

MODELING THE TECHNOLOGY OF LOADING AND UNLOADING OF PERISHABLE GOODS IN A SEAPORT

I. V. Zub, G. D. Kasatkin, A. K. Afanasyev

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The handling and safety of perishable goods are key tasks in seaport operations. Perishable goods are primarily transported using specialized vehicles or insulated containers designed to maintain a specific temperature regime. These goods include seafood delivered to ports by ships equipped with refrigeration systems. Schedules are developed for processing refrigerated vessels, specifying timeframes for loading and unloading operations based on available lifting and transport equipment as well as vehicles for transporting seafood to storage facilities or consumers. The fleet of lifting and transport equipment significantly influences port operation schemes, cargo turnover, technological process costs, port throughput capacity, and warehouse storage capacity. Automation in lifting and transport equipment partially eliminates human factors from technological processes, thereby improving efficiency but potentially reducing vehicle handling speed. Modeling serves as an effective method for identifying problem areas. Prolonged loading and unloading times beyond scheduled limits or extended exposure of seafood on docks—particularly during summer—adversely impact quality characteristics; thus, minimizing outdoor exposure time is crucial. During modeling of loading and unloading technologies, specific technological operations affecting perishable goods' quality characteristics were identified. Petri nets were employed to simulate these technological processes. The analysis of simulation results revealed not only problem areas but also conflict situations that can be addressed through situational management and adjustments in loading/unloading technologies. Vehicle processing efficiency—apart from that influenced by lifting and transport equipment—is managed via an information system that ensures timely data processing, directly impacting decision-making speed in conflict scenarios.

Keywords: seaport, refrigerated cargo, loading and unloading operations, Petri nets, vehicles, refrigerated vessels, lifting and transport equipment, transshipment of perishable goods.

For citation:

Zub, Igor V., G. D. Kasatkin and A. K. Afanasyev “Modeling of the technology of loading and unloading of perishable goods in a seaport.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.2 (2025): 185–194. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-185-194.

УДК: 656.613.1, 656.614.35

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ В МОРСКОМ ПОРТУ

И. В. Зуб, Г. Д. Касаткин, А. К. Афанасьев

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой работы является исследование одной из задач морского порта, к которой относится обработка и сохранность скоропортящихся грузов. Отмечается, что скоропортящиеся грузы в основном перевозятся специальным транспортом или в специальной изотермической таре, способной поддерживать заданный температурный режим. К таким грузам относятся также морепродукты, доставляемые в порт судами, имеющими рефрижераторную установку. Обращается внимание на то, что для обработки рефрижераторных судов разрабатываются планы-графики, в которых указывается время, определяемое для выполнения погрузочно-разгрузочных операций, зависящее от используемого подъемно-транспортного оборудования и наличия транспортных средств для перевозки морепродуктов к месту хранения или потребителю. При этом парк подъемно-транспортного оборудования оказывает влияние на технологические схемы работы порта, грузооборот, себестоимость технологических процессов, пропускную способность

порта и емкость склада. Подчеркивается, что погрузочно-разгрузочные работы, превышающие время, указанное в плане-графике или при нахождении морепродуктов на причале в течение длительного времени, особенно в летний период, оказывают негативное влияние на качественные характеристики, для сохранения которых время нахождения на открытом воздухе должно быть сведено к минимуму. В процессе моделирования технологии погрузочно-разгрузочных работ выявлены технологические операции, которые могут оказать влияние на качественные характеристики скоропортящихся грузов. В данной работе рассмотрен один из способов выявления проблемы, связанной со снижением скорости обработки транспортных средств, в частности с частичным исключением из технологического процесса человеческого фактора в процессе автоматизации подъемно-транспортного оборудования, такой как моделирование технологического процесса погрузочно-разгрузочных работ с использованием аппарата сетей Петри. Анализ результатов моделирования позволил выявить не только проблемные зоны, но и определить вопросы, которые можно решить с помощью ситуационного управления и корректировки технологии погрузочно-разгрузочных работ. Выполненные операции подтверждают, что от используемой информационной системы, с помощью которой осуществляется обработка парка подъемно-транспортного оборудования, зависит оперативность поступающей информации, оказывающей влияние на скорость принятия решений в возникающих конфликтных ситуациях.

Ключевые слова: морской порт, рефрижераторные грузы, погрузочно-разгрузочные работы, сети Петри, транспортные средства, рефрижераторные суда, подъемно-транспортное оборудование, перегрузка скоропортящихся грузов.

