



Х.З. Ву

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Исследование универсального морского порта во Вьетнаме с использованием сети массового обслуживания

Аннотация. В статье рассматривается проблема моделирования работы универсального морского порта. Математическая модель строится в виде сети массового обслуживания, за счет чего учитывается влияние случайных факторов как на поступление транспорта, так и на продолжительность операций по обработке груза внутри системы. В модели для описания поступления груза на двух видах транспорта с различной вместимостью применяются отдельные неординарные потоки заявок. При моделировании структурных элементов порта для учета их особенностей используются разные виды узлов сети, в том числе – нестационарные. Объектом исследования выбран один из крупнейших морских портов в северном экономическом регионе Вьетнама. На основе результатов численного исследования модели сделаны выводы о текущей пропускной способности порта, узких местах в его структуре и получен прогноз производительности при увеличении объемов грузопотоков.

Ключевые слова. Математическое моделирование, сеть массового обслуживания, имитационная модель, вычислительный эксперимент, морской порт.

Информация о статье. Дата поступления: 9 января 2025 г.; дата принятия к публикации: 11 марта 2025 г.; дата онлайн-размещения: 15 апреля 2025 г.

Original article

H.G. Vu

*Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation*

A Study on Universal Seaport in Vietnam Using Queueing Network

Abstract. The article discusses the challenge of modeling the operations of a universal seaport. The mathematical model has the form of a queueing network that takes into account the influence of random factors on both the arrival of vehicles and the duration of cargo processing within the system. We use separate, non-ordinary request flows to describe the arrival of cargo by two types of transportation with significantly different capacity. Various types of queueing network nodes, including non-stationary ones, are used to model the structural elements of the port, taking into account their different operational characteristics. The object of the study is one of the largest seaports in the northern economic region of Vietnam. Based on the results of the simulation, we have drawn conclusions about the current capacity of the port, identified bottlenecks in its infrastructure, and obtained a forecast of capacity with increasing volumes of cargo traffic.

Keywords. Mathematical modeling, queueing network, simulation model, computational experiment, seaport.

Article info. Received 9 January, 2025; Accepted 11 March, 2025; Available online 15 April, 2025.

Введение

Морские порты являются ключевым звеном глобальных цепочек поставок, от которого зависят скорость доставки грузов и объемы международной торговли. Наибольший объем грузов обрабатывается в универсальных портах, в которых стыкуются два и более видов транспорта, имеется несколько грузовых фронтов и погрузочное оборудование, предназначенное для разных типов грузов. В таких системах регулярно выполняются однотипные технические операции, продолжительность которых зависит от большого числа факторов, в частности, от типа и размера груза, погодных условий, надежности оборудования и человеческого фактора [1]. Изучением работы технических систем с такими свойствами занимаются в Теории массового обслуживания (ТМО) [2]. При этом из-за сложной структуры портов, в которой имеются отдельные подсистемы и разные маршруты движения грузов, целесообразно использовать наиболее современное направление ТМО — сети массового обслуживания (СеМО) [3].

СеМО представляет собой совокупность конечного числа взаимосвязанных систем массового обслуживания (СМО) и широко применяются для описания различных морских терминалов. Представим наиболее релевантные работы в данном направлении. В статьях [4; 5] отдельно рассматривается работа подсистем морских терминалов: причала, складов и ворота. В работах [6; 7] на основе СеМО моделируется и исследуется работа угольного и нефтеналивного терминалов. В [8; 9] СеМО применяются для описания процесса перевозки контейнеров внутри морских контейнерных терминалов, а в [10] для моделирования движения судов между несколькими портами. Во всех этих работах используются стационарные СеМО, что снижает точность получаемых моделей, так как параметры работы портов зависят