпретация результатов; М.В. Китаев – разработка концепции и дизайна исследования, подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

I.A. Novoseltcev – data collection, analysis and interpretation of results; M.V. Kitaev – study conception and design, draft manuscript preparation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левкина Е.В., Локша А.В., Гусев Е.Г. Роль морских пассажирских перевозок в транспортной системе Приморского края // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т. 10, № 3(36). С. 131–135.
2. Новосельцев И.А., Китаев М.В. Анализ типов судов и объёмов морских пассажирских перевозок в Приморском крае // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 2(55). С. 44–53.
3. Китаев М.В., Новосельцев И.А. Анализ развития морских пассажирских перевозок в Приморском крае // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 2(57). С. 39–55.
4. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. СПб.: ТОО – Моринтех, 2001. 432 с.
5. Краев В.И. Экономические обоснования при проектировании морских судов. Л.: Судостроение, 1981. 280 с.
6. Купальцева Е.В. Оптимизация элементов и характеристик пассажирских судов для внутригородских и пригородных линий: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2018. 138 с.
7. Новосельцев И.А. Математическая модель проектирования пассажирских катамаранов // Молодёжь и научно-технический прогресс: материалы научно-практической конференции. 2024. С. 589–594.
8. Аполлинариев В.И. Оптимизация характеристик промыслового судна на базе имитационного моделирования // Судостроение. 1990. № 3. С. 12–14.
9. Бондаренко А.В., Буй Д.Т. Решение задачи синтеза скоростных автопассажирских катамаранов с использованием метода Монте-Карло // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2014. № 1. С. 7–16.
10. Бутов А.С., Кока Н.Г. Имитационное моделирование работы флота на ЭВМ. М.: Транспорт, 1987. 111 с.
11. Карпенко А.А. Имитационное моделирование эксплуатации морских транспортных средств с учётом ветро-волнового режима // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 2. С. 191–199. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2021.52.2.027>
12. Платов А.Ю. Методы оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях. Н. Новгород: ВГАВТ, 2009. 155 с.
13. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. Моделирование транспортных потоков мегаполиса с вводом новых видов водного внутригородского пассажирского транспорта // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адм. С.О. Макарова. 2015. № 2(30). С. 69–80.
14. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 424 с.
15. Bellsolà Olba X., Daamen W., Vellinga T., Hoogendoorn S.P. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure // Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 5, № 5. P. 335–347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.03.003>
16. Bellsolà Olba X. et al. Network capacity estimation of vessel traffic: an approach for port planning // Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering. 2017. № 143. Art. 04017019. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000400](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000400)
17. Sandvik E., Gutsch M., Asbjørnslett B.E. A simulation-based ship design methodology for evaluating susceptibility to weather-induced delays during marine operations // Ship Technology Research. 2018. Vol. 65, № 3. P. 137–152. DOI: <https://doi.org/10.1080/09377255.2018.1473236>
18. Постоянное расписания движения транспорта г. Владивостока // Владивосток. Официальный сайт администрации. URL: <https://www.vlc.ru/documents/nap-heads-and-administration-of-Vladivostok/58593/> (дата обращения 15.07.2024).

19. Armstrong N.A., Schmieman A. On the added resistance of catamarans in waves // International Conference on Fast Sea Transportation FAST'2005. St. Petersburg, 2005. P. 1–8.
20. Molland A.F. et al. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power. Cambridge University Press. 2017. 569 p.
21. Антоненко С.В., Китаев М.В. Методика формализации экспериментальных ветроволновых данных для моделей оптимизации проектирования судов с учётом случайных факторов // Морские интеллектуальные технологии. 2011. № 1S. С. 34–40.
22. Справочные данные по режиму ветра и волнения Японского и Карского морей // Российский морской регистр судоходства. СПб., 2009. 356 с.
23. Бусленко Д.Н. Маневрирование и управление судном. Ростов-на-Дону: Морской колледж имени Г. Седова, 2003. 124 с.
24. Портовые сборы и тарифы г. Владивостока // Официальный сайт Росморпорта. URL: https://www.rosmorport.ru/filials/vlf_portcharges/ (дата обращения: 10.07.2024).

