УДК 656.073 DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-3-10

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ РЕМОНТА СУДОВ ИЗ КИТАЯ В АРХАНГЕЛЬСК (РОССИЯ)

Ю. Н. Ясин, Н. А. Слободчиков
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье рассматриваются предложения по организации перевозки запасных частей для ремонта судов из Шанхая (Китай) в Архангельск (Россия). Описаны особенности перевозки по различным маршрутам. Проведены расчёты потребного количества запасных частей, представлена схема загрузки и размещения грузов

Ключевые слова: перевозка запасных частей, судоремонт, контейнерные перевозки, Северный морской путь, железнодорожные перевозки.

Для цитирования:
Ясин, Ю. Н. Разработка предложений по организации перевозки запасных частей для ремонта судов из Китая в Архангельск (Россия) / Ю. Н. Ясин, Н. А. Слободчиков // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – с. 3-10. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-3-10.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR ORGANIZATION OF TRANSPORTATION OF SPARE PARTS FOR SHIP REPAIR FROM CHINA TO ARKHANGELSK (RUSSIA)

Y. H. Yasin, N. A. Slobodchikov
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article considers proposals to organize transportation of spare parts for ship repair from Shanghai (China) to Arkhangelsk (Russia). The features of transport on different routes are described. Calculation of the required number of spare parts has been carried out, a loading and positioning chart is presented.

Keywords: transport of spare parts, ship repair, container transport, Northern Maritime Route, rail transport.

For citation:
Yasin, Y. N. Development of proposals for the organization of transport of spare parts for ship repair from China to Arkhangelsk (Russia) / Y. N. Yasin, N. A. Slobodchikov // System analysis and logistics. – 2025. – № 4(47). – p. 3-10. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-3-10.

Введение

Основным подходом, применяемым для поддержания работоспособности судов, является система планово-предупредительного ремонта (ППР). Суть этой системы заключается в регулярном проведении профилактических мероприятий и ремонтов в строго установленные сроки, что позволяет минимизировать риск возникновения отказов, предотвратить серьезные поломки и продлить срок службы судна и его технических систем.

В рамках планово-предупредительного ремонта выделяются следующие виды работ:

- Техническое обслуживание (ТО) – Контроль состояния узлов и агрегатов. Выполняется ежедневно, еженедельно, ежемесячно
- Текущий ремонт – включает оперативное устранение возникших неисправностей. Проводится обычно раз в несколько месяцев или по мере необходимости
- Капитальный ремонт – представляет собой глубокое восстановление технического состояния судна, предполагающее масштабную замену и реконструкцию основных механизмов. Проводится с интервалом, определяемым нормативными документами, обычно раз в 3–5 лет.

В виду слабо развитого технологического производства страны, отмеченного на уровне в 39% [1] (процент технологической независимости) формируется потребность в закупки

комплектующий и запасных частей к нему в странах производителях, лидером которых выступает - Китай. На азиатский рынок приходится 68% всего импорта РФ, из которых около 73% составляет именно Китай [2].

Регулярность поставки

Для оценки минимально необходимой регулярности закупок запасных частей можно определить по формуле интервала (1):

$$T = \frac{Q}{D}, \tag{1}$$

Где: T - интервал между закупками;

Q - объём одной поставки (шт.);

D - средний годовой спрос (шт./год).

Средний годовой спрос можно рассчитать по формуле (2):

$$D = \frac{N}{T_{служ}} \times K \times Q, \tag{2}$$

Где N - количество судов, проходящих ремонт в год;

$T_{служ}$ - средний срок службы детали;

K - количество единиц данной детали, устанавливаемых на одно судно;

Q - доля запчастей, одновременно подлежащих замене (в случае полной замены принимается равной 1)

По доступным данным в 2024 году в Северном морском бассейне было отремонтировано порядка 350 судов [3]. Примем это значение в расчётах как постоянное значение N.

Сведения о сроках службы основных компонентов, например, судового дизеля можно получить из технической эксплуатационной документации. За основу расчетов рассмотрим агрегаты модели Wärtsilä 32 и примем время наработки запасных частей до замены как базовый параметр, ввиду схожести эксплуатационных параметров разных силовых установок. [4]

В качестве приоритетных позиций для международной поставки были выбраны запасные части, имеющие критическое значение для функционирования судовых силовых установок и обладающие высокой стоимостью, сложностью производства и ограниченной доступностью на российском рынке.

1. Гильзы цилиндра. Ключевой элемент кривошипно-шатунного механизма, подверженный значительным нагрузкам и термическому воздействию.

$$D = \frac{350}{\frac{96000}{15 \times 365}} \times 16 \times 1 = 320 шт / год$$

2. Поршни. Элемент, воспринимающий давление сгорания топлива и передающий усилие на шатун.

$$D = \frac{350}{\frac{84000}{15 \times 365}} \times 16 \times 1 \approx 367 шт / год$$

3. Топливные насосы высокого давления (ТНВД). Комплексный узел, отвечающий за подачу топлива в цилиндры под строго дозированным давлением.

$$D = \frac{350}{\frac{12000}{15 \times 365}} \times 16 \times 1 = 2546 шт / год$$

4. Форсунки. Наиболее часто заменяемые элементы топливной системы.

$$D = \frac{350}{\frac{96000}{15 \times 365}} \times 32 \times 1 = 10181 шт / год$$

Упаковка и технология перевозки

В соответствии с положениями ГОСТ 2991–85 [5], для гильз цилиндра используется ящик типа III–2, который имеет следующие параметры: длина — 900 мм, ширина — 550 мм, высота — 550 мм. Масса тары составит 25 кг. Итоговая масса груза с упаковкой — 264 кг

Поршни упаковываются в ящики типа II–1. Размеры упаковки: длина — 600 мм, ширина — 400 мм, высота — 400 мм. Масса тары — 9 кг. В результате общая масса упаковки с поршнем — 91 кг, объём — 0,096 м³.

Для инжекционного клапана длина упаковки составляет 500 мм, ширина — 150 мм, высота — 150 мм. Вес упаковки — 2 кг, итоговая масса — 11,4 кг, объём — 0,01125 м³.

Для топливного насоса высокого давления длина ящика составляет 600 мм, ширина — 400 мм, высота — 400 мм. Масса упаковки — 6 кг, итоговая масса — 56 кг, объём — 0,096 м³.

Перевозка данных узлов будет осуществляться в универсальном 20 футовом контейнере. Для правильной его загрузки требуется предварительно произвести расчет штабелирования грузовых мест, чтобы не допустить повреждения груза.

Расчёт высоты штабеля осуществляется с учётом статического сжимающего усилия, которое должна выдерживать тара, расположенная в нижнем ярусе. Расчёт выполняется по формуле (3):

$$H_{ск} = \frac{P_T \times h}{g \times q_{бр}} + h, \qquad (3)$$

Где: P_T - статическое сжимающее усилие, кгс,

g - ускорение свободного падения, м/с,

h - высота единицы тары, м,

$q_{бр}$ - масса грузового места брутто, кг

Согласно ГОСТ 26838–2023 [6], для деревянных ящиков, предназначенных для продукции массой до 500 кг включительно, установлены нормы вертикальной сжимающей нагрузки 26460 Н/м² (2700 кгс/м²)

Для гильз цилиндра:

$$H_{ск} = \frac{2700 \times 0,55}{10 \times 264} + 0,55 = 1,1125 м \Rightarrow \text{максимум 2 яруса}$$

Для поршней:

$$H_{ск} = \frac{2700 \times 0,4}{10 \times 91} + 0,4 = 1,586 м \Rightarrow \text{максимум 3 яруса}$$

Для ТНВД:

$$H_{ск} = \frac{2250 \times 0,4}{10 \times 56} + 0,4 = 2 м \Rightarrow \text{максимум 5 ярусов}$$

Для форсунок:

$$H_{ск} = \frac{2700 \times 0,15}{10 \times 11,4} + 0,15 = 3,7 м \Rightarrow \text{максимум 24 яруса}$$

Учитывая конструктивные ограничения по внутреннему пространству 20DC (высота — 2392 мм) и высоту паллетного основания (150 мм), максимальная возможная высота штабеля для формирования грузового пакета с ТНВД и форсунками составляет около 2200 мм. На одну паллету получится расположить 15 ТНВД и 55 форсунок, заняв 2,16 м^3 и составив 1490 кг с учетом веса поддона в 25 кг итого – 1515 кг, рис.1.

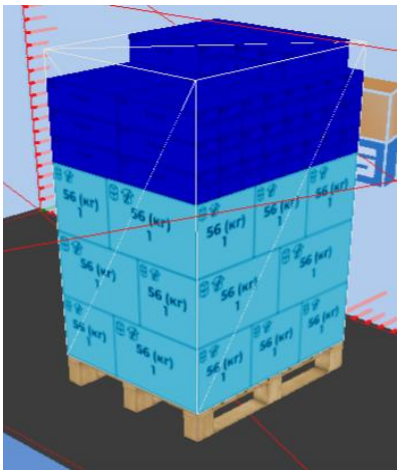


Рис. 1. Укрупненная грузовая единица с ТНВД и форсунками

Поршни и гильзы цилиндра размещаются в контейнере в своей упаковки, без использования средств пакетирования. В один контейнер помещается порядка 25 гильз цилиндра и 27 поршней, рис. 2. В таблице 1 представлена оценка смещения центра тяжести в контейнере.

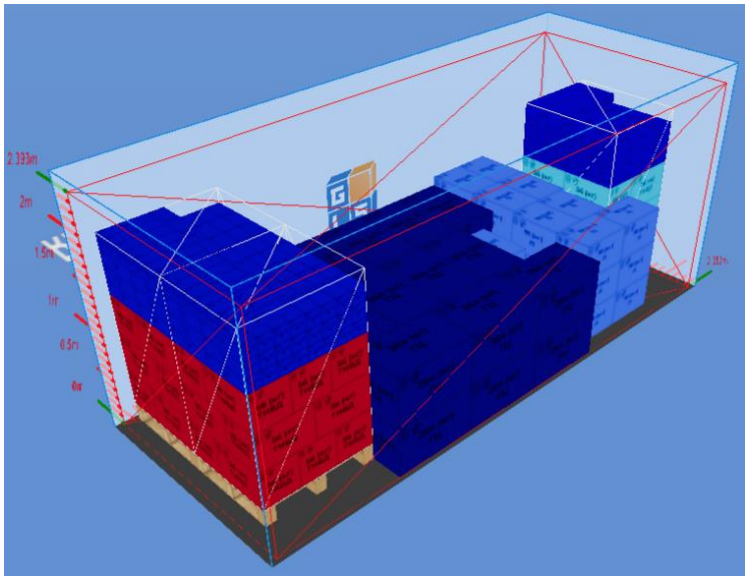


Рис. 2. Укомплектация запасными частями контейнера 20DC [7]

Таблица 1 – Оценки смещения центра тяжести

	Факт ц.т.	Отклонение	Центр гп
Длина	2885	-64	2949
Высота	747	747	0
Ширина	1137	-39	1176

Предлагаемые маршруты перевозки

Прямое сообщение Китай — Архангельск через Севморпуть

Одним из рассматриваемых вариантов доставки является прямое морское сообщение между портом Шанхай и Архангельском по маршруту Северного морского пути (СМП). Этот маршрут стал доступен благодаря реализации пилотного контейнерного сервиса «Арктический экспресс № 1», запущенного в 2024 году. Линия соединяет крупнейшие порты Китая (Шанхай, Нинбо, Тяньцзинь, Тайцан, Наньша) с портами Северо-Западной России, включая Архангельск.

Общая протяжённость маршрута составляет порядка 12 200 км (≈6 600 морских миль), а среднее время следования судна — от 20 до 22 суток. Согласно наблюдениям по регулярному трафику компании NewNew Shipping, доставка по маршруту Архангельск — Шанхай занимает в среднем около 20 дней. В 2024 году за навигационный период было выполнено 13 оборотных рейсов. Однако, из-за ледовой обстановки, рейсы осуществляются исключительно в летне-осенний период, когда арктические воды относительно свободны ото льда, рис.3.

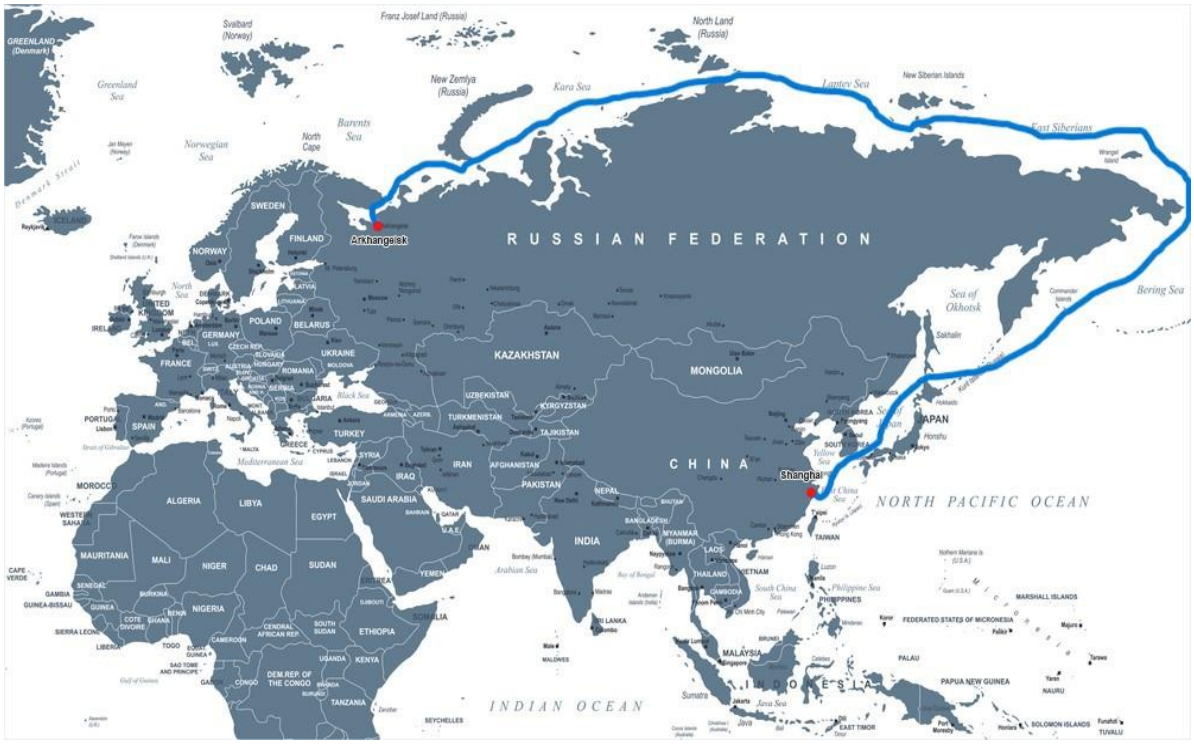


Рис. 3. Прямой контейнерный маршрут порт Шанхай → порт Архангельск

Функционирование маршрута требует соблюдения технических и организационных условий. Прежде всего — наличие судов, соответствующих требованиям ледового класса Arc4–Arc5 (по российской классификации Ice 1A), что позволяет проходить отдельные участки СМП без ледокольной поддержки либо с её минимальным привлечением. При этом, в периоды ухудшения ледовой обстановки необходимо сопровождение ледокольного флота, координируемого ФГБУ «Главное управление Севморпути» (структура госкорпорации «Росатом»). Это ведомство осуществляет разрешительную и навигационно-проводочную деятельность, включая допуск судов в акваторию и организацию лоцманской и ледокольной проводки.