Для цитирования:

Зуб И. В. Моделирование технологии погрузочно-разгрузочных работ скоропортящихся грузов в морском порту / И. В. Зуб, Г. Д. Касаткин, А. К. Афанасьев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 2. — С. 185–194. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-2-185-194. — EDN BGIBLN.

Введение (Introduction)

Морской порт является объектом, в котором сосредоточены практически все виды транспорта: водный (морской и речной), железнодорожный и автомобильный. В порту происходит перегрузка и хранение, а также комплектование и разукрупнение грузовых мест. Технология погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) на каждом грузовом фронте должна быть отражена в технологических картах. При разработке технологии ПРР особого внимания требуют опасные и скоропортящиеся грузы. Первые — из-за потенциальной опасности для жизни сотрудников порта и окружающей среды, вторые — из-за потери своих качеств (порча груза). В работах [1]–[5] рассмотрена технология перевозки скоропортящихся грузов, а также используемые транспортные средства (ТС), основу которых составляют рефрижераторные контейнеры [6] и рефрижераторные фуры, осуществляющие перевозку практически всех скоропортящихся грузов, кроме экзотических продуктов, которые перевозят с использованием авиации [7]. Наибольший грузопоток обеспечивает водный транспорт, в основном морской. В частности, для перевозки скоропортящихся грузов используются *сухогрузные суда*, выполняющие перевозку рефрижераторных контейнеров, электропитание которых осуществляется от судовых генераторов, и *специализированные суда*, оборудованные рефрижераторной установкой (рефрижераторное судно).

Рефрижераторные суда в основном осуществляют доставку определенного вида груза, в связи с чем этот груз может одновременно складироваться на отдельных участках рефрижераторного склада в порту и небольшими партиями отправляться потребителю. При обработке рефрижераторных судов, доставляющих продукцию с промысла, на одном из них могут находиться несколько видов морепродуктов, при разгрузке которых каждый вид скоропортящихся грузов должен быть доставлен в определенное место хранения.

При перевозке скоропортящихся грузов на любом виде ТС должен быть обеспечен заданный температурный режим независимо от срока транспортировки и температуры окружающей среды [8]. Перегрузка скоропортящихся грузов с / на ТС является одним из звеньев технологической цепи, где существует вероятность утраты их качественных характеристик, особенно в летний период, из-за высокой температуры окружающей среды [9]. Во время разгрузки рефрижераторных

судов трюмы остаются открытыми, рефрижераторная установка не работает, температура в трюме возрастает, что может привести к порче груза. Для обработки рефрижераторных судов разрабатываются планы-графики, в которых определяется время на операции по ПРР, зависящее от используемого подъемно-транспортного оборудования (ПТО). В зависимости от используемого оборудования разрабатывается технология ПРР. Если технология разработана при проектировании порта, то выполняется моделирование парка ПТО [10].

Целью исследования является разработка и визуализация модели технологии ПРР для поиска технологических операций, оказывающих влияние на $T_{\text{ПРР}}$ и выработка оптимальных решений для достижения целевого показателя.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Последовательность обработки рефрижераторного судна (H_{rv}) можно представить в следующем виде: судно $\rightarrow$ причальное ПТО $\rightarrow$ технологический транспорт $\rightarrow$ рефрижераторный склад или рефрижераторный контейнер. Как видно из приведенной последовательности, проблемным этапом обработки скоропортящихся грузов являются технологический процесс ПРР и процесс доставки к месту хранения. Продолжительность ПРР, которая зависит от надежности и типа ПТО, оказывает существенное влияние на конкурентоспособность порта. В случае отказа ПТО или отсутствия технологического транспорта ПРР прекращается или увеличивается время обработки ТС. В связи с этим продолжительность ПРР ($T_{\text{ПРР}}$) скоропортящихся грузов является одним из целевых показателей: $T_{\text{ПРР}} \rightarrow \min$, выполнение которого возможно при обеспечении бесперебойной работы ПТО, а также оптимально организованной внутрипортовой логистики, соединяющей взаимодействующие элементы и гибкость технологических процессов [11], [12].