REFERENCES

1. Levkina E.V., Loksha A.V., Gusev E.G. The role of marine passenger transportation in the transport system of Primorsky Krai. *Azimuth nauchnyh issledovaniy: jekonomika i upravlenie*, 2021, vol. 10, no. 3(36), pp. 131–135. (In Russ.).
2. Novosel'cev I.A., Kitaev M.V. Analysis of ship types and volumes of marine passenger traffic in the Primorsky Krai. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2023, no. 2(55), pp. 44–53. (In Russ.).
3. Kitaev M.V., Novosel'cev I.A. Analysis of the development of marine passenger transportation in the Primorsky Krai. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2023, no. 2(57), pp. 39–55. (In Russ.).
4. Gajkovich A.I. Fundamentals of the theory of designing complex technical systems. Saint Petersburg, TOO – Morinteh Publ., 2001, 432 p. (In Russ.).
5. Kraev V.I. Economic justifications in the design of marine vessels. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981, 280 p. (In Russ.).
6. Kupal'ceva E.V. Optimization of elements and characteristics of passenger ships for intracity and suburban lines. PhD (Eng.) Thesis. Nizhny Novgorod, 2018, 138 p. (In Russ.).
7. Novoseltsev I.A. The mathematical model of passenger catamaran design. *Molodezh i nauchno-tekhnicheskij progress: proc. of conf.*, 2024, pp. 589–594.
8. Apollinariyev V.I. Optimization of fishing vessel design characteristics by using the simulation modelling. *Sudostroenie*, 1990, no. 3, pp. 12–14. (In Russ.).
9. Bondarenko A.V. Solving the problem of synthesis of high-speed passenger catamarans using the Monte Carlo method. *Vestnik AGTU. Ser.: Morskaja tehnika i tehnologija*, 2014, no. 1, pp. 7–16. (In Russ.).
10. Butov A.S., Koka N.G. Simulation of fleet operation on a computer. Moscow, Transport Publ., 1987, 111 p. (In Russ.).
11. Karpenko A.A. Simulation of marine vehicles operation in the state of wind and wave conditions. *Morskie intellektual'nye tehnologii*, 2021, vol. 1, no. 2, pp. 191–199. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2021.52.2.027>
12. Platov A.Ju. Methods of operational planning of the river cargo fleet in modern conditions. Nizhny Novgorod, VGAVT Publ., 2009. 155 p. (In Russ.).
13. Seliverstov S.A., Seliverstov Ja.A. Modeling of megalopolis traffic flows with the introduction of new types of water intracity passenger transport. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral a S.O. Makarova*, 2015, no. 2(30), pp. 69–80. (In Russ.).
14. Shannon R. Simulation modelling of systems – art and science. Moscow, Mir Publ., 1978. 424 p. (In Russ.).
15. Bellsolà Olba X., Daamen W., Vellinga T., Hoogendoorn S.P. State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 5, no. 5, pp. 335–347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.03.003>
16. Bellsolà Olba X. et al. Network capacity estimation of vessel traffic: an approach for port planning. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, 2017, no. 143, art. 04017019. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000400](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000400)
17. Sandvik E., Gutsch M., Asbjørnslett B.E. A simulation-based ship design methodology for evaluating susceptibility to weather-induced delays during marine operations. *Ship Technology Research*, 2018, vol. 65, no. 3, pp. 137–152. DOI: <https://doi.org/10.1080/09377255.2018.1473236>

18. A traffic schedule of Vladivostok city. (In Russ.). URL: <https://www.vlc.ru/city-environment/transport/Raspisanie-dvizheniya-transporta/> (accessed: 15.06.2024).
19. Armstrong N.A., Schmieman A. On the added resistance of catamarans in waves. *International Conference on Fast Sea Transportation FAST'2005*. St. Petersburg, 2005, pp. 1–8.
20. Molland A.F. et al. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power. Cambridge University Press, 2017, 569 p.
21. Antonenko S.V., Kitaev M.V. The experimental wind and wave's data formalization technique for models of ship's optimization design with taking into account the random factors. *Morskie intellektualnye tekhnologii*, 2011, no. 1s, pp. 4–40. (In Russ.).
22. Reference data of wind and wave regime in Japanese and Kara Seas. *Rossiiskij morskoy registr sudohodstva*. St. Petersburg, 2009, 356 p. (In Russ.).
23. Buslenko D.N. Maneuvering and ship control. Rostov-on-Don, 2003, 124 p. (In Russ.).
24. Port charges and tariffs of Vladivostok. URL: https://www.rosmorport.ru/filials/vlf_portcharges/ (accessed: 15.06.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Новосельцев Игорь Александрович – аспирант, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация),

✉ novoseltcev.ia@dvfu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5014-2684>

Igor A. Novoseltcev, Postgraduate Student, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation)

Китаев Максим Владимирович – кандидат технических наук, доцент, директор Департамента морской техники и транспорта Политехнического института, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация)

✉ kitaev.mv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5345-6333>

Maksim V. Kitaev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Department of Marine Engineering and Transport of Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию / Received: 24.07.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 02.12.2024.

Принята к публикации / Accepted: 09.12.2024.