Согласно «Правилам плавания в акватории Севморпути» (утверждённым Приказом Минтранса РФ № 7 от 17.01.2013) [8], движение по СМП осуществляется только по предварительно согласованной заявке и с обеспечением соответствующего уровня технической готовности судна. Условия маршрута накладывают дополнительные логистические и инфраструктурные требования, включая наличие страхового покрытия, готовность к работе в автономных условиях, наличие экипажа с арктической квалификацией и др, рис.4.

Рис. 4. Пример судна, используемая на данном маршруте XIN XIN HAI 1

Прямое железнодорожное сообщение Китай — Архангельск (через Москву)

Альтернативой морской доставке является прямой железнодорожный маршрут, реализуемый в рамках международной инициативы «Один пояс — один путь» (Belt and Road Initiative, BRI). Этот евразийский сухопутный коридор соединяет промышленные регионы Китая с логистическими центрами России и Европы, обеспечивая стабильное сообщение между странами без необходимости морского транзита.

Основной маршрут пролегает от восточных логистических узлов Китая (Сиань, Чунцин, Урумчи и др.) до Московского железнодорожного узла. Общая протяжённость транспортного плеча составляет от 9 000 до 11 000 км, а среднее время в пути — от 18 до 25 суток, в зависимости от пункта отправления, плотности трафика и времени обработки на пограничных терминалах. Перевозки проходят через международные сухопутные переходы на границах Китая с Казахстаном, Монголией и Россией (Алтынколь, Достык, Замын-Ууд, Эрлянь и др.), где производится смена тележек или перегрузка контейнеров, связанная с различием ширины колеи, рис.5, табл. 2.

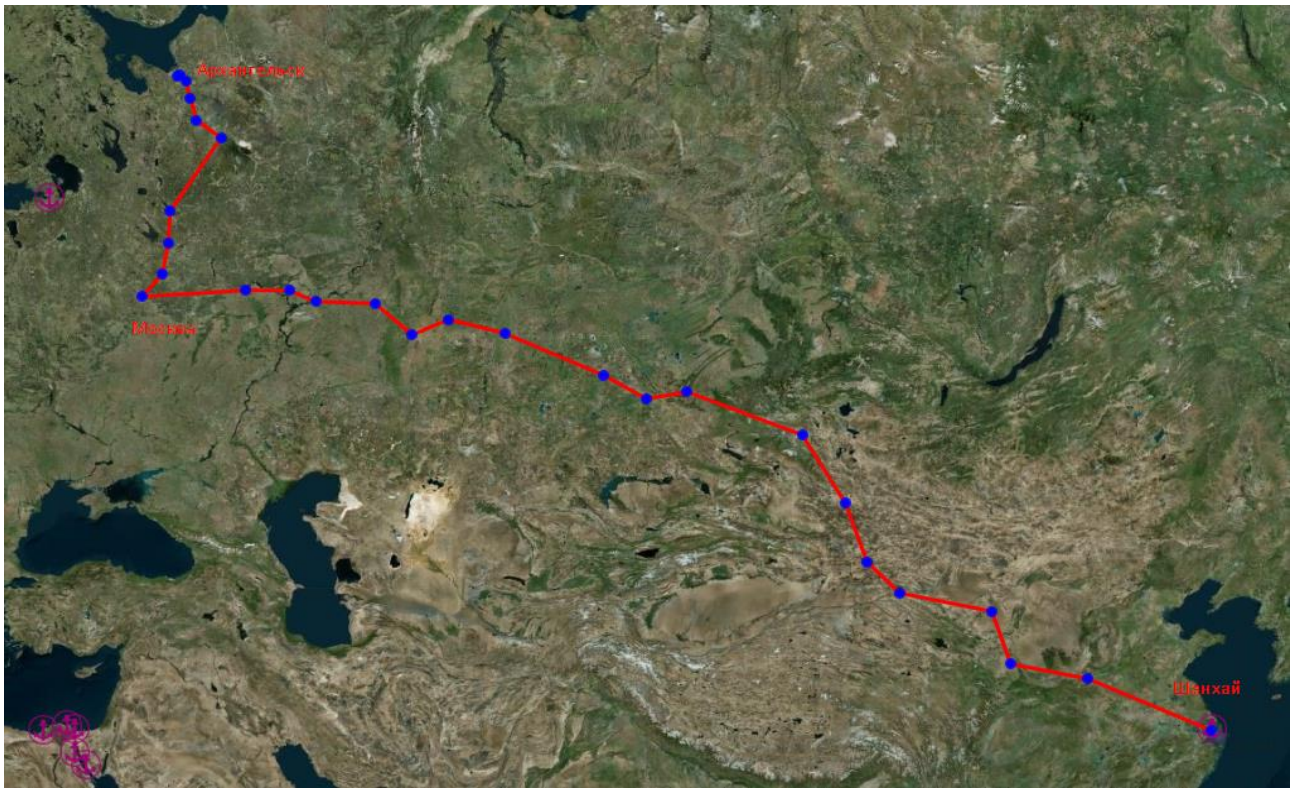


Рис. 5. Железнодорожная перевозка из Китая в Россию

Таблица 2 – Основные маршруты железнодорожных перевозок из Китая в Россию

Маршрут	Погранпереход	Среднее время доставки, сут.	Особенности
Китай – Казахстан – Россия	Алашанькоу / Достык	16-20	Основной маршрут, высокая пропускная способность
Китай – Казахстан – Россия	Хоргос / Алтынколь	18-22	Современный терминал, но меньше маршрутов в РФ
Китай – Монголия – Россия	Дзамын-Уудэ / Наушки	19-24	Реже используемый маршрут, зависит от загруженности Трансмонгольской ЖД
Китай – Россия (прямое сообщение)	Манчжурия / Забайкальск	17-21	Один из самых загруженных переходов

На завершающем этапе маршрута контейнер перегружается на поезд внутреннего сообщения и доставляется из московского сортировочного узла (например, станция Лефортово) до Архангельска. Протяжённость данного участка составляет около 1 290 км, среднее время в пути — от 6 до 8 суток, включая операции по обработке на железнодорожных терминалах.

Заключение

Маршрут через Севморпуть демонстрирует хорошее сокращение расстояния и времени доставки по сравнению с альтернативными морскими направлениями. Однако его основной недостаток — сезонность, ведь он функционирует только в пределах летне-осеннего навигационного окна, что требует резервных решений на период недоступности трассы. Тем не менее, при условии своевременной организации, этот маршрут остаётся приоритетным для перевозок.

Железнодорожный маршрут, в свою очередь, обеспечивает круглогодичную доступность и предсказуемость сроков, не подвержен сезонным ограничениям и менее чувствителен к внешним погодным условиям. Он хорошо подходит для регулярных поставок, где ключевым фактором выступает стабильность. Данный маршрут осуществляется с интеграцией в единую логистическую сеть и возможностью мультимодального продолжения маршрута без дополнительных морских операций.

Таким образом, выбор между маршрутами должен основываться на приоритетах получателя: СМП целесообразен при необходимости минимизации времени в навигационный период, железнодорожная доставка в свою очередь при необходимости стабильного, круглогодичного снабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палуба. Медиа. Архангельский порт готов к перевалке китайских контейнеров [Электронный ресурс]. – URL: https://paluba.media/news/185934 (дата обращения: 16.04.2025).
2. Таможенная служба Российской Федерации. Статистика внешнеэкономической деятельности [Электронный ресурс]. – URL: https://customs.gov.ru/statistic (дата обращения: 16.04.2025).
3. Президент России. Пресс-конференция по вопросам логистики и СМП [Электронный ресурс]. – URL: http://kremlin.ru/events/president/transcripts/76442 (дата обращения: 18.04.2025).
4. Wärtsilä. Product guide: Wärtsilä 32 [Электронный ресурс]. – URL: https://brandhub.wartsila.com/m/54000f75ef455f3d/original/Wartsila-32-Product-guide.pdf (дата обращения: 18.04.2025).

5. ГОСТ 2991–85. Ящики дощатые для грузов массой до 500 кг. Технические условия. – Введ. 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
6. ГОСТ 26838–2023. Средства крепления грузов в универсальных контейнерах. Общие требования. – Введ. 2023-09-01. – М.: Стандартинформ, 2023. – 12 с.
7. GLSystem. Инженерные решения в области транспортной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: https://glsystem.net/ (дата обращения: 16.04.2025).
8. Министерство транспорта Российской Федерации. Правила плавания в акватории Северного морского пути. [Электронный ресурс] – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_141121/ (дата обращения: 19.04.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ясин Юнис Насерович
Студент
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: sinnis36@gmail.com

Слободчиков Николай Александрович
Профессор, канд. воен. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: kola_slob@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yasin Yunis Nasserowich
Student
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: sinnis36@gmail.com

Slobodchikov Nikolay Aleksandrovich
Professor, Candidate of Military Sciences, Professor
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: kola_slob@mail.ru

Дата поступления: 16.08.2025
Дата принятия: 29.09.2025

УДК 656.021.2 DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-11-17

ИНТЕГРАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ В СРЕДЕ ANYLOGIC ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОРСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОРТА

М. Р. Язвенко, Н. Н. Майоров
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье представлена практическая реализация интеграции базы данных для описания входного потока и характеристик транспортной системы массового обслуживания в среде AnyLogic. Данный метод отличается универсальностью его применения, при которой изменения в инфраструктуру и расписание прибытий делаются в самой базе данных, а моделирование уже сделано под данную задачу. В качестве примера была выбрана модель морского пассажирского порта Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: система массового обслуживания, база данных, морской пассажирский терминал, имитационное моделирование.

Для цитирования:
Язвенко, М. Р. Интеграция баз данных в среде AnyLogic для моделирования систем массового обслуживания на примере морского пассажирского порта / М. Р. Язвенко, Н. Н. Майоров // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – с. 11-17. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-11-17.

DATABASE INTEGRATION IN THE ANYLOGIC SOFTWARE FOR MODELING QUEUE SERVICE SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF A SEA PASSENGER PORT

M. R. Yazvenko, N. N. Maiorov
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

This article presents a practical implementation of database integration for describing the incoming flow and characteristics of a queuing transport system in the AnyLogic software. This method is distinguished by its universal applicability, allowing changes to the infrastructure and arrival schedule to be made within the database itself, while the modeling itself is tailored to the task. The model of the St. Petersburg Sea passenger port was chosen as an example.

Keywords: queuing system, database, sea passenger terminal, simulation modeling.

For citation:
Yazvenko, M. R. Database integration in the Anylogic software for modeling queue service systems using the example of a sea passenger port / M. R. Yazvenko, N. N. Maiorov // System analysis and logistics. – 2025. – № 4(47). – p. 11-17. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-11-17.

Введение

В современной обстановке и возрастающей неопределённости, наиболее остро стоит вопрос прогнозирования работы различных транспортных систем.

В сложных транспортных системах, в которых имеется различная приоритетность заявок, поступающих в систему, имеется проблема необходимости анализа больших данных при обосновании необходимости проведения модернизации транспортной инфраструктуры. Параметром приоритетности может выступать на усмотрение лица, принимающего решение: меньшее время обработки, меньшие размеры транспортной единицы, наибольшая прибыль за обработку и т.д. При этом в реальных системах, может оказаться, что таких параметров может быть не один, а несколько. Всё это усложняет и без того сложный процесс анализа транспортных систем. Современные технологии, в частности цифровые двойники систем, позволяют значительно упростить задачи анализа эффективности работы системы, её оптимизации и обоснования необходимости изменения инфраструктуры.

Использование цифровых имитационных моделей при планировании работы транспортной системы в краткосрочной перспективе позволяет спрогнозировать различные отклонения от первоначального плана и снизить неопределённость при принятии управленческих решений [1,2]. Быстрота и удобство расчётов позволяют проигрывать

различные сценарии в изменении месячного расписания и формировать необходимый для анализа объем данных.

Модели и методы.

1. Подготовка исходных данных.

Транспортные системы, в которых возможно наличие заранее спланированного расписания – явление распространённое. Одной из таких систем являются некоторые морские пассажирские порты. В пассажирских портах, как например в Морском Пассажирском Порту Санкт-Петербург, расписание составляется на год вперед перед началом навигации. Помимо данного расписания, возможен приём и других судов, не согласовавших своё прибытие заранее, при наличии свободного места. Данный процесс обычно носит случайный характер [1,3,4,5].

В расписании, двумя самыми важными характеристиками являются время прибытия и время обслуживания. В случае времени обслуживания, альтернативно может возникать ситуация, когда указывается время отбытия. В базу данных можно ввести не только расписание прибытий, но и характеристики морского пассажирского порта. В таком случае, при моделировании подобной системы будет использоваться множество условностей, но сильно повысится универсальность модели

В случае рассматриваемого порта, суда разделяются как по типу (Ро-Ро или нет) и по своим габаритным характеристикам. Соответственно, причалы обладают соответствующими характеристиками – длина причального фронта, наличие возможности принятия Ро-Ро судов.

Реализация будет производиться на основе реального расписания судозаходов в порт. На сайте порта имеется отдельное расписание по каждому из годов работы порта Морской Фасад [6]. Каждое расписание содержит: порядковый номер судозахода, наименование судна, время прибытия, время отправления и причал прибытия (таблица 1).

Таблица 1 – Данные расписания прибытий и отправлений круизных и паромных судов

№ п/п	Вокзал	Причал	Название судна	Прибытие	Отправление
1	1	7	Black Pearl	02.05.2015 7:00	03.05.2015 18:00
….	….	….	….	….	….

Как видно, в расписании имеется полная информация о событии: какой порядковый номер, на каком причале и каком вокзале будет обслужено, название самого судна, время прибытия и отправления. Для моделирования нам не нужна информация о вокзале, а время отправления придётся переделать под требования AnyLogic [7,8,9]. Из-за особенностей работы блока задержки, необходимо заранее рассчитать количество времени, затраченного паромным или круизным судном на причале. Поэтому при составлении расписания для имитационной модели, нужно будет рассчитать время обслуживания судна. Помимо этого, при моделировании судна нужно будет ввести дополнительную базу данных, в которой будут указаны существующие суда и их характеристики.

Для моделирования самого порта необходимо ограничиться условным портом, или даже не визуализировать порт вовсе, и считать время движения судна внутри акватории порта пренебрежимо малым и не принимать его во внимание. В таком случае, можно воспользоваться базой данных для задания параметров порта. Для выбранного примера достаточно описать все имеющиеся причалы и указать 3 их характеристики: номер причала; длину причального фронта и возможность приёма Ро-Ро судов.

Таким образом, для описания как входного потока судов, так и порта, потребуется 3 таблицы баз данных:

1. Таблица расписания, в которой указано судно, время его прибытия, время остановки (обслуживания) и причал, к которому оно швартуется.

Таблица 2 – Данные расписания прибытий и времени обслуживания круизных и паромных судов

№	Название паромного судна	Причал	Время прибытия	Время обслуживания
1	Black Pearl	7	02.05.2015 7:00	1.46
….	….	….	….	….

2. Таблица с характеристиками причалов.

Таблица 3 – Характеристики причалов

Номер причала	Длина причального фронта	Может принимать Ро-Ро
1	375	НЕТ
….	….	….

3. Таблица с характеристиками судов.

Таблица 4 – Характеристики судов

Название судна	Длина	Ро-Ро
Black Pearl	298	НЕТ
….	….	….

2. Интеграция с AnyLogic.

Моделирование морского пассажирского порта, различные модельные сценарии, подробно описаны и представлены в работах [9,10,11,12], поэтому рассмотрим модели к привязке баз данных. Готовые таблицы импортируется в AnyLogic как новые базы данных. При импортировании необходимо проверить тип данных для каждого столбца и исправить, если это необходимо (например, столбец импортировался как целочисленный integer, а в последующих расчётах нужен double).