В проведенном исследовании выполнен системный анализ, позволяющий определить основные тенденции развития технологии ПРР скоропортящихся грузов. При оптимизации $T_{\text{ПРР}}$ объектом управления является технология ПРР. Для задачи формального описания логико-временной структуры технологических процессов ПРР рассмотрен вариант с использованием аппарата сетей Петри [13]. Это обусловлено тем, что морской порт как система состоит из ряда подсистем, соединенных между собой функциональными связями [14], [15], а стохастический подход ТС делает процесс ПРР вероятностным [16].

Сеть Петри представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются позиции и переходы, соединенные между собой дугами. В позициях размещаются фишки, управляющие переходами и перемещаемые по сети. Переход запускается удалением фишки из его входных позиций и образованием новых фишек, помещенных в его входные позиции. Классические сети Петри и их применение рассмотрены в следующих работах: Котов В. Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.; Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 264 с.; Вил ван дер Аалст. Управление потоками работ: модели методы и системы / Пер. с англ. В. А. Башкина, И. А. Ломазовой / Под ред. И. А. Ломазовой. — М.: Физматлит, 2007. — 316 с.

В ряду транспортных систем порт занимает специфическое место, поскольку заявки на обслуживание ТС носят стохастический характер и происходит взаимодействие с разнородными ТС. До настоящего времени в исследованиях, темой которых является моделирование портов и терминалов, использование аппарата Петри не получило достаточного развития. В частности, этот вопрос исследован только в работах [17], [18].

Результаты (Results)

Позиция p_1 (рис. 1) имеет фишку размерностью $k \geq 1$, которая показывает, что судно может иметь неоднородный груз и, следовательно, выгрузка может обеспечиваться двумя или более технологическими линиями или осуществляться последовательно. Позиция p_2 содержит встроенную сеть Петри (рис. 2), моделирующую подход судна к причалу. Переход r_1 сработает в том случае, когда в него поступят все фишки. Позиция p_7 — это готовность судна к погрузочно-разгрузочным работам (ПРР). Переход r_2 сработает в том случае, когда в него поступят фишки из позиций

p_7 и p_9 (сменно-суточный план (ССП)). В переходах r_2 , $r_5 - r_7$, r_9 , установлена «охрана», согласно терминологии [19], в виде временного параметра τ , который не должен превышать время, затрачиваемое на технологическую операцию, заданное в графике ПРР.

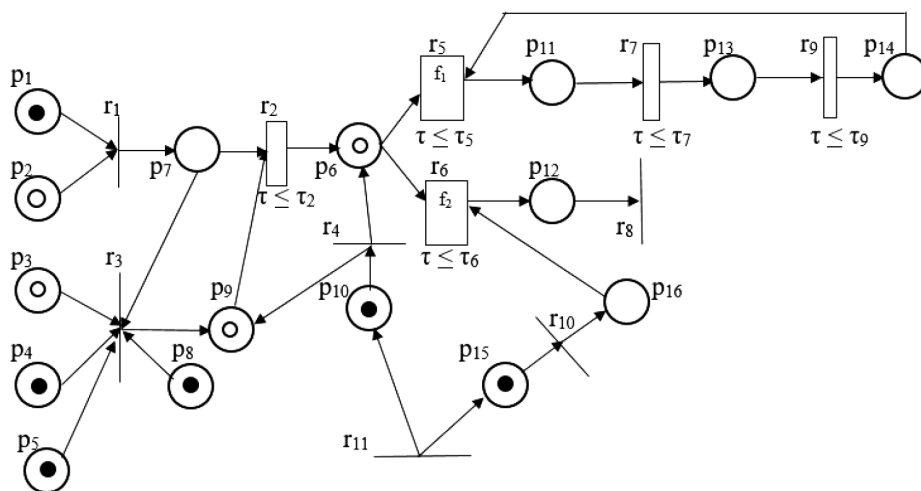


Рис. 1. Моделирование работы морского порта по перегрузке морепродуктов

Условные обозначения:

- p_1 — номенклатура груза; p_2 — судно; p_3 — парк подъемно-транспортного оборудования;
 p_4 — бригада докеров-механизаторов; p_5 — наличие мест в рефрижераторном складе;
 p_6 — партия груза на причале; p_7 — судно готово к выгрузке; p_8 — технологический транспорт;
 p_9 — сменно-суточный план; p_{10} — заявка на вывоз партии груза;
 p_{11} — продукция на технологическом транспорте;
 p_{12} — продукция в рефрижераторном контейнере (рефрижераторной автофуре);
 p_{13} — продукция доставлена к месту хранения; p_{14} — технологический транспорт свободен;
 p_{15} — транспортное средство (рефрижераторная автофур, железнодорожные платформы с рефрижераторными контейнерами); p_{16} — транспортное средство готово к погрузке;
 r_1 — оформление прихода судна; r_2 — производство погрузочно-разгрузочных работ,
 r_3 — разработка сменно-суточного плана; r_4 — поступление заявки на обработку транспортного средства;
 r_5 — погрузка продукции на технологический транспорт; r_6 — погрузка продукции на внешний транспорт;
 r_7 — перевозка продукции к месту хранения;
 r_8 — убытие рефрижераторного контейнера (рефрижераторной автофуры);
 r_9 — перегрузка продукции с технологического транспорта на место хранения;
 r_{10} — прибытие транспортного средства под погрузку; r_{11} — планирование вывоза партии груза

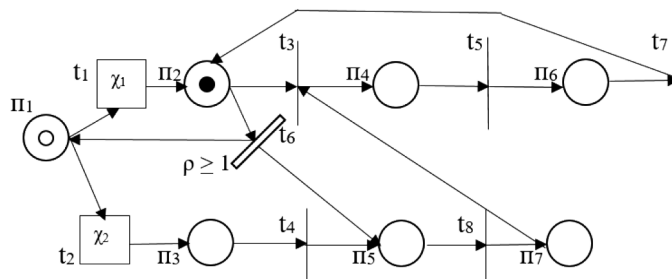


Рис. 2. Вложенная сеть Петри позиции p_2

Условные обозначения:

- Π_1 — судно; Π_2 — причал свободен;
 Π_3 — причал не готов к швартовным операциям; Π_4 — готовность судна к швартовным операциям;
 Π_5 — ожидание судна на якоре; Π_6 — стоянка судна у причала; Π_7 — готовность судна к заходу в порт;
 t_1 — заход в порт; t_2 — подход судна на рейдовую стоянку; t_3 — подход судна к причалу;
 t_4 — постановка на якорь; t_5 — швартовка судна к причалу; t_6 — получение разрешения на швартовку;
 t_7 — отшвартовка судна, выход в рейс; t_8 — снятие с якоря

Переход r_3 (формирование ССП) выполняется в том случае, когда фишки поступают из позиций $p_3 - p_5, p_7, p_8$. Позиция p_3 имеет n -ю размерность, так как в парк ПТО входят порталные краны, автопогрузчики и технологический транспорт. При недостаточном количестве единиц работающей и находящейся в резерве техники, необходимой для реализации ССП, целевой показатель не выполняется. Позиция p_9 имеет вложенную сеть (рис. 3)

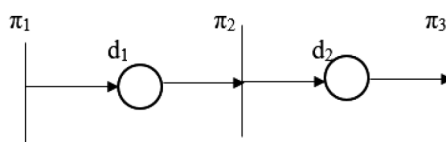


Рис. 3. Вложенная сеть позиции p_9

Условные обозначения:

- π_1 — поступление информации; π_2 — обработка поступившей информации;
 π_3 — передача данных сменно-суточного плана в подразделения;
 d_1 — информация поступила; d_2 — информация обработана

В позиции p_6 возникает конфликтная ситуация, которая разрешается посредством ситуационного управления и визуализируется встроенной сетью Петри (рис. 4). Переходы r_1 и r_5 имеют соответствующие метки f_1 и f_2 , которым соответствуют метки во встроенной сети f'_1 и f'_2 в переходах λ'_2 и λ'_3 . Эти метки являются взаимно дополняющими и служат для синхронизации переходов, которые срабатывают одновременно.

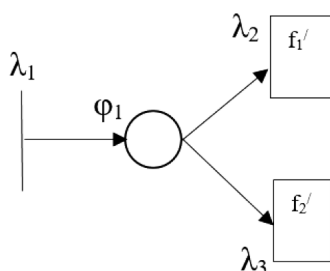


Рис. 4. Вложенная сеть позиции p_6

Условные обозначения:

- λ_1 — обработка поступившей заявки;
 λ_2 — выгрузка на технологический транспорт;
 λ_3 — погрузка на внешний транспорт; ϕ_1 — заявка обработана

Функционирование порта — это деятельность, основанная на причинно-следственных связях, что позволяет идентифицировать конфликтные ситуации (по терминологии [16], *передний конфликт*), под которыми понимается такое положение в сети Петри, когда позиция имеет выходы на два и более перехода. В зависимости от выбора может сработать только один переход, так как его запуск удалит фишку из позиции и другие переходы не смогут быть одновременно запущены.

В позиции p_{10} фишки имеют значение $k \geq 2$, так как одна уходит через переход r_4 в позицию p_9 , а вторая — в позицию p_6 . Технологический транспорт после разгрузки (позиция p_{14}) возвращается под погрузку (переход r_5). В позиции p_6 идет распараллеливание грузопотока. Верхнюю ветвь ($r_5 \rightarrow p_{11} \rightarrow r_7 \rightarrow p_{13} \rightarrow r_9 \rightarrow p_{14} \rightarrow r_5$) представляет модель конвейерной системы, по определению [20], основной задачей которой является проверка моделируемого процесса. В конвейерной системе каждый запуск должен быть завершен, а запуск новой операции невозможен до момента окончания предыдущей.

В позиции p_1 (см. рис. 2) конфликтная ситуация разрешается посредством встроенной сети (рис. 5), имитирующей проблемную ситуацию. В позиции p'_1 фишка имеет значение $k \geq 1$

(в зависимости от количества судов идущих в порт на выгрузку). Переходы t_1 и t_2 , имеющие соответствующие метки χ_1 и χ_2 , которым соответствуют χ'_1 и χ'_2 метки в переходах t'_1 и t'_2 , являются взаимно дополняющими и служат для синхронизации переходов. Два перехода, помеченные такими метками, могут сработать одновременно [19]. При поступлении информации о том, что причал свободен, одновременно срабатывают переходы t'_1 и t_1 . При занятом причале срабатывают одновременно переходы t'_1 и t_1 . При выходе судна в рейс фишка с перехода t_7 перемещается в позицию p_2 , откуда перемещается на переход t_6 . При поступлении фишки из позиции p_2 в переход t_6 , который имеет охрану $\rho \geq 1$, фишка при наличии судна на рейде дает разрешение на заход в порт. Если на рейде или на подходе к порту больше судов, то программируется принцип *fifo* — *first in first out* (первый пришел – первый ушел).

В данной модели рассматривается один причал, поэтому одновременно в порт под выгрузку может войти не более одного судна. В зависимости от производственной ситуации причал может быть свободным и готовым принять судно (p_2) или неготовым к приему судна (p_3), так как у причала уже стоит судно (p_6). В данной случае не рассматривается цель стоянки судна. Если причал занят, то судно ожидает на рейде (p_3), при освобождении причала судно получает разрешение на заход в порт (t_5).

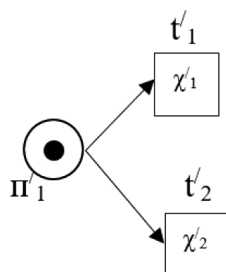


Рис. 5. Вложенная сеть Петри позиции p_1

Условные обозначения:

- p'_1 — информация о занятости причалов;
- t'_1 — получение разрешения на заход в порт;
- t'_2 — определение места якорной стоянки

Анализ сети Петри (см. рис. 1) показывает, что сеть безопасна, так как запуск операций не может происходить до завершения предыдущей. Безопасность является частным случаем ограниченности и не является обязательным требованием при анализе сетей Петри. Сеть Петри не ограничена, так как число фишек в позиции не ограничено. Переходы в сети Петри живые, так как все отметки достижимы при любой разметке. Потенциально живым переходом является переход сети Петри (см. Котов В. Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.), который срабатывает при достижении разметки [13]. В то же время данная сеть рассматривается как модель, формализующая причинно-следственные связи, так как является асинхронной.

Асинхронность сети отражает логику функционирования морского порта, не позволяя моделировать процесс ПРР в реальном времени. Поскольку целевым показателем при обработке морепродуктов является $T_{ПРР}$, этот показатель будет являться объектом оптимизации. Для подобных целей асинхронную сеть Петри следует совместить с временными характеристиками реализуемых операций ПРР. Для этого в алгоритме имитационного моделирования каждому переходу r_j , обозначающему отдельную операцию ПРР, приписывается время его реализации τ_j . Значение времени τ_j в ходе моделирования может задаваться как среднее выборочное по статистическим данным или с помощью разыгрывания эмпирической функции распределения.