Затем, создаётся новый тип агентов, моделирующий суда. Прибывающие суда будут иметь различные причалы швартовки и различное время обслуживания. Для задания индивидуальных параметров каждого из агентов одного типа в AnyLogic предусмотрена возможность задания параметров. Параметры используются для задания статических характеристик агента, которые не изменяются за весь цикл его жизни. В поле типа агента создаются четыре интересующих нас параметра, хранящие информацию о необходимом причале, размерах судна, его типе и времени задержки.

В блоке прибытия судов указывается, что они прибывают согласно расписанию из базы данных и указывается таблица БД. Указывается соответствие параметров судна соответствующему столбцу базы данных. Таким образом, блоком прибытия при наступлении необходимой даты будет создаваться агент, со значениями параметров из этой же строки таблицы. По названию судна из таблицы характеристик судов ищется размер судна и его тип, что заполняет оставшиеся параметры.

Параметры агента можно вызывать в нужный момент и сравнивать с какими-то значениями из системы. При наличии номера причала у судна – этот номер будет сравниваться с номером причала в порту, и на него судно и направится. Если же паромное судно не имеет заданного причала, то его размеры будут сравниваться с длиной причального фронта свободных причалов и судно будет направлено на подходящий причал. Время обслуживания будет использоваться блоком задержки.

Рис.1. Блок задержки

Задание порта по параметрам из базы данных происходит аналогичным образом. Единственное отличие в том, что причалы порта являются ресурсами этого самого порта и существуют на протяжении всего периода моделирования. Ресурсы задаются блоком-хранилищем этих ресурсов (рис. 2).

Рис.2. Блок-хранитель ресурсов

Ресурсы в AnyLogic представлены агентами. Агенты-причалы будут иметь 3 параметра: номер причала, длина причального фронта и тип.

В данном случае, тип – это булево выражение, поскольку рассматривается наличие или отсутствие грузовых устройств для обслуживания судов типа Ро-Ро. В любом другом случае, как при моделировании грузового порта, где судно может быть иметь навалочный, сыпучий груз или контейнеры, этот параметр будет просто хранить информацию о принимаемых типах судов/грузов с аналогичным параметром для агента-судна.

Номер причала используется для определения швартовки, как было описано ранее, как и длина причального фронта.

При создании ресурсов из базы данных, AnyLogic самостоятельно определит количество ресурсов (в нашем случае причалов) по наличию записей в базе данных. Стоит обратить особое внимание при составлении входных данных, поскольку наличие пустых записей в базе приведёт к критической ошибке и не запуску модели.

3. Реализация данных для моделирования случайного входного потока.

Реализацию случайных прибытий также можно основывать на базе данных. При этом, возможно использовать как заранее подготовленную, так и базу, которая была загружена вместе с расписанием. Далее, для удобства, будет рассматриваться последний вариант.

В имеющейся базе представлена определённая выборка судов за какой-то промежуток времени с их характеристиками и временем обслуживания. Соответственно, из этих данных можно с помощью SQL-запросов и встроенных в AnyLogic функций, которые подсчитают разброс значений.

Для подсчёта разброса значений и формирования распределения случайной величины можно воспользоваться программным модулем эмпирическое распределение. В данном модуле можно выбрать конкретные столбцы базы данных, из которых будет формироваться распределение, как приведено на рис. 3. Например, из расписания прибытий в морской пассажирский порт Санкт-Петербург получается распределение времени обслуживания судов (рис. 3):

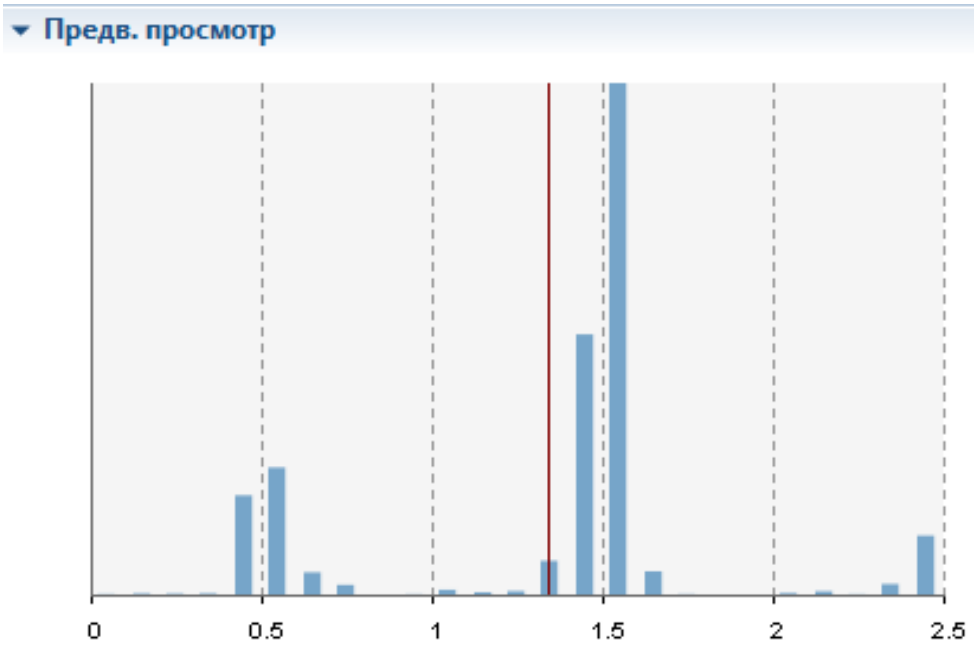


Рис.3. Выполнение эмпирического распределения в среде Anylogic

Модуль работает, как и любое другое математическое распределение случайной величины, только функция распределения основана на эмпирических данных.

Такой же модуль можно использовать и для определения распределения размеров судов и их типов. Для определения интенсивности входящего случайного потока можно подсчитать количество записей в расписании и умножить на любой, наиболее подходящий для ситуации, коэффициент.

Заключение

Все указанные решения могут быть применены при создании универсальных моделей транспортных систем. Необходимо помнить об условностях и ограничениях, которые порождает данный подход. За высокую универсальность модели приходится расплачиваться потерей некоторых деталей, присущих конкретной транспортной системе, как например, особенности акватории порта, особенности расположение причалов и т.д. Переход от моделирования одного, как в нашем случае, пассажирского морского порта к другому меняется всего лишь изменением входных данных в базе данных. Представленный подход позволяет выполнять исследовательские задачи на имитационной модели морского порта с минимальным задержками по времени и возможностью практического применения (адаптации) для других портов, в том числе и для оценки различных сценариев развития морских пассажирских портов или терминалов для лиц, принимающих решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бродецкий Г. Л.* Системный анализ в логистике. Принятие решений в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий. – М.: Academia, 2010. – 336 с.
2. *Воевудский Е. Н.* Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов / Е. Н. Воевудский, М. Я. Постан. – М.: Транспорт, 1987. – 318 с.
3. *Добровольская А. А.* Теория транспортных процессов и систем. Паромные маршруты и морские пассажирские порты / А. А. Добровольская, Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов. – СПб.: ГУАП, 2022. – 99 с.

4. *Титов А. В.* Современные тенденции развития морских портов в мире и их влияние на портовую индустрию России / А. В. Титов, Д. Б. Ивашкович // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 115–124.
5. *Ćorluka G.* Cruise port passenger flow analysis: A cruise port governance perspective / G. Ćorluka, I. Peronja, D. Tubić // NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo. – 2020. – Vol. 67. – P. 181–191. DOI: 10.17818/NM/2020/3.1.
6. Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад». Расписание [Электронный ресурс]. – URL: https://www.portspb.ru/Raspisanie (дата обращения: 06.09.2025)
7. *Krile S.* Modernization of the Infrastructure of Marine Passenger Port Based on Synthesis of the Structure and Forecasting Development / S. Krile, N. Maiorov, V. Fetisov // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – 11 p. DOI: 10.3390/su13073869
8. *Майоров Н. Н.* Исследование операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале с использованием моделирования / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 6(40). – С. 70–80. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80.
9. *Добровольская А. А.*, *Майоров Н. Н., Язвенко М. Р.* Принятие решений при неопределенности по прогнозированию развития морского пассажирского порта на основе моделирования разных приоритетов заявок судов // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: сборник статей XXVI Международной научной конференции: 3 ч. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 107–112.
10. *Майоров Н. Н.* Исследование вариантов формирования данных на основе многосценарного моделирования по развитию морского пассажирского терминала для принятия решений при неопределенности / Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2024. – Т. 16. – № 6. – С. 898–909. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-898-909
11. *Язвенко М. Р.* Универсальная имитационная модель потока поступления круизных и паромных судов в морской пассажирский порт / М. Р. Язвенко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2025. – Т. 17, № 3. – С. 350-364. – DOI 10.21821/2309-5180-2025-17-3-350-364.
12. *Майоров Н. Н., Язвенко М. Р.* Универсальная имитационная модель входного потока судов в Морской пассажирский порт // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXVIII Международной научной конференции. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 179-185.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Язвенко Максим Романович
Аспирант кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: YazvenkoM@guap.ru

Майоров Николай Николаевич
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: nnm@guap.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yazvenko Maksim Romanovich
Post-graduate of the system analysis and logistics department
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: YazvenkoM@guap.ru

Maiorov Nikolai Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: nnm@guap.ru

Дата поступления: 16.09.2025
Дата принятия: 29.09.2025

УДК 656.615 DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-18-28

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ МОРСКИХ ТЕРМИНАЛОВ

О. И. Мазуренко
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

Сфера морских грузоперевозок переживает сегодня технологическую трансформацию благодаря внедрению искусственного интеллекта, который позволяет оптимизировать логистику, повысить эффективность портовых операций, сократить издержки и время простоя морских судов и оборудования грузовых терминалов. Искусственный интеллект демонстрирует значительные преимущества в управлении процессами, прогнозировании и адаптации к изменяющимся условиям международной транспортной логистики и торговли, однако, при этом существует проблема в определении приемлемых подходов и методов разработки программных решений и их внедрения, особенно с учетом высоких начальных затрат и сложностей интеграции в оперативную деятельность морских портов. Цель проведенного исследования - определение подходов (методов и методик) к использованию искусственного интеллекта в рамках разработки прогностической нейросетевой модели поступления партий грузов сухопутным транспортом в морские порты для погрузки на суда. В исследовании с использованием методов сравнительного анализа методологий и обобщения установлена критическая важность точного прогнозирования сроков прибытия грузов и флота для эффективной работы стивидорных компаний. Полученные результаты являются базой для дальнейшей разработки нейросетевых моделей управления морскими терминалами с целью повышения производительности и снижения задержек. Предложенный подход универсален и применим к различным типам портовых терминалов, обладая как теоретической значимостью, так и высоким практическим потенциалом. В исследовании определены подходящие методы построения нейросетевой прогностической модели – метод случайных деревьев и метод с использованием градиентного бустинга, а также предложены статистические критерии её оценки - коэффициент детерминации, среднеквадратическая ошибка и средняя абсолютная ошибка. Проведен анализ ключевых сложностей, препятствующих практической реализации модели и использованию в работе морских портов. Сделан вывод, что выбранные методы машинного обучения обладают потенциалом для повышения эффективности управления портами, позволяют прогнозировать работу транспорта, оптимизировать распределение ресурсов, автоматизировать рутинные процессы и поддерживать принятие обоснованных управленческих решений.

Ключевые слова: управление работой морских портов, машинное обучение, нейросетевые модели.

Для цитирования:
Мазуренко, О. И. Определение подходов к разработке нейросетевой прогностической модели для управления работой морских терминалов / О. И. Мазуренко // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – с. 18-28. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-18-28.

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK PREDICTIVE MODEL FOR MANAGING THE OPERATION OF MARINE TERMINALS

O. I. Mazurenko
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

The marine freight industry is currently undergoing a technological transformation thanks to the introduction of artificial intelligence, which allows us to optimize logistics, improve the efficiency of port operations, and reduce costs and downtime of vessels and terminal equipment. Artificial intelligence demonstrates significant advantages in process management, forecasting, and adaptation to changing conditions of international transport logistics, however, there is a problem in identifying acceptable approaches and methods for developing software solutions and implementing them, especially given the high initial costs and difficulties in integrating them into the operational activities of seaports. The objective of the study is to identify approaches (methods and techniques) to using artificial intelligence within the framework of a predictive neural network model for the arrival of cargo consignments by land transport to seaports for loading onto vessels. The study, using comparative analysis of methodologies and generalization, established the critical importance of accurately forecasting the arrival times of cargo and fleet for the efficient operation of stevedoring companies. The results became the basis for further development of neural network models for managing sea terminals in order to improve productivity and reduce delays. The proposed approach is universal and applicable to various types of port terminals, possessing both theoretical significance and high practical potential. The study identifies suitable methods for constructing a neural network predictive model - the random tree method and the gradient boosting method,

and proposes statistical criteria for its evaluation - the coefficient of determination, the mean square error, and the mean absolute error. An analysis of the key difficulties that hinder the practical implementation of the model and its use in the operation of seaports is carried out. It is concluded that the selected machine learning methods have the potential to improve the efficiency of port management, allow predicting transport operations, optimizing resource allocation, automating routine processes, and supporting informed management decision-making.

Keywords: seaport management, machine learning, neural network models.

For citation:

Mazurenko, O. I. Development of a neural network predictive model for managing the operation of marine terminals / O. I. Mazurenko // System analysis and logistics. – 2025. – № 4(47). – p. 18-28. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-18-28.

Введение

В сфере морских грузоперевозок, которая охватывает обширный круг процессов: от функционирования и управления работой портов и флота, транспортной логистики и складского хозяйства и до судостроения и производства погрузо-разгрузочного оборудования, сегодня наблюдается серьезный интерес к инновационным решениям, основанным на инновационных возможностях компьютерных технологий. Цель этих решений – оптимизировать управление и планирование процессов для сокращения издержек и получения преимуществ перед конкурентами. Проведенные зарубежными и отечественными авторами исследования различных аспектов применения искусственного интеллекта (далее – ИИ) демонстрируют как его преимущества, так и сложности, возникающие при его интеграции в портовые, судоходные и логистические операции [1].

К основным преимуществам следует отнести возможности внедрения и сочетания таких технологий, как «Интернет вещей» (далее – IoT), блокчейн и машинного обучения (далее – МО) для целей совершенствования операционных процедур, направленных на повышение эффективности работы морских портов и флота, сокращение сроков выполнения грузовых работ и оптимизацию использования ресурсов с целью снижения операционных затрат. Так применение ИИ для целей оптимизации процессов перевалки грузов может существенно ускорить проведение погрузо-разгрузочных операции, что продемонстрировано на примере морского порта Роттердама, где ИИ используется для определения наиболее эффективного плана размещения контейнеров на судах-контейнеровозах. Внедрение технологий на базе ИИ для предиктивного обслуживания позволило контролировать состояние перегрузочного оборудования и предвидеть возможные отказы технических средств в морском порту Лос-Анджелеса, где подобные меры привели к сокращению времени технических простоев и увеличению срока эксплуатации портового оборудования. Цифровизация портовых процессов и документооборота позволяет значительно повысить эффективность операций, сокращая время, которое суда и груз проводят в морских портах [2].

Однако, наряду с этими достоинствами, существуют и достаточно серьезные препятствия повсеместного внедрения систем на базе ИИ, такие как: большие начальные затраты на развертывание и внедрение, постоянная необходимость обновления данных для повышения эффективности работы подобных систем и подготовки обученных специалистов для работы с передовыми технологиями. Внедрение в работу морских портов и терминалов стратегии, нацеленной на использование возможностей ИИ в портовых и логистических операциях, несмотря на существующие сложности интеграции, создаст будущее, где порты будут работать с невиданной до этого точностью и эффективностью [3].