Заключение (Conclusion)

Моделирование технологических процессов ПРР в течение последних 15 лет сосредоточено на контейнерных грузах. Это связано с тем, что перевозка грузов в контейнерах находит все

большее применение. Технология ПРР с морепродуктами имеет важное значение, но этот вопрос в научных работах пока не получил достаточного развития. В настоящей работе посредством аппарата сетей Петри выполнена модель технологии ПРР для морепродуктов. При моделировании в сеть Петри были введены временные ограничения, которые должны соответствовать графику обработки судна.

Продолжительность ПРР ($T_{\text{ПРР}}$) рассматривается как параметр, оптимизируемый в процессе моделирования, который повышает эффективность и качество обслуживания ТС. Обслуживание ТС, в соответствии с планом-графиком, зависит от организации ПРР, которая обеспечивается информационной системой, способствующей нахождению решений по оптимальному управлению, скорости оформления транспортных документов и принятию оперативных решений по управлению портом [21]. Еще одним важным направлением, включающим информационные потоки и технические средства, являются автоматизированные системы управления технологическими процессами и ПТО, которые способствуют частичному сокращению влияния человеческого фактора и повышению скорости обработки ТС [22], [23].

Анализ модели показывает, что минимизация времени ПРР ($T_{\text{ПРР}}$) может быть достигнута при помощи следующих средств:

- проведения организационных мероприятий;
- использования необходимого количества или более производительного ПТО;
- применения своевременного подхода ТС для отгрузки морепродуктов по прямому варианту.

Для выполнения заданного параметра $T_{\text{ПРР}}$ необходимо выполнить анализ парка ПТО, обеспечив его при необходимости достаточным количеством оборудования или осуществив техническое перевооружение порта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pogarskaya A. S. Minimization of Logistical Risks in the Transportation of Perishable Goods / A. S. Pogarskaya // Labour and Social Relations Journal. — 2021. — Vol. 32. — Is. 5. — Pp. 79–86. DOI 10.20410/2073-7815-2021-32-5-79-86. — EDN XYUUKY.
2. Гришкова Д. Ю. Оценка транспортно-логистических схем доставки скоропортящихся грузов в Западно-Сибирском регионе / Д. Ю. Гришкова, И. О. Тесленко // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2022. — № 3(62). — С. 6–14. DOI: 10.52170/1815-9265_2022_62_6. — EDN GOSDIE.
3. Турсынбаев Е. Е. Применение технических усовершенствований в организации перевозок скоропортящихся грузов / Е. Е. Турсынбаев, Е. Е. Жайлаубек, А. Н. Немасипова, С. Ш. Сарбаев // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. — 2020. — № 2(113). — С. 151–160. DOI: 10.52167/1609-1817-2020-113-2-151-160. — EDN XDKEPO.
4. Эглит Я. Я. Методика обоснования оптимального варианта доставки скоропортящихся грузов / Я. Я. Эглит, К. Я. Эглите, А. В. Андорская, М. А. Шаповалова // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — № 4–3(46). — С. 126–130. — EDN OSSHEM.
5. Яньшин А. А. Формирование Транспортно-технологических схем доставки Скоропортящихся грузов / А. А. Яньшин // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. — 2011. — Т. 2. — С. 34–39. — EDN RYLOET.
6. Эглит Я. Я. Перспективы перевозок скоропортящихся грузов в России / Я. Я. Эглит, А. В. Андорская, М. А. Шаповалова, Е. Р. Денисова // Системный анализ и логистика. — 2019. — № 2(20). — С. 16–21. — EDN IZZNUV.
7. Полешкина И. О. Перевозка скоропортящихся грузов воздушным транспортом: проблемы обработки в российских аэропортах / И. О. Полешкина // Научный вестник МГТУ ГА. — 2020. — Т. 23. — № 6. — С. 65–83. DOI: 10.26467/2079–0619–2020–23–6–65–83. — EDN KTSQUY.
8. Багинова В. В. Об организации перевозок скоропортящихся грузов в транспортной системе: подходы и моделирование / В. В. Багинова, Д. В. Ушаков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2021. — № 3(83). — С. 98–104. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_3_98. — EDN DQFHYV.