В современных условиях глобальной экономики морской судоходный транспорт остается ключевым элементом международной торговли, позволяя перемещать большие объемы товаров на дальние расстояния. При этом процесс работы морского судоходства и морских портов опирается на решение ряда сложных задач, требующих точного планирования и адаптации к постоянно меняющимся условиям. Изменения погодных условий, конъюнктуры торговли в регионе, задержки в погрузке и выгрузке грузов, сложности во взаимодействии с сухопутным транспортом, все это создает риски непредвиденного увеличения

эксплуатационных расходов. В подобных условиях становится особенно важным эффективно определять даты и сроки прибытия как судов, так и грузов в морские порты и управлять временем, которое суда и грузы проводят в порту для минимизации финансовых издержек. Преимущества внедрения масштабируемых современных компьютерных технологий, таких как ИИ, заключаются в улучшении планируемости и реактивности портовых операций [4].

Так, например, современный функционал ИИ уже сегодня способен прогнозировать погодные условия, анализируя исторические и спутниковые (GPS) данные, а также предсказывать движение партий грузов сухопутным транспортом в хинтерленде, что позволяет осуществлять управление работой флота и портов практически в режиме реального времени и минимизировать время их простоя [5]. Помимо этого, с помощью ИИ и аналитики больших данных (big data) можно оптимизировать работу портовых складов, определять суточные планы обработки судов и грузов в порту, что в итоге будет способствовать ускорению непосредственно процессов разгрузки и погрузки, и, в итоге, приведет к снижению переменных затрат. Использование ИИ и других подобных передовых компьютерных технологий позволит повысить устойчивость портовых операций, позволяя портам лучше адаптироваться к изменениям в условиях торговли в регионе и мира, или внутренним изменениям в логистических цепочках. Например, системы на основе ИИ могут отслеживать изменения в спросе на товарных биржах и рынках, и, автоматически корректировать планы доставки и распределения грузов, тем самым позволяя сократить время отклика на изменения в рынке и повысить общую эффективность функционирования портов и флота [6].

Цель исследования заключается в определении подходов (методов и методик) к использованию искусственного интеллекта в рамках прогностической нейросетевой модели поступления партий грузов сухопутным транспортом в морские порты для погрузки на суда. Использование подобной прогностической нейросетевой модели позволит повысить качество управления работой флота и портов. Определение возможностей и направлений внедрения искусственного интеллекта в портовые процессы, даст возможность в дальнейшем определить варианты увеличения прибыльность портов и сокращения их операционных расходов.

Методы и материалы исследования

Исследование выполнено в 2025 г. на базе кафедры коммерческой эксплуатации водного транспорта Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова в г. Санкт-Петербург. В исследовании были использованы теоретические методы: сравнительный анализ методологий и обобщение. В качестве материалов для исследования использовались научные статьи отечественных авторов в области искусственного интеллекта, МО и управления работой транспортных систем и объектов. В работе определено, что проблема эффективного прогнозирования сроков и объемов поступления груза и флота является одной из ключевых для стивидорных компаний, работающих в морских портах. Рациональные прогнозы позволяют эффективно распределять и планировать складские, тыловые и причальные мощности с целью увеличения общей производительности и минимизации задержек грузов и транспорта в порту. Таким образом, данное исследование не только имеет теоретическую значимость, но потенциально является основой для будущих практических результатов в части разработки и имплементации нейросетевой прогностической модели в процесс управления работой морского терминала.

Результаты исследования

Предлагается к рассмотрению следующая ситуация, которая наглядно способна продемонстрировать высокую сложность данного процесса: крупный экспортный портовый морской терминал обрабатывает грузовые суда различных размеров, которые прибывают в течение недели в разные интервалы времени. На терминале ограниченное количество причалов, где суда могут осуществлять швартовку для погрузки. Груз на терминал со стороны хинтерленда доставляется исключительно железнодорожным транспортом и перегружается на

тыловом железнодорожном фронте терминала на склад. Вместимость склада и возможности тылового фронта также ограничены. Таким образом, основная управленческая задача заключается в оптимизации ресурсов причальной линии, склада и тылового фронта для обеспечения их бесперебойной работы и сокращения времени ожидания в очереди судов, железнодорожных составов, а также максимального задействования складских мощностей и технологических ресурсов терминала [7].

В подобной ситуации МО может применяться для прогнозирования времени поступления груза и судов на терминал, а также времени коммерческого хранения и погрузо-разгрузочных работ. В процессе решения подобной задачи также должны учитываться индивидуальные характеристики судов и железнодорожных составов, уникальное для каждого судна и поезда время прибытия, ожидаемое время и интенсивность погрузки/разгрузки, а также уровень приоритета транспортных средств, определяемый на основе типа груза и договорных условий.

С помощью применения инновационных компьютерных технологий, таких как МО, возможно полное преобразование традиционного подхода к управлению портовыми операциями. В потенциальной прогностической нейросетевой модели приемлемо использовать как имеющиеся статистические данные о графиках прибытия судов и поступления железнодорожных составов за прошлые аналогичные периоды, так и реальные индикативы, такие как данные из АИС (Автоматизированных информационных систем) ж/д перевозчиков, сведения с GPS маячков, данные о погодных условиях, сведения о текущем уровне загрузки терминала и операционных ограничениях. Эти данные возможно обработать с применением различных алгоритмов МО [8].

Интеграция прогнозов, полученных с применением алгоритмов МО, является ключевым отличием нейросетевой модели от традиционных методов управления, которые зачастую основываются на интуитивных и эвристических подходах. Использование прогностической нейросетевой модели как основы для принятия управленческих решений позволит не только снизить время простоя транспорта в ожидании обработки, но и минимизировать затраты непосредственно на портовые операции, т.к. имея на руках более точные прогнозы можно разрабатывать оптимальные суточные и недельные планы работ [9].

Но важно отметить, что комплексный подход с применением алгоритмов МО включает в себя не только прогнозирование, но и динамическое управление ресурсами, что позволяет адаптировать операционные планы в реальном времени. Если модель, к примеру, предсказывает, что железнодорожный состав или судно задерживается, то терминал может оперативно изменить очередность приема судов/поездов и поменять график работы грузовых фронтов и склада, чтобы максимально сократить время простоя.

В конечном итоге, только интеграция прогнозирования и управления ресурсами приводит к более скоординированной и эффективной системе [10]. Научные исследования в области применения МО в портовых и логистических операциях не только расширят границы научного познания, но и могут подтвердить тезис о том, что использование нейросетей и технологий МО в процессах управлении портами вскоре станут критически важными их для успешного функционирования.

Ключевым достоинством прогностической нейросетевой модели является её способность адаптироваться и учиться на предыдущих данных. По мере накопления информации о движении транспорта – судов и железнодорожных составов, а также о портовых операциях и работе грузовых фронтов обучаемая модель становится все более точной и может с высокой степенью сходимости прогнозов и фактов предсказывать будущие тенденции и проблемы. Подобные прогностические модели могут быть адаптированы как для импортных, так и для экспортных терминалов различных типов – наливных, навалочных, контейнерных и пр. Это позволяет портовым операторам находить именно те решения, которые возможно применить к их конкретным потребностям и условиям работы.

Определены основные подходы МО, которые могут быть применены для построения перспективной прогностической нейросетевой модели [11], а именно:

Метод случайного леса (Random Forest, далее – RF), в котором использует ансамбль из N решающих деревьев, $\{T_1, T_2, \ldots, T_N\}$. При этом каждое из деревьев T_i создаётся с использованием так называемой бутстрап-выборки (англ. – bootstrap sample) из обучающих данных D, которая представляет собой выборку с возвратом из исходного набора данных размером M. Этот подход также известен как бэггинг (англ – bagging) или бутстрап-агрегация (англ – bootstrap aggregating). Кроме того, когда осуществляется разделение узла в процессе построения дерева, вместо нахождения наиболее подходящего разделения среди всех доступных признаков выбирается случайное подмножество из *k* признаков из общего количества K признаков. После этого оптимальное разделение определяется только для этого подмножества. Такой подход минимизирует необходимость в поиске наилучшего деления среди всех признаков. Элемент случайности в этом методе повышает надёжность модели и помогает избежать переобучения.

Процесс обучения при использовании метода RF строится следующим образом – рассматривается некий объем исходных данных (формула 1):

$$D=\{(x_1,y_1),(x_2,y_2),\ldots,(x_M,y_M)\}, \tag{1}$$

где: x_i — вектор признаков, y_i — целевая переменная для каждого экземпляра i.

Главной целью регрессора случайного леса (RF) является создание такой модели, которая способна предсказывать значение y для новых экземпляров на основе их признаков *x*. Процесс обучения для каждого дерева T_i в модели RF включает несколько важных этапов. Во-первых, создаётся бутстрап-выборка D_i из исходного набора данных D. После этого происходит рекурсивное разделение выборки D_i в каждом узле, начиная с корневого, и продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты заданные критерии остановки, такие как максимальная глубина дерева или минимальное количество образцов в листе. При этом в каждом шаге для нахождения наилучшего разделения выбирается оптимальный вариант из случайно выбранного подмножества k признаков.

Процесс прогнозирования при использовании метода RF строится следующим образом: когда приходит время делать прогноз для нового экземпляра x, итоговое значение определяется как среднее предсказаний, полученных от всех деревьев, входящих в лес по формуле 2:

$$\hat{Y}=\frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{N}T_j(x), \tag{2}$$

где: $T_j(x)$ – прогноз по дереву для x, а общее количество деревьев обозначается как N.

Метод случайного леса обладает доказанной эффективностью для снижения количества ошибок при осуществлении прогнозирования за счет снижения дисперсии без сколь-либо ощутимого увеличения смещения. Больше деревьев N в целом снижают дисперсию прогнозных значений. Ансамблевое обучение позволяет объединять прогнозы из нескольких RF, что дает существенных прирост точности. Блок-схема алгоритма метода случайного леса представлена на рис. 1:

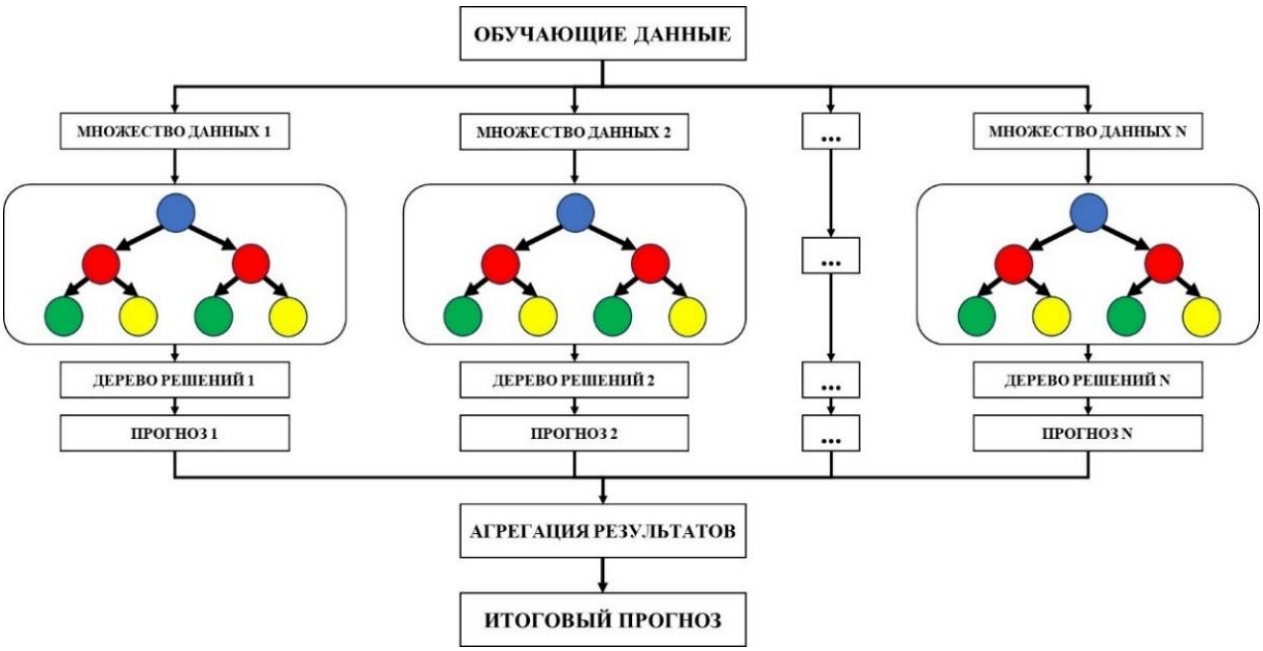


Рис. 1. Блок-схема алгоритма метода случайного леса (Составлен автором по результатам данного исследования)

Синергетический эффект от предсказаний нескольких RF позволяет получать более точные итоговые результаты и даёт возможность работать с широким набором исходных данных и выполнять анализ пропущенных значений**.**

Метод с использованием градиентного бустинга достаточно широко применяется в МО благодаря своей высокой скорости и производительности. Одной из наиболее распространенных реализаций этого метода является *Экстремальное градиентное усиление* (*eXtreme Gradient Boosting или XGBoost*), которое представляет собой улучшенную версию традиционного градиентного усиления. В отличие от случайного леса (RF), который строит и комбинирует множество деревьев решений параллельно, которые не взаимодействуют между собой, XGBoost создает деревья решений последовательно. Каждое новое дерево разрабатывается с целью исправления ошибок, допущенных предыдущими деревьями, что позволяет значительно повысить общую эффективность модели МО. Использование XGBoost делает прогностическую модель более оптимизированной и способной справляться как со сложными задачами регрессии, так и с задачами классификации на гораздо более высоком уровне. Целевая функция XGBoost состоит из двух ключевых компонентов: функции потерь и параметра регуляризации.

Функция потерь позволяет оценить потери между предсказанными и фактическими значениями, тогда как член регуляризации отвечает за управление сложностью модели, что помогает предотвратить переобучение. Соответственно целевая функция XGBoost направлена на минимизацию общей ошибки, которая учитывает как точность предсказаний, так и сложность модели. Блок-схема алгоритма работы XGBoost, иллюстрирующая его процесс и структуру представлена на рис. 2.

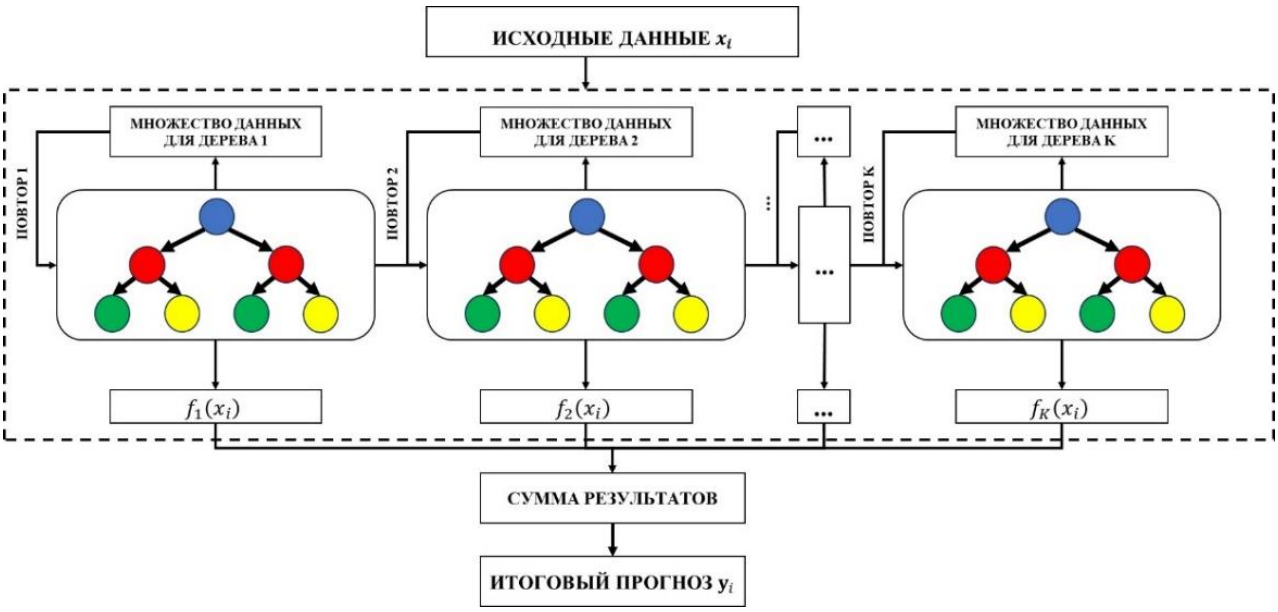


Рис. 2. Блок-схема алгоритма метода с использованием XGBoost (Составлен автором по результатам данного исследования)

При наличии набора данных $D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{n}$, в случаях, когда x_i – это вектор признака экземпляра *i*, а y_i – это соответствующее ему целевое значение, целевая функция оптимизации при итерации *t* может быть выражена как 3:

$$Obj^{(t)} = \sum_{i=1}^{n} l\left(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)\right) + \Omega(f_t), \tag{3}$$

где: $y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)$ – специфичная функции потерь, $\Omega(f_t)$ – регуляризатор для каждого из *t* деревьев, f_t – прогноз t-ого дерева.

Процесс обучения. Метод обучения XGBoost представляет собой итеративный процесс, при котором к ансамблю деревьев добавляются новые деревья, каждое из которых нацелено на исправление ошибок, оставшихся от предыдущих деревьев. В этом процессе модель подстраивается с помощью функции f_t, которая оптимизирует целевую функцию. Это требует вычисления градиента и гессиана функции потерь, что в свою очередь используется для определения направления, в котором должно развиваться дерево.

Процесс прогнозирования новых экземпляров x при использовании метода XGBoost следующий: после *T* этапов построения это сумма прогнозов от всех *T* деревьев 4:

$$y_i(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{T} f_i(x), \tag{4}$$

Возможности оптимизации. Метод XGBoost позволяет использовать различные способы оптимизации, что способствует повышению его эффективности и быстроты работы. Например, метод градиентной односторонней выборки (GOSS) снижает объем обрабатываемых данных для улучшения производительности, при этом сохраняя эффективность алгоритма. В целях снижения риска переобучения в целевую функцию включены термины L1 (лассо-регрессия) и L2 (гребневая регрессия) регуляризации. Подход к поиску разделения с учётом разреженности позволяет эффективно справляться с

недостающими данными, либо выявляя оптимальные способы их обработки на этапе обучения, либо назначая им определённые значения.

Методы оценки модели. Далее были определены основные статистические показатели, которые могут быть применены для оценки качества разрабатываемой прогностической нейросетевой модели [12]. Основными показателями, которые сегодня используются для оценки эффективности регрессионных моделей являются коэффициент детерминации (R^2), среднеквадратическая ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE). Данные показатели определяют, насколько хорошо модель соответствует исходным данным и какова точность её предсказаний. Коэффициент детерминации (R^2) позволяет определить, насколько хорошо вариация зависимой переменной объясняется с помощью независимых переменных. Значение R^2 лежит в интервале от 0 до 1. Большие значения свидетельствуют о более точном соответствии модели и получаемых прогнозных данных. Математически выразить R^2 можно следующим образом: чем больше значение R^2, тем больше вариации зависимой переменной объясняется моделью, при этом единица указывает на идеальное соответствие. Коэффициент детерминации определяется по следующей формуле 5:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}, \tag{5}$$

где: SSE – сумма квадратов ошибок регрессии, а SST – сумма квадратов отклонений точек данных от среднего значения.

Корень среднеквадратической ошибки (RMSE) – средняя разница между реальными и предсказанными значениями. Этот показатель демонстрирует, насколько сильно отклоняются прогнозы от фактических данных, при этом более низкие значения указывают на лучшее качество модели. RMSE можно выразить следующей формулой 6, где меньшие значения свидетельствуют о более высокой производительности модели:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2}, \tag{6}$$

где: n – количество наблюдений, y_i – фактическая координата наблюдения, а $\hat{y}_i$ – предсказанная координата наблюдения.

Средняя абсолютная ошибка (MAE) – отличается от корня среднеквадратической ошибки (RMSE), где применяется квадрат разности между фактической и предсказанной координатой. MAE представляет собой линейную оценку, вследствие чего вес разностей одинаков и не зависит от диапазона данных. При этом более низкие значения также указывают на более высокое качество модели. MAE можно выразить следующей формулой 7:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2, \tag{7}$$

Средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратическая ошибка (RMSE) — это два статистических показателя, которые оценивают точность прогнозирования. Как уже отмечалось, более низкие значения обоих показателей указывают на лучшую производительность модели. Корень среднеквадратической ошибки (RMSE) более точно определяет крупные ошибки вычислений, вследствие чего используется чтобы избежать значительных ошибок в прогнозе. Этот показатель полезен, когда любые значительные ошибки в прогнозах могут привести к серьезным последствиям для итоговых вычислений в модели [13]. Выбор того или иного статистического показателя зависит от поставленной задачи и характеристик исходных данных. С их помощью в работе над прогностическими

нейросетевыми моделями можно выбрать более пригодный алгоритм или же откорректировать принципы работы самой модели, определить части и области модели, которые требуют улучшения. При это не всегда целесообразно выбирать только один из них, ведь использование нескольких показателей сразу даст более полное представление о работе разрабатываемой модели и позволит с намного большей эффективностью адаптировать её и улучшать в зависимости от поставленной цели и задач.

Обсуждение результатов

После выбора основных методов, применяемых для построения нейросетевой прогностической модели, а также статистических критериев оценки её качества, предлагается оценить основные проблемы и препятствия к её потенциальной реализации и прикладному применению в процессах управления работой морских портов и терминалов, а именно:

Во-первых, важно наличие качественных и доступных исходных статистических данных, служащих основой для тестирования модели. Процесс предварительной обработки статистических данных по каждому сегменту модели, направленный на обеспечение их надежности и качества, зачастую является трудоемким и требует значительных ресурсов.

Во-вторых, операции в транспортных узлах, которыми являются морские порты и портовые терминалы, отличаются так называемой динамической сложностью, т.к. включают в себя множество комплексных и перекрёстно влияющих друг на друга процессов (прибытие/убытие морских судов и сухопутного транспорта, погрузка/выгрузка, изменяющиеся экономические условия, погодные факторы в работе порта и пр.). Для корректного моделирования подобной сложной динамики необходимо применять высокоэффективные методы МО, способные фиксировать нелинейные взаимодействия и временные зависимости между различными компонентами.

В-третьих, несмотря на преимущества алгоритмов МО, возможности корректной интерпретации получаемых с их помощью данных вызывает значительные затруднения как среди рядовых исследователей, так и среди опытных практиков нейросетевого моделирования. Роль интерпретируемости заключается в необходимости предоставления конечным пользователям чётких объяснений полученных прогнозных результатов, что становится особенно актуальным в контексте принятия решений в портовых и транспортных операциях, где неточности могут иметь серьёзные последствия. Модель должны в итоге давать ясные и понятные выводы, что способствует принятию более качественных и рациональных управленческих решений на основе надежной информации.

Основные выводы

По результатам оценки возможностей использования МО для разработки нейросетевой прогностической модели работы морских терминалов, в том числе по итогам анализа пригодных для её построения методов и статистических критериев оценки её качества, сделаны следующие выводы:

1. МО позволяет внедрять *предиктивную аналитику* процесс управления работой морских портов в части прогнозирования времени прибытия судов и железнодорожных составов, распределение места на складе с учетом возможного времени хранения партий, а также в части прогнозирования обработки грузов и времени оборота морского и сухопутного транспорта. Используя модели МО, можно анализировать как статистические данные, так и информацию, поступающую в режиме реального времени, что помогает предсказать будущие события и оптимизировать распределение портовых ресурсов. Это, в свою очередь, способствует повышению эффективности и снижению итоговых задержек.
2. Применение методов *оптимизации* на основе МО позволит улучшить планирование работы грузовых фронтов терминала и оптимизировать распределение технических ресурсов, что, в свою очередь, повысит общую эффективность портовых операций.

Алгоритмы МО способны разрабатывать оптимальные решения, учитывая различные ограничения и цели, такие как минимизация времени ожидания и улучшение пропускной способности, что позволяет находить баланс между противоречивыми требованиями.

3. Методы МО позволяют *автоматизировать* рутинные процессов, характерные для морских терминалов, включая мониторинг состояния и планирование технического обслуживания портового оборудования. Они также способствуют сокращению потребности в ручном труде и частично устраняют человеческий фактор.
4. *Системы поддержки принятия управленческих решений*, основанные на методах МО, позволяют предоставлять руководству стивидорных компаний обоснованные рекомендации. Ведь процесс их работы основан на интеграции и анализе данных из разнородных источников, а также на моделировании множества возможных сценариев развития событий. Организация подобные процессов силами персонала требует больших финансовых вложений и порой трудно реализуема.

Заключение

Несмотря на определенные сложности, связанные с применением моделей, основанных на МО, такие как – проблемы качества исходных данных и масштабируемости, ограниченной интерпретируемости результатов и вычислительной сложности, использование подобных моделей для управления работой морских портов и терминалов имеет огромный потенциал за счёт предиктивной аналитики, оптимизации процессов, автоматизации и интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белоногова А. Д.* Применение методов машинного обучения для обеспечения качества спецификаций требований / А. Д. Белоногова, П. А. Огнянович, К. И. Гайдамака // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9, № 8. – С. 30-35.
2. *Борисенко Г. А.* Использование нейронных сетей для прогнозирования стоимости акций на основе новостных данных / Г. А. Борисенко // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2024. – №5. – С. 211-232.
3. *Богатых Н. В.* Перспективы применения и развития автоматизированной информационной системы мониторинга акватории морского порта / Н. В. Богатых // Перспективы науки. – 2019. – № 6 (117). – С. 29-31.
4. *Лукашевич М. Н.* Модели и методы машинного обучения для решения задач оптимизации и прогнозирования работы морских портов / М. Н. Лукашевич, М. Я. Ковалев // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 94-110.
5. *Завгородний А. И.* Портовая техносфера, как платформа функциональности нейросети ИИ / А. И. Завгородний // Транспортное дело России. – 2024. – № 5. – С. 86-91.
6. *Комендантов К. И.* Искусственный интеллект в управлении морскими портами: реальность, перспективы и проблемы / К. И. Комендантов // Океанский менеджмент. – 2024. – № 2 (26). – С. 43-47.
7. *Киселенко А. Н.* Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях / А. Н. Киселенко, Е. Ю. Сундуков, Н. А. Тарабукина // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20, № 3 (100). – С. 40-49.
8. *Левченко Н. Г.* Построение нечеткой нейросетевой модели информационной системы управления транспортно-логистическим процессом / Н. Г. Левченко, С. В. Глушков, Ю. Ю. Почесуева, Е. М. Коньков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 3 (22). – С. 100-111.

9. *Левченко Н. Г.* Применение нечеткой нейросетевой модели в управлении транспортно-логистическим процессом / Н. Г. Левченко, Ю. Ю. Почесуева, Е. М. Коньков // Вестник Морского государственного университета. – 2014. – № 65. – С. 42-49.
10. *Казангапова Б. А.* Разработка интеллектуальной информационной системы для транспортной задачи с использованием нечетких нейросетевых технологий / Б. А. Казангапова, Е. К. Социалов, А. С. Нургулжанова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2020. – № 1(112). – С. 306-316.
11. *Петров С. В.* Использование метода "Случайный лес" при построении моделей надежности // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования (ИМАП-2022): XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сборник научных трудов. – Ульяновск, 2022. – С. 84-88.
12. *Пономарев И. В.* Об оценке параметров трехмерной равномерно-регрессионной модели / И. В. Пономарев // Известия Алтайского государственного университета. – 2020. – № 4(114). – С. 108-111.
13. *Сапкина Н. В.* Оценка качества нечеткой регрессионной модели // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2016. – С. 276-277.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Мазуренко Ольга Игоревна
Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»
198035, Россия, Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7
E-mail: mazyrenko.olga@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mazurenko Olga Igorevna
PhD, Associate Professor
Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Street, St. Petersburg, 198035, Russian Federation
E-mail: mazyrenko.olga@gmail.com

Дата поступления: 20.08.2025
Дата принятия: 29.09.2025

УДК 656.073 DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-29-39

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО КАБИНЕТА ИЗ КИТАЯ В РОССИЮ

В. М. Заболотный, Н. А. Слободчиков
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье рассмотрены основные аспекты перевозки стоматологической установки, даны общие сведения о ней, как виде груза. Приводятся характеристики возможных видов транспорта и транспортных средств необходимых для перевозки. Также описывается технология перевозки стоматологических установок.

Ключевые слова: стоматологическая установка, тариф, организация перевозки, контейнерные перевозки, морской транспорт, маркировка, упаковка.

Для цитирования:
Заболотный, В. М. Предложения по улучшению организации перевозки оборудования для стоматологического кабинета из Китая в Россию / В. М. Заболотный, Н. А. Слободчиков // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – с. 29-39. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-29-39.

SUGGESTIONS FOR IMPROVING THE ORGANIZATION OF TRANSPORTATION OF DENTAL OFFICE EQUIPMENT FROM CHINA TO RUSSIA

V. M. Zabolotny, N. A. Slobodchikov
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article discusses the main aspects of the transportation of a dental unit, provides general information about it as a type of cargo. The characteristics of possible modes of transport and vehicles necessary for transportation are given. The technology of transportation of dental units is also described.

Keywords: dental unit, tariff, transportation organization, container transportation, sea transport, labeling, packaging.

For citation:
Zabolotny, V. M. Proposals for improving the organization of transportation of dental office equipment from China to Russia / V. M. Zabolotny, N. A. Slobodchikov // System analysis and logistics. – 2025. – № 4(47). – p. 29-39. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-29-39.

Введение

В настоящее время медицинский рынок России столкнулся с рядом трудностей, связанных с закупкой и обслуживанием специализированного оборудования. Основная проблема заключается в зависимости от импортных поставок, не осуществляемых законным путем в связи с санкциями в сторону Российской Федерации [1]. До 2022 года значительная часть стоматологических установок (например, немецкие Sirona, итальянские Castellini и американские SDS), завозилась из стран ЕС и США. Однако ограничения на прямые поставки, разрыв логистических цепочек и уход западных компаний с российского рынка привели к дефициту оборудования и росту цен на оставшиеся единицы техники.

Также появился вопрос, связанный с обслуживанием оборудования. Многие западные фирмы приостановили работу сервисных центров в России, что ограничило доступ к оригинальным запчастям и квалифицированному ремонту. Клиники вынуждены использовать несертифицированные аналоги деталей, что повышает риски поломок, приводящих к простою медицинских кабинетов.

Определение и характеристики груза

Стоматологическая установка – это аппаратный комплекс, который обеспечивают удобное проведение лечебных и профилактических процедур в ротовой полости пациента.

Комплекс создает комфортные условия для проведения стоматологических манипуляций как для самого больного, так и для врача, а также его ассистента [2].

Для перевозки была выбрана стоматологическая установка – Ajax AJ18, рис. 1.

Рис. 1. Стоматологическая установка Ajax AJ18 [3]

Транспортная характеристика стоматологической установки

Предлагается перевозить установки в универсальном контейнере типа 20DC (Dry cube), представляющий собой 20-футовый универсальный сухогрузный контейнер, соответствующий требованиям ISO и пригодный для международной транспортировки. Внутренние габариты контейнера: 5,90×2,35×2,39 м, объем ~33,2 м³, максимальная грузоподъемность ~25 000 кг.