9. Ушаков Д. В. Особенности изменения качественных характеристик скоропортящихся грузов при внешних воздействиях на начальных этапах холодной цепи / Д. В. Ушаков, В. В. Багинова // Бюллетень транспортной информации. — 2019. — № 3(285). — С. 9–12. — EDN GHPNUH.
10. Зуб И. В. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Н. Н. Стенин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 6. — С. 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028. — EDN GTLQDP.
11. Стрельникова И. А. О методе расчета вероятности безотказной работы грузопередающих цепочек морского порта / И. А. Стрельникова, Д. Д. Стрельников // Эксплуатация морского транспорта. — 2015. — № 3(76). — С. 15–19. — EDN UYBIKV.
12. Цверов В. В. Совершенствование процесса складского обслуживания как фактор повышения надежности доставки в срок / В. В. Цверов, А. В. Пучкова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2018. — № 55. — С. 154–166. — EDN UQIEDK.
13. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон; пер. с англ. М. В. Горбатовой, В. Л. Торхова, В. Н. Четверикова. — М: Мир, 1984. — 264 с.
14. Зуб И. В. Аппарат сетей Петри в задаче исследования контейнерного терминала / И. В. Зуб // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование: сборник трудов пятой междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 28–30 апреля 2008 года. Т. 13. — СПб.: СПб. гос. политехн. ун-т, 2008. — С. 66–68. — EDN UTJBST.
15. Зуб И. В. Вложенные синхронизированные сети Петри в задаче моделирования работы контейнерного терминала / И. В. Зуб // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право: сб. науч. тр. — Вып. 1 (6) / Под ред д-ра техн. наук, проф. Е. П. Истомина. — СПб.: ООО «Андреевский издательский дом», 2008. — С. 126–135.
16. Лескин А. А. Сети Петри в моделировании и управлении / А. А. Лескин, П. А. Мальцев, А. М. Спиридонов. — Л: Наука, 1989. — 133 с.
17. Зуб И. В. Моделирование функционирования транспортного терминала вложенными сетями Петри / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2016. — Вып. 2 (36). — С. 41–48.
18. Зуб И. В. Имитационная модель на основе сетей Петри как средство диагностики перегрузочной техники / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, С. С. Соколов и [др.] // Речной транспорт (XXI век). — № 4, 2016. — С. 52–58.
19. Ломазова И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределённых систем с объективной структурой / И. А. Ломазова. — М.: Научный мир, 2004. — 208 с.
20. Руднев В. В. К вопросу об описании конвейерных процессов сетями Петри / В. В. Руднев // Автоматика и телемеханика. — 1985. — № 8. — С. 115–121.
21. Зуб И. В. Информационные системы как инструмент повышения производительности морских портов / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Т. С. Анголенко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 218–229. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-218-229. — EDN FPECTY.
22. Зуб И. В. Анализ нормативной документации по проектированию морских портов в части автоматизации технологических процессов на контейнерных терминалах / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Г. Д. Касаткин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 262–271. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-262-271. — EDN VEFNME.
23. Зуб И. В. Исследование некоторых вопросов автоматизации элементов терминальных комплексов по перегрузке крупнотоннажных контейнеров / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, В. Л. Щемелев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 4. — С. 604–619. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-604-619. — EDN LFMYUW.

REFERENCES

1. Pogarskaya, A. S. “Minimization of Logistical Risks in the Transportation of Perishable Goods.” *Labour and Social Relations Journal* 32.5 (2021): 79–86. DOI 10.20410/2073-7815-2021-32-5-79-86.