С помощью стрейч-пленки из всех коробок и ящиков [4] формируется укрупненная грузовая единица, имеющая габариты Д×Ш×В 1670×1100×1150 мм и массу брутто 315 кг.

Стоматологическая установка состоит из нескольких блоков, каждый из которых требует отдельной упаковки (некоторые позиции можно объединять в одну). Используемые материалы: стрейч-пленка, воздушно пузырчатая плёнка, пенопласт, картон, стяжки и т. д, рис. 2.

Рис. 2. Пример упаковки блока врача

Коробки с оборудованием устанавливаются на 2 скрепленных между собой финн-паллета, габариты каждого Д×Ш×В 1200×1000×145 мм. Для фиксации внутри контейнера и минимизации возможности ударов установок друг об друга, между установками вкладываются крепежные мешки (пневмооболочки).

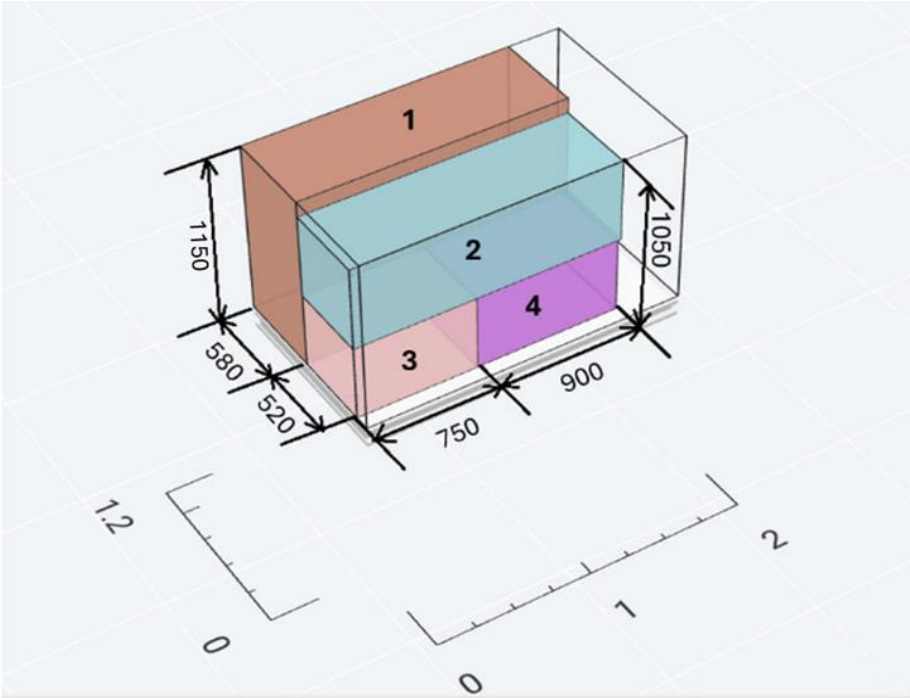


Рис. 3. Размеры и расположение груза на паллетах [5]

На схеме, изображённой на рисунке 3 номерами обозначены следующие блоки установки:

1 – Основание и сиденье кресла в деревянном ящике (1670×580×1150);

2 – Гидроблок, педали, кронштейны крепления лампы, блоков врача и ассистента в картонной коробке (1670×520×550);

3 – Компрессор в деревянном ящике либо картонной коробке (750×520×500);

4 – Подлокотники, блок управления, подголовник, лампа, кейс с инструментами, бухты кабелей и шлангов в картонной коробке (900×520×500).

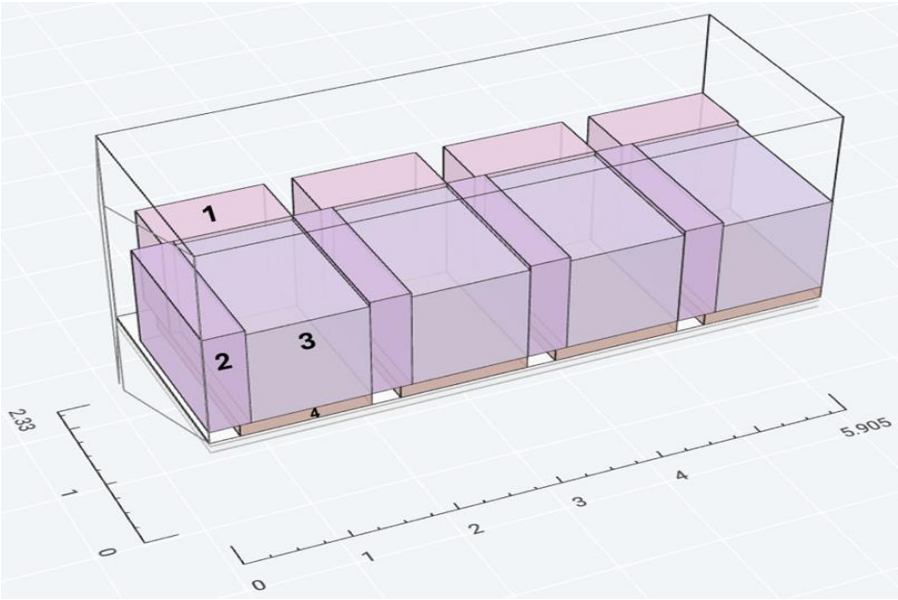


Рис. 4. Предложение расположения груза в 20-футовом контейнере [5]

При таком варианте загрузки контейнера предполагается использовать пневмооболочки, на рисунке 4 под номерами обозначен груз и используемые для перевозки средства:

1 – Пневмооболочка служащая распоркой между установками и стенкой контейнера;

2 – Пневмооболочка служащая распоркой между установками, а также дверьми контейнера;

3 – Блоки стоматологической установки, объединённые в одну грузовую единицу;

4 – Скрепленные финн-паллеты.

Определение маршрутов на различных видах транспорта

Между странами участниками перевозки возможны различные виды транспортного сообщения. Существует возможность перевозки как одним транспортом, так и комбинацией нескольких, учитывая географическое расположение стран. Город Гуанчжоу расположен в южной части Китая, к северо-западу от Гонконга, на берегу Южно-Китайского моря. В городе расположен одноименный порт, который является одним из крупнейших портов мира и оборудован для приема и отправки груза на различных видах судов [6].

Доставить установку необходимо в Санкт-Петербург, расположение которого предполагает возможность использования различных видов транспорта для перевозки.

В статье представлены 3 варианта маршрута:

Маршрут №1: Владивосток. Гуанчжоу – Владивосток (морской транспорт) – Санкт-Петербург (ж/д);

Маршрут №2: Суэцкий канал. Гуанчжоу – Санкт-Петербург (напрямую морским транспортом);

Маршрут №3: Суэцкий канал. Гуанчжоу – Новороссийск (морской транспорт) – Санкт-Петербург (автомобильный транспорт).

Доставка с перегрузкой во Владивостоке

В данном варианте рассматривается доставка груза из Гуанчжоу сначала морским транспортом до порта морского торгового порта Владивосток с перегрузкой на железную дорогу и дальнейшим следованием по транссибирской магистрали до Санкт-Петербурга.

Доставка можно разделить на четыре основных этапа, рис. 5:

1. Упаковка на заводе изготовителе и автомобильная перевозка до порта Гуанчжоу;
2. Морская перевозка из порта Гуанчжоу в морской торговый порт Владивосток;
3. Перегрузка в порту Владивостока;
4. Доставка из Владивостока в Санкт-Петербург.

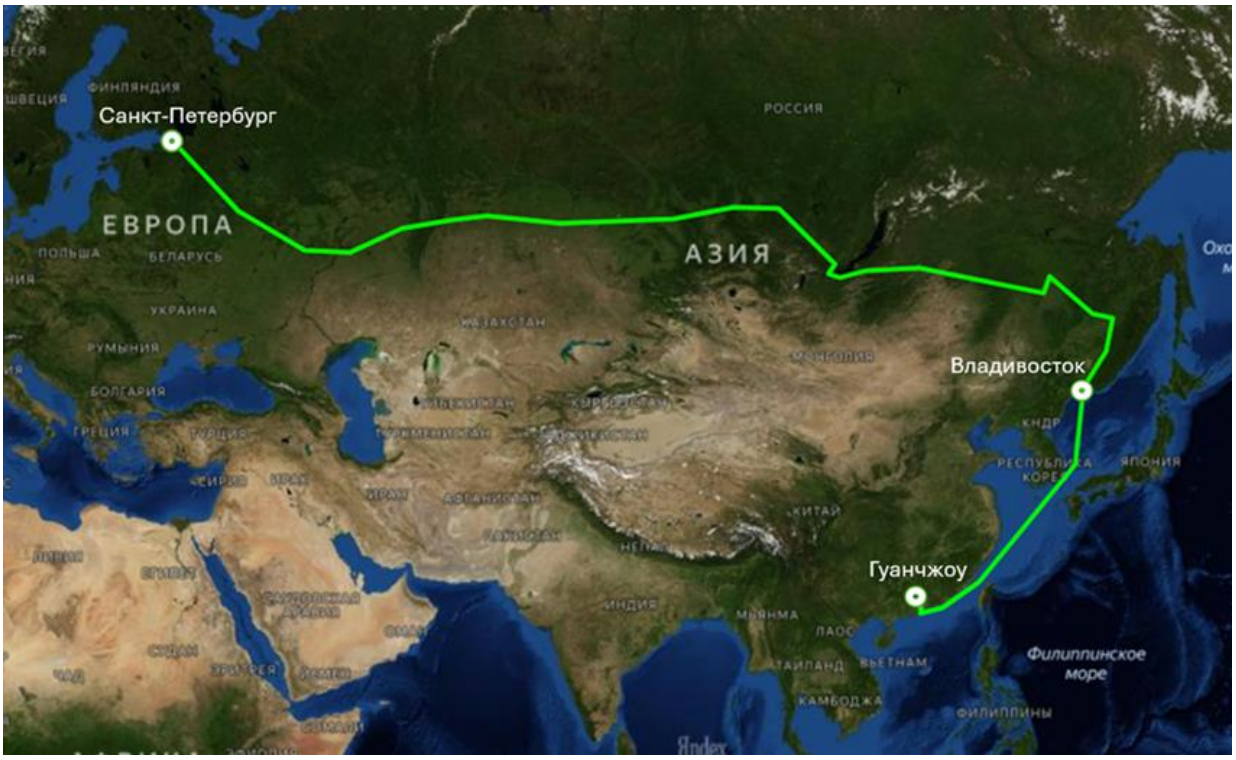


Рис. 5. Маршрут Гуанчжоу – Владивосток – Санкт-Петербург

Точкой отправки был выбран завод изготовитель стоматологического оборудования фирмы Ajax – Guangzhou Medical Equipment Factory и находится под управлением компании Guangzhou Bai Tang Medical Instrument Co., Ltd расположенный в Хуанпу – районе городского подчинения города Гуанчжоу провинции Гуандун. Пунктом назначения груза будет порт Гуанчжоу, Guangzhou South China Oceangate Container Terminal, находящийся по адресу China, Guangdong Province, Guangzhou, Nansha District, 511464.

В порту контейнер перегружается на судно и отправляется по маршруту до России одним из судов регулярных линий Российской компании FESCO (fesco diomid) [7].

В порту Владивостока выполняются перегрузочные операции, оформление документов и погрузка контейнеров на железнодорожный состав для дальнейшей транспортировки.

Доставка из Владивостока в Санкт-Петербург осуществляется напрямую железной дорогой по Транссибирской магистрали, дальше груз перегружается на автомобиль и перевозится на склад либо напрямую заказчику.

На железнодорожном транспорте для перевозки была выбрана 4-осная фитинговая платформа 13–2118 для перевозки большегрузных контейнеров, рис. 6.

Рис. 6. Платформа 13–2118

Платформа предназначена для перевозки крупнотоннажных контейнеров, включает в себя раму, двухосные тележки, автосцепное устройство, пневматический автоматический тормоз с раздельным потележечным торможением, стояночный тормоз. Укомплектована откидывающимися упорами для перевозки контейнеров. [8]

Общее время маршрута: 34-36 дней.

Общее расстояние: 13.0068 км.

Прямая доставка до Санкт-Петербурга через Суэцкий канал

В этом варианте рассматривается перевозка с погрузкой контейнера на территории перегрузочного комплекса порта Гуанчжоу и выгрузкой в автомобильный полуприцеп в Большом порту Санкт-Петербурга, рис. 7.

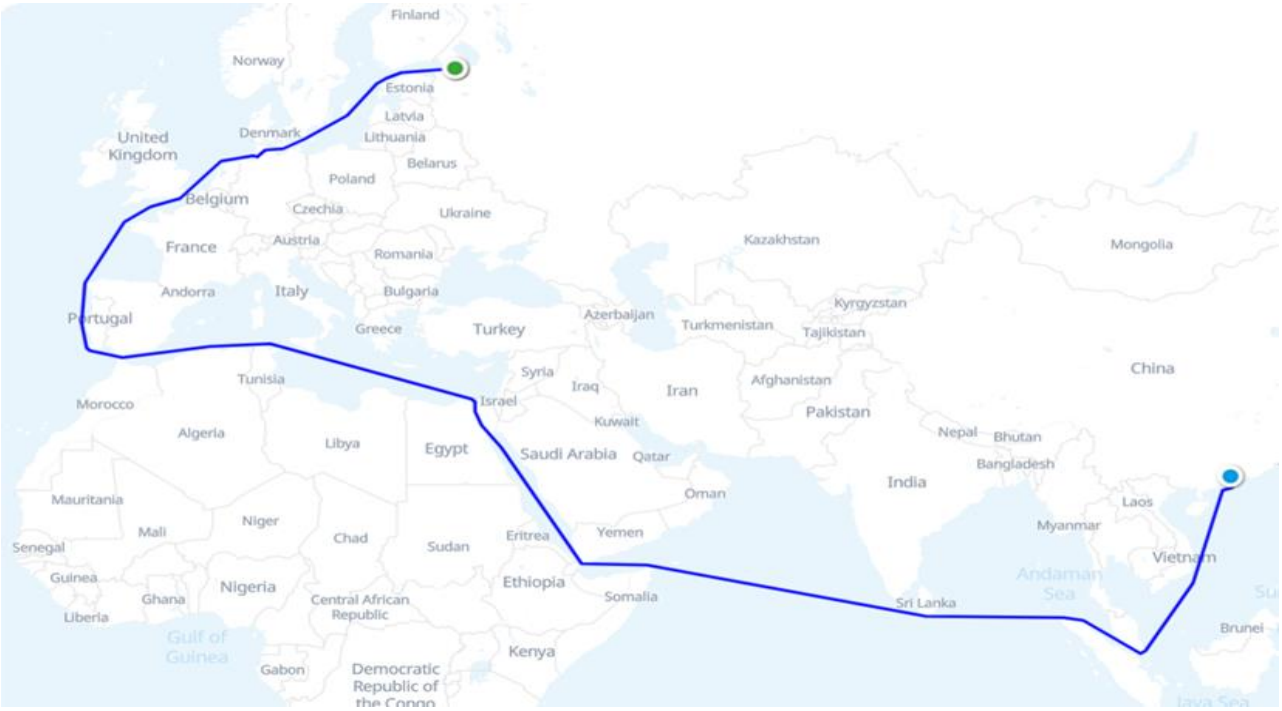


Рис. 7. Маршрут из порта Гуанчжоу в Большой порт Санкт-Петербург

Для этого маршрута рассмотрен вариант перевозки Китайской компанией Cosco Shipping Lines, на судне XIN YA ZHOU [9], рис. 8.

Рис. 8. Судно XIN YA ZHOU компании Cosco Shipping

По расчетам протяженность такого маршрута составляет 11073 морские мили (20507,2 км).

Среднее время в пути 33 дня, при средней крейсерной скорости 14 узлов [10].

Доставка с перегрузкой в Новороссийске

В этом разделе рассматривается альтернативный маршрут, как и в случае доставки напрямую до Санкт-Петербурга, контейнер с грузом на судне следует по маршруту через суэцкий канал, но после него проходит через пролив Босфор в черное море, на побережье которого располагается Морской порт Новороссийск.

Данный вариант перевозки разделен на три этапа, рис. 10:

1) Доставка груза из Гуанчжоу в Морской порт Новороссийск;
2) Перевалка груза на другой вид транспорта;
3) Перевозка из Новороссийска до склада в Санкт-Петербурге;

Рис. 9. Маршрут из Гуанчжоу в Санкт-Петербург через Новороссийск

В данном варианте будет рассматриваться Российская судоходная компания FESCO, так как она имеет регулярные рейсы до порта Новороссийск. Судно, подходящее для этой перевозки HT JOURNEY [7], рис. 11.

Рис. 10. Судно HT JOURNEY компании FESCO

После прибытия контейнеровоза из Гуанчжоу судно швартуется у одного из терминалов. Козловыми или портальными кранами со спредерами, контейнеры снимаются с судна и переносятся на причал. Средняя производительность составляет до 30–40 контейнеров в час на один кран.

После выгрузки с судна при помощи специальных прицепов контейнеры перевозятся в зону временного хранения. До прохождения таможенного оформления контейнеры размещаются на специальных площадках, оборудованных кранами и контейнерными штабелерами. Время хранения на этом этапе от 12 часов до нескольких суток.

К перевозке предлагается тягач MAN TGX 18.440 4x2 BLS, с полуприцепом-контейнеровозом Тонар К3-40. Ниже представлены их внешний вид, рис. 12, 13.

Рис. 11. Тягач MAN TGX 18.440 4x2 BLS

Рис. 12. Полуприцеп контейнеровоз Тонар К3-40 [11]

На территории перегрузочного комплекса порта контейнер погружается на прицеп. Длительность этого процесса зависит от внешних условий и наличия оборудования и обычно занимает от 20 минут до 1 часа.

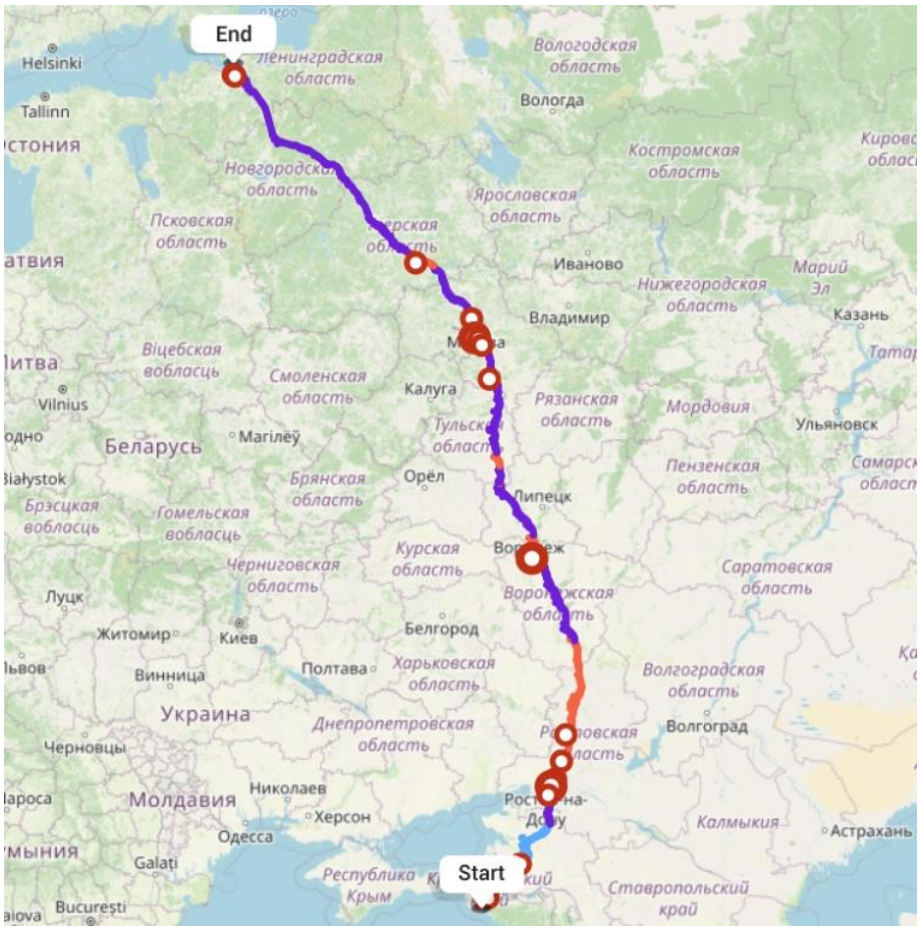


Рис. 13. Автомобильный маршрут Новороссийск – Санкт-Петербург

Маршрут проходит через трассы М4, М10 и М11, финальная точка маршрута склад Би Лоджистик в городе Санкт-Петербург

Общая протяженность маршрута: 16.639 км.

Время в пути с учетом отдыха водителя и времени на разгрузку: 27-29 дней.

Сравнение вариантов перевозки

Для наглядности и удобства сравнения все основные характеристики рассмотренных в статье маршрутов были собраны в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики рассмотренных маршрутов

№ маршрута	Виды транспорта	Количество и наименование подвижного состава	Общая протяженность, км	Общее время в пути, дней
№1 Владивосток. Гуанчжоу – Владивосток– Санкт-Петербург	Порт Гуанчжоу – Морской торговый порт Владивосток (морской транспорт)	Судно FESCO DIOMID (IMO 9365295)	13.068	34-36
	Владивосток – Санкт-Петербург (железнодорожный транспорт)	4-осная фитинговая платформа 13–2118		
№2 Суэцкий канал. Гуанчжоу – Санкт-Петербург	Порт Гуанчжоу – Большой порт Санкт-Петербург (морской транспорт)	Судно XIN YA ZHOU (IMO 9334935)	20.507	33
№3 Суэцкий канал. Гуанчжоу – Новороссийск – Санкт-Петербург	Порт Гуанчжоу – Морской порт Новороссийск (морской транспорт)	Судно FESCO HT JOURNEY (IMO 9208174)	16.639	27-29
	Новороссийск – Санкт-Петербург (автомобильный транспорт)	Тягач MAN TGX 18.440 4x2 BLS, с полуприцепом-контейнеровозом Тонар К3-40		

Заключение

Прямой маршрут через суэцкий канал наиболее простой из всех и подходит, когда требуется минимальное наблюдение за грузом, по срокам имеет среднее значение.

Вариант доставки через Новороссийск применим, когда товар требуется в более сжатые сроки, так как из представленных вариантов этот является самым быстрым. Также при необходимости, в зависимости от погодных условий и ситуации на дорогах, автомобильная часть маршрута может быть заменена железнодорожной, следовательно маршрут является наиболее универсальным.

Маршрут перевозки через Владивосток является наиболее популярным, Российские и Китайские морскими линиями контейнеры регулярно доставляются из основных портов Китая, следовательно такой маршрут наиболее подходит для постоянных поставок оборудования, где ключевым фактором выступает стабильность, хоть и является самым долгим вариантом из перечисленных.

Таким образом, выбор между маршрутами должен основываться на приоритетах получателя. Каждый из маршрутов обладает своими преимуществами и недостатками, все они отличаются по срокам доставки, а также по общей протяженности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ZERTS. Санкции на медицинское оборудование. Последствия и перспективы [Электронный ресурс]. – URL: https://zerts.ru/informatsionnyy-tsentr/stati/1548/?ysclid=m9jpvdxv8n851152644 (дата обращения: 25.04.2025).
2. Медтехника. Виды стоматологических установок и принципы их работы [Электронный ресурс]. – URL: https://mtrb.ru/statii/vidy-stomatologicheskikh-ustanovok-i-printsipy-ikh-raboty/?ysclid=m9j2j2bnch339397526 (дата обращения: 16.05.2025).

3. Стоматологическая установка Ajax AJ18 [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.ajaxdent.com/products/aj18-dental-unit/ (дата обращения: 16.05.2025).
4. ГОСТ 2991–85. Ящики дощатые для грузов массой до 500 кг. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1985. – 8 с.
5. Планирование размещения груза в контейнере [Электронный ресурс]. – URL: https://jload.me/ (дата обращения: 16.05.2025).
6. РУВИКИ – новая открытая интернет-энциклопедия. Гуанчжоу [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%93%D1%83%D0%B0%D0%BD%D1%87%D0%B6%D0%BE%D1%83 (дата обращения: 16.05.2025).
7. FESCO. Морские перевозки из Китая в Россию [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fesco.ru/ru/clients/container/line/fcdl/#regular-route (дата обращения: 24.05.2025).
8. Вагон.by. Фитинговая платформа для крупнотоннажных контейнеров модель 13-2118 [Электронный ресурс]. – URL: https://vagon.by/model/13-2118 (дата обращения: 24.05.2025).
9. COSCO Shipping Lines VESSELS [Электронный ресурс]. – URL: https://lines.coscoshipping.com/home/Services/ship/2 (дата обращения: 25.05.2025).
10. Sea distances. Расчёт времени пути судна [Электронный ресурс]. – URL: https://sea-distances.org/ (дата обращения: 28.05.2025).
11. Тонар. Полуприцепы контейнеровозы [Электронный ресурс]. – URL: https://tonar.info/catalog/polupricepy-kontejnerovozy/ (дата обращения: 28.05.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Заболотный Вадим Михайлович
Студент
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: zabolotnyy_03@mail.ru

Слободчиков Николай Александрович
Профессор, канд. воен. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: kola_slob@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zabolotnyi Vadim Mikhailovich
Student
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: zabolotnyy_03@mail.ru

Slobodchikov Nikolay Aleksandrovich
Professor, Candidate of Military Sciences, Professor
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: kola_slob@mail.ru

Дата поступления: 16.08.2025
Дата принятия: 29.09.2025

УДК 629.7.02 DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-40-48

АНАЛИЗ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Ю. А. Силин, Н. Н. Майоров
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В исследовании проводится сравнительный анализ конфигураций беспилотных авиационных систем (БАС) с целью поиска оптимального решения задачи доставки грузов в условиях городской среды. В работе обосновывается выбор соосной мультироторной схемы беспилотной авиационной системы как наиболее предпочтительной благодаря преимуществам, позволяющим использовать указанный тип в условиях городской среды. Кроме того, рассматривается аппаратная часть беспилотной системы, включая сравнительный анализ конкретных комплектующих: рамы, полетного контроллера, двигателей, регуляторов оборотов и системы радиосвязи. Особое внимание уделено анализу полетного контроллера и гироскопа для обеспечения стабильной работы соосной системы. Помимо этого, представлен сравнительный анализ различных типов грузовых контейнеров, включая решения с активным охлаждением, для транспортировки грузов, требующих соблюдения специального температурного режима.

Ключевые слова: доставка грузов, городская логистика, беспилотные авиационные системы, соосная схема, доставка грузов с помощью БАС.

Для цитирования:
Силин, Ю. А. Анализ аппаратного обеспечения беспилотной авиационной системы для решения доставки грузов в условиях городской среды / Н. Н. Майоров, Ю. А. Силин // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – с. 40-48. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-40-48.

HARDWARE ANALYSIS OF AN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM FOR CARGO DELIVERY SOLUTIONS IN AN URBAN ENVIRONMENT

Yu. A. Silin, N. N. Maiorov
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The study provides a comparative analysis of configurations of unmanned aircraft systems (UAV) in order to find the optimal solution to the problem of cargo delivery in an urban environment. The paper substantiates the choice of a coaxial multirotor scheme for an unmanned aircraft system as the most preferable due to the advantages that allow using this type in an urban environment. In addition, the hardware of the unmanned system is being considered, including a comparative analysis of specific components: the frame, flight controller, engines, speed controls and radio communication system. Special attention is paid to the analysis of the flight controller and gyroscope to ensure stable operation of the coaxial system. In addition, a comparative analysis of various types of cargo containers, including actively cooled solutions for the transportation of goods requiring special temperature conditions, is presented.

Keywords: cargo delivery, urban logistics, unmanned aircraft systems, coaxial scheme, cargo delivery using UAV.

For citation:
Silin, Yu. A. Hardware analysis of an unmanned aircraft system for cargo delivery solutions in an urban environment/ Yu. A. Silin, N. N. Maiorov // System analysis and logistics. – 2025. – № 4(47). – p. 40-48. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-40-48.

Введение

Современные мегаполисы сталкиваются с возрастающей нагрузкой на транспортную инфраструктуру, что особенно остро проявляется в сфере грузоперевозок. Традиционные методы доставки, зависящие от человеческого фактора и ограниченные пропускной способностью дорог, зачастую не справляются с растущими потребностями городской логистики. Особую сложность представляет транспортировка специальных грузов – медицинских препаратов, опасных веществ, ценных или хрупких предметов, требующих строгого соблюдения условий перевозки, безопасности и точных сроков доставки [1]. На текущий момент проблема несохранности грузов при транспортировке из-за несоблюдения

температурного режима остается одной их самых актуальных. Чаще всего подвергаются порче медикаменты, так как допустимая температура для транспортировки может иметь диапазон всего лишь 1°С. Доставка при помощи беспилотных авиационных систем активно развивается, благодаря чему расстояние осуществления доставки могут достигать сотни километров. Несмотря на высокую скорость доставки, термоизоляционные контейнеры могут уже не справляться с поддержанием груза в кондиционном состоянии.

Беспилотные авиационные системы способны обеспечить оперативную транспортировку товаров первой необходимости, включая предметы медицинского назначения, фармацевтические и биологические средства, продукты питания, посылки и другие малогабаритные грузы [2,3,4]. Сроки доставки с помощью беспилотных авиационных систем гораздо ниже по сравнению с перевозкой наземным транспортом, поскольку исключаются факторы бездорожья и затрудненного движения [5]. Ключевой задачей при организации городских грузоперевозок с помощью беспилотных авиационных систем является точный подбор аппаратного обеспечения, исходя из целевых параметров доставки. Особое внимание необходимо уделить детальному рассмотрению аппаратного и приборного обеспечения, как приведено в работах [6,7,8]. Эффективность всей логистической цепи напрямую зависит от корректного выбора дронов по таким критериям, как грузоподъемность, дальность полета, тип двигателя, энергоемкость батареи, отказоустойчивость и способность работать в сложных погодных условиях.

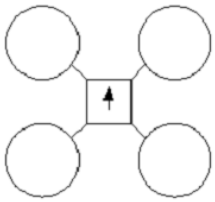
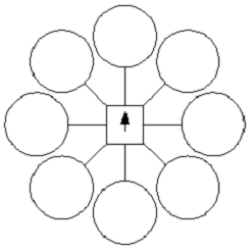
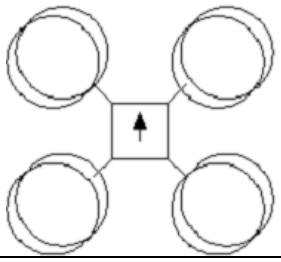
Модели и методы.