2. Grishkova, D. Yu. and I. O. Teslenko. "Evaluation of transport and logistics schemes for the delivery of perishable goods in the west-siberian region." *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobscheniya* 3(62) (2022): 6–14. DOI: 10.52170/1815-9265_2022_62_6.
3. Tursynbaev, E. E., E. E. Zhaylaubek, A. N. Nemasipova and S. Sh. Sarbaev. "Primenenie tekhnicheskikh usovershenstvovaniy v organizatsii perevozok skoroportyaschikhsya грузов." *Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpaeva* 2(113) (2020): 151–160. DOI: 10.52167/1609-1817-2020-113-2-151-160.
4. Eglit, Ya. Ya., K. Ya. Eglite, A. V. Andorskaya and M. A. Shapovalova. "Methods of substantiation of the optimal variant of delivery of perishable goods." *Morskie Intellekturnye Tekhnologii* 4–3(46) (2019): 126–130.
5. Yan'shin, A. A. "Formirovanie Transportno-tekhnologicheskikh skhem dostavki Skoroportyaschikhsya грузов." *Scientifically Technical And Economical Cooperation In Asia-Pacific Countries In The 21st Century* 2 (2011): 34–39.
6. Eglit, Ya. Ya., A. V. Andorskaya, M. A. Shapovalova and E. R. Denisova. "Prospects of transportation of perishable goods in Russia." *System Analysis and Logistics* 2(20) (2019): 16–21.
7. Poleshkina, I. O. "Transportation of perishable goods by air: handling problems at Russian airports." *Civil Aviation High Technologies* 23.6 (2020): 65–83. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-6-65-83.
8. Baginova, V. V. and D. V. Ushakov. "About the organization of perishable goods transportation in the transport system approaches and modeling." *Vestnik RGUPS* 3(83) (2021): 98–104. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_3_98.
9. Ushakov, D. V. and V. V. Baginova. "Features of change in qualitative characteristics of perishable cargoes exposed to external influences at the initial stages of the cold chain." *Byulleten' transportnoy informatsii* 3(285) (2019): 9–12.
10. Zub, I. V., Yu. E. Ezhov and N. N. Stenin. "Model for selecting the port cargo handling equipment on the basis of modeling the port technological line." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 12.6 (2020): 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
11. Strel'nikova, I. A. and D. D. Strel'nikov. "About the method of calculating the probability of failure-free operation cargo transmitting chains of the seaport." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(76) (2015): 15–19.
12. Tsverov, V. V. and A. V. Puchkova. "Improving the process of the warehouse service as a factor of increasing the reliability of delivery in time." *Bulletin Of The Volga State Academy Of Water Transport* 55 (2018): 154–166.
13. Piterson, Dzh. *Piterson, Dzh. Teoriya setey Petri i modelirovanie sistem* M: Mir, 1984: 264.
14. Zub, I. V. "Apparat setey Petri v zadache issledovaniya konteynernogo terminala." *Vysokie tekhnologii, fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, obrazovanie: Sbornik trudov pyatoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 28–30 aprelya 2008 goda. Tom 13.* Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet, 2008: 66–68.
15. Zub, I. V. "Vlozhennye sinhronizirovannye seti Petri v zadache modelirovaniya raboty kontejnernogo terminala." *Informacionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo: Sb. nauch. tr. Vol. 1* (6). SPb.: OOO "Andreevskiy izdatel'skiy dom", 2008: 126–135.
16. Leskin, A. A., P. A. Mal'tsev and A. M. Spiridonov. *Seti Petri v modelirovanii i upravlenii* L: Nauka, 1989: 133.
17. Zub, I. V., Yu. E. Ezhov "Modeling of functioning of the transport terminal nested petri nets." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova*, 2016. — Tom 2 (36). — P. 41–48.
18. Zub, I. V. Simulation model based on Petri nets as a diagnostic tool for transshipment equipment / I. V. Zubov, Yu. E. Yezhov, S. S. Sokolov and [others]// *River transport (XXI century)*. — No. 4, 2016. — Pp. 52–58.
19. Lomazova, I. A. *Vlozhennye seti Petri: modelirovanie i analiz raspredelennykh sistem s ob'ektivnoy strukturoy* M: Nauchnyy mir, 2004: 208.
20. Rudnev, V. V. "K voprosu ob opisani konveyernykh protsessov setyami Petri." *Avtomatika i telemekhanika* 8 (1985): 115–121.
21. Zub, I. V., Yu. E. Ezhov and T. S. Angolenko. "Information systems as a tool for improving the seaports productivity." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 14.2 (2022): 218–229. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-218-229.
22. Zub, I. V., Yu. E. Ezhov and G. D. Kasatkin. "Analysis of regulatory documentation on seaports design in terms of technological processes automation at container terminals." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 15.2 (2023): 262–271. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-262-271.
23. Zub, I. V., Yu. E. Ezhov and V. L. Schemelev. "Investigation of some issues of automation of elements of terminal complexes for transshipment of large-capacity containers." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 16.4 (2024): 604–619. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-604-619.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зуб Игорь Васильевич —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: zubiv@gumrf.ru

Касаткин Глеб Денисович — аспирант

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: cool.bleb.1999@yandex.ru

Афанасьев Андрей Константинович —

кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_texp@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zub, Igor V. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: zubiv@gumrf.ru

Kasatkin, Gleb D. — postgraduate

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: cool.bleb.1999@yandex.ru

Afanasyev, Andrey K. —

PhD,
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_texp@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 12 февраля 2025

Received: Feb. 12, 2025