2.1 Сравнительный анализ конфигураций беспилотных авиационных систем

Популярность соосных мультироторных беспилотных авиационных систем обусловлена их компактностью при заданной конфигурацией грузоподъемности и высокой стабильности полета [3,9,10]. Внедрение беспилотной системы, к примеру, в транспортный процесс, или отдельный технологической процесс, создает новую практику, успешность которой непременно приводит к полноценному последующему внедрению беспилотной авиационной системы. Для задач логистики, городских систем, новые решения находятся в сфере применения мультироторных беспилотных систем, при том, что за счет возможности размещения различных моделей полезной нагрузки, беспилотная авиационная система может передавать данные между различными участками систем связи, выступать определенным мостом в информационных сетах. Одним из таких решений является использование беспилотной авиационной системы в задачах «Бесшовной связи», когда беспилотник встроен в единое пространство обмена данными [11]. Другим примером может служить построение систем доставки грузов в городах, мегаполисах, на основе беспилотных авиационных систем, задачи аэрологистики. В данном случае крайне важной задачей будет определение необходимых грузопотоков, моделей полезной нагрузки, аппаратных комплексов, которые обеспечат сохранность грузов на борту во время полета и необходимые объемы доставок.

Несмотря на сложность конструкции, данные системы востребованы в задачах аэросъемки, мониторинга и при решении задач, где требуется значительная тяга при ограниченных габаритах дрона. Общий сравнительный анализ основных конфигураций представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение квадрокоптеров, октокоптеров и соосных октокоптеров

	Квадрокоптеры	Октокоптеры	Соосные октокоптеры
Принципиальная схема			
Преимущества	простота сборки; доступность комплектующих; небольшие габариты	большая грузоподъёмность; длительное время полета	небольшие габариты; большая грузоподъемность; высокая устойчивость во время полета; устойчивы к падениям; длительно время полета
Недостатки	небольшая грузоподъемность; недостаточная длительность полета	большие габариты; сложность в изготовлении; низкая маневренность	сложность в изготовлении; сложность настройки
Особенности	При небольших габаритах имеют высокую маневренность	Могут совершить безопасную посадку при отказе 4-х двигателей. В отдельных случаях при отказе 5-ти.	

Исходя из представленной выше таблицы 1, можно сделать вывод, что октокоптеры соосного типа являются наиболее оптимальными для решения задачи доставки грузов в условиях городской среды. Высокая грузоподъемность, длительное время полета, небольшие габариты и возможность осуществления безопасной посадки в случае отказа до 60% бортового оборудования дает преимущество над другими типами БАС.

2.2 Сравнительный анализ комплектующих беспилотных авиационных систем

Наиболее оптимальной конфигурацией для выполнения поставленных задач является БАС мультироторного типа с соосной схемой расположения двигателей X2. В первую очередь, необходимо выбрать основную силовую установку - раму. Рама должна иметь возможность установки соосной системы, быть прочной и легкой. Наиболее оптимальным вариантом для реализации проекта является карбоновая рама под 10-ти дюймовый пропеллер Diatone kn-104 (рис.1).

Рис. 1. Рама Diatone kn-104

Размер пропеллера 10 дюймов соответствует 450-му классу квадрокоптеров. Выбор данного класса обусловлен оптимальным соотношением габаритов и тяги. Кроме того, важную роль играет доступность комплектующих.

На рамы более 10-ти дюймов, например, 13 и 17 ставят двигатели с потреблением выше 65а. Ближайший доступный регулятор оборотов t-motor flame выдает 90а [12, 13], но имеет вес в 12 раз больше, чем регулятор на 65а для 10-ти дюймов, что делает на данный момент не выгодным сборку 13 и 17 дюймового квадрокоптера. А квадрокоптеры под пропеллер больше 17 дюймов уже слишком большие для городской среды. Квадркоптеры под пропеллер меньше 10-ти дюймов имеют недостаточную грузоподъемность. Именно поэтому использование 450-го класса являются оптимальными для данного проекта.

Рама Diatone kn-104 имеет несколько важный преимуществ:

1) Возможность установки двух аккумуляторов. Позволит использовать 2 параллельно подключенных аккумулятора, что позволит получить максимальное время полета.
2) Лучи, изготовленные из карбоновых труб. Такие лучи имеют хорошую прочность и обтекаемость, по сравнению с лучами, выпиленными из карбонового листа.
3) Внешнее расположение регуляторов оборотов. Позволяет установить по 2 регулятора на луч, а также обеспечивает хорошее охлаждение во время работы.

2.3 Полетный контроллер

Для надежности всей сборки большинство компонентов дублируются. Моторы, регуляторы оборотов, видеосистема, радиосвязь. Полетный контроллер является связующим звеном для всей периферии, и его дублирование на данный момент не представляется возможным. Поэтому необходимо выбрать полетный контроллер, который находится в премиальном ценовом сегменте и соответствует необходимым требованиям. Соосные двигатели, расположенный на одном луче, имеют разное направление вращения, что создает ряд высокочастотных и низкочастотных колебаний, которых нет в других типах БАС. Данные колебания являются шумами, так как перегружают гироскоп и усложняют работу ПИД-регулятора [14]. Если не уделить внимание данной особенности, то при запуске на стандартных настройках, беспилотник может начать неконтролируемый полет. Кроме того, может произойти перегрев двигателей и возгорание регуляторов оборотов.

Во избежание данных последствий необходимо выбрать качественный полетный контроллер, гироскоп которого не будет перегружаться от лишних шумов, а центральный процессор сможет обеспечить нормальную работу ПИД – регулятора.

На данный момент наиболее распространены гироскопы серии MPU6000, BMI270 и

ICM42688. Наиболее стабильно показывает себя гироскоп MPU6000, но, к сожалению, данный гироскоп с 2017 года компании, производящие электронику, объявили его нежелательным, так как не поддерживает частоты считывания данных до 32 Кгц, как например ICM42688. Для БАС не нужны такие частоты. На частотах свыше 8 Кгц идет слишком сильная нагрузка на ЦП (центральный процессор) и ПИД-регулятор не может справиться с таким количеством данных. Даже не смотря на все положительные характеристики, MPU6000 практически не встретить в новых моделях полетных контроллеров. Гироскопы серий IMC и BMI очень восприимчивы к электронным помехам. Именно поэтому полетные контроллеры с данными гироскопами очень сложно настраивать, а в некоторых случаях практически невозможно. Данные гироскопы требуют очень качественного понижающего преобразователя на 3.3 В, что, к сожалению, встречается только в полетных контроллерах премиального ценового сегмента. Таким образом, для сборки БАС соосного типа необходимо использовать только полетные контроллеры с гироскопом MPU6000. Наиболее подходящие модели: Diatone Mamba F405MK2 V2, Matek h743 slim v3 [15,16], приведенные на рис. 2, holybro kakute h7 v1.3. Данные модели имеют практически схожие характеристики, однако Matek h743 slim v3 имеет преимущества:

1) Наличие двух гироскопов MPU6000 и ICM20602, что позволяет получить максимально чистые данные, на обработку которых ЦП потратит минимум времени, что благоприятно отразится на летных характеристиках.
2) Возможность переключения между двумя камерами, что в дальнейшем будет полезно для реализации автономного полета.

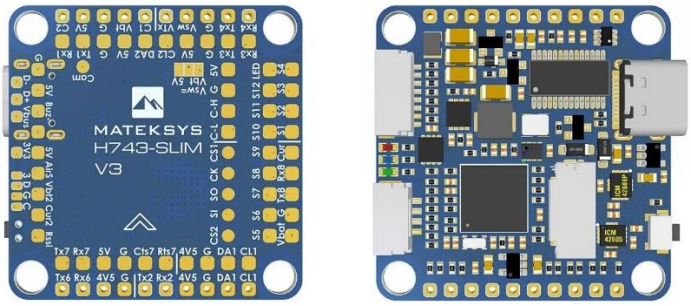


Рис. 2. Полетный контроллер Matek h743 slim v3

Подходящим и доступными являются регуляторы оборотов diatone kn, как приведено на рис. 3. Данные регуляторы поддерживают ток 65а и напряжение от 16 до 26в, что делает их подходящими для данной сборки.

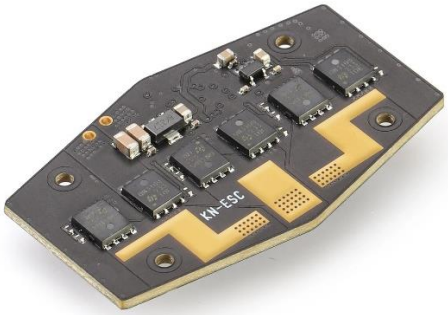


Рис. 3. Регулятор оборотов Diatone Kn

Двигатель под данную раму выбран Diatone kn-3214 730kv (рис. 4). Данный двигатель рассчитан под пропеллер 10 дюймов. Имеет запас тяги 4 кг при потреблении тока 59а, что делает его подходящим для данной сборки.

Рис. 4. Мотор Diatone kn-3214 730kv

2.4 Системы радиосвязи

На данный момент актуальны 2 пользовательские системы радиосвязи ExpressLRS и TBS Crossfire. Сравнительный аналир представлен в таблице 2.

Таблица 2 – сравнение TBS Crossfire и ExpressLRS

Параметр	TBS Crossfire	ExpressLRS
Основная частота	868 МГц, 915 МГц	868 МГц, 915 МГц, 2.4 ГГц
Дальность	До 40+ км (LQ 100%)	До 20+ км (2.4 ГГц), 40+ км (900 МГц)
Помехоустойчивость	Очень высокая (низкая частота)	Высокая (2.4 ГГц чуть хуже в городе)
Количество пакетов	4, 50, 100, 150	50, 100, 150, 250, 333, 500, 1000
Максимальная мощность радиопередатчика	2 Ватта	1 Ватт
Мощность передачи телеметрии	500 мВатт	500 мВатт

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что TBS Crossfire больше подходит для реализации проекта. Возможность динамического изменения числа передающихся пакетов существенно повышает дальность полета.

Заключение

Анализ полезной нагрузки для решения доставки грузов

Полностью готовых решений модулей, отвечающих требованиям доставки грузов, имеющих особые требования к температурному режиму, на данный момент не существует, поэтому в работе будут рассмотрены возможные варианты универсальных и узкоспециальных модулей для доставки различных грузов при помощи квадрокоптера. Контейнеры для грузов, требующих соблюдения специального температурного режима, являются узкоспециальными и используются для транспортировки медикаментов и скоропортящихся продуктов и подразделяются на 3 основных типа: термоизоляционные контейнеры; контейнеры с сухим льдом; контейнеры с наличием охлаждающего элемента. Сравнительный анализ грузовых контейнеров для беспилотных авиационных систем представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение грузовых контейнеров для БАС.

Параметр	Контейнер с активным охлаждением	Аналог компании Zipline	Изотермические контейнеры
Точность доставки	Квадрокоптер точно приземлится в указанную точку	Контейнер сбрасывается на парашюте, что значительно снижает точность	Контейнер сбрасывается на парашюте, что значительно снижает точность
Возможность регулирования температуры	Есть	Нет	Нет
Время автономной работы	Зависит от аккумулятора	Зависит от количества сухого льда	2-10 часов
Диапазон создаваемых температур	От 23 ◦C до -6 ◦C	До -70 ◦C	До -70
Материал корпуса	Пластик	Картон	Пластик, металл
Охлаждающий элемент	Элементы Пельтье	Сухой лёд	-

Анализ конфигураций мультироторных БАС показал, что соосные октокоптеры обладают оптимальными характеристиками для городской среды: высокой грузоподъемностью, устойчивостью, длительным временем полета и возможностью безопасной посадки при частичном отказе двигателей. В качестве базовой платформы выбрана карбоновая рама Diatone KN-104 под 10-дюймовые пропеллеры, обеспечивающая баланс между габаритами, тягой и.

Для управления БАС рекомендован полетный контроллер Matek H743 Slim V3 с гироскопом MPU6000, обладающий высокой помехоустойчивостью и возможностью переключения между камерами. В качестве силовой установки выбраны двигатели Diatone KN-3214 730KV и регуляторы оборотов Diatone KN, поддерживающие ток до 65A. Для осуществления радиосвязи выбрана TBS Crossfire, которая обеспечивает надежную передачу данных на дальние расстояния.

В качестве полезной нагрузки рассмотрены универсальные и специализированные модули, включая термоизолированные контейнеры с элементами Пельтье, что может быть необходимым для доставки медикаментов и скоропортящихся продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Добровольская А. А*. Исследование применения данных от беспилотных систем для развития микромобильности и модернизации городской инфраструктуры / А. А. Добровольская // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXIV Международной научной конференции. В 3-х частях, часть 1. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 189-194.
2. *Силин Ю. А.* Разработка изотермического контейнера для реализации доставки специальных грузов при помощи беспилотной авиационной системы / А. С. Костин, Ю. А. Силин, А. В. Бахмутская // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXV Международной научной конференции. В 3-х частях,

часть 3. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 187-194.
3. *Костин А. С.* Модели и методы формирования маршрута движения беспилотной системы с учетом зон ограничений / А. С. Костин, А. И. Болотова, Е. А. Вознесенский // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXVIII Международной научной конференции. В 3-х частях. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 164-168.
4. *Майоров Н. Н.* Модели маршрутизации автономной беспилотной системы для решения задач идентификации объектов на складе / Н. Н. Майоров, А. С. Костин // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXVIII Международной научной конференции. В 3-х частях. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 174-178.
5. *Костин А. С.* Моделирование процесса доставки грузов беспилотной авиационной системой в границах района города / А. С. Костин, Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Четвертая Международная научная конференция. Часть 1. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 211-219. – DOI 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-211-219.
6. *Костин А. С.* Исследование аппаратных комплексов и программных методов автономной идентификации мест посадки беспилотных авиационных систем / А. С. Костин // Датчики и системы. – 2023. – № 4-1(269). – С. 10-16. – DOI: 10.25728/datsys.2023.4.1.2.
7. *Outay F.* Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges / F. Outay, H. A. Mengash, M. Adnan // Transportation research part A: policy and practice. – 2020. – Vol. 141. – P. 116–129.
8. *Wei X.* Distributed path planning of unmanned aerial vehicle communication chain based on dual decomposition / X. Wei, J. Xu // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2021. – Vol. 2021. – № 2. – P. 1-12. – DOI: 10.1155/2021/6661926.
9. *Dobrovolskaia A. A.* Research the application of data from unmanned systems for the development of micromobility and modernization of urban infrastructure // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – St. Petersburg, 2021. – 4 p. DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470674.
10. *Kostin A.S.* Models and methods for implementing the automous performance of transportation tasks using a drone // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – St. Petersburg, 2021. – 4 p. DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470584.
11. *Olenev V. L.* Broadcast Propagation Time in SpaceFibre Networks with Various Types of Spatial Redundancy / V. L. Olenev, E. A. Suvorova, N. Chumakova // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 13. –29 p. – DOI 10.3390/s23136161.
12. *Silin Y. A., Silina A. A.* Achieving Optimal Flight Characteristics for Coaxial-Type Unmanned Aircraft Systems by Adjusting the Pid-Controller // 2025 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – St. Petersburg, 2025. – p. 1-5.
13. Modelavia. T-motor flame [Электронный ресурс]. – URL: https://modelavia.pro/regulyatoryi-skorosti/t-motor/regulyator-skorosti-t-motor-flame-60a-12s-v2.0-esc.html (дата обращения: 24.05.2025).
14. Конфигуратор Betaflight [Электронный ресурс]. – URL: https://betaflight.com (дата обращения: 15.02.2025).
15. Mateksys. Контроллер полета Matek H743 Slim V3 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mateksys.com/?portfolio=h743-slim (дата обращения: 17.02.2025).
16. *Костин А. С., Силин Ю. А.* Особенности доставки специальных грузов в изотермическом контейнере при помощи беспилотных авиационных систем //

Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сборник статей XXV Международной научной конференции. В 3-х частях, часть 3. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 195-202.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Силин Юрий Андреевич
Аспирант кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: foto2001u@mail.ru

Майоров Николай Николаевич
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: nnm@guap.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Silin Yuri Andreevich
Postgraduate student of the Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: foto2001u@mail.ru

Maiorov Nikolai Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: nnm@guap.ru

Дата поступления: 16.09.2025
Дата принятия: 29.09.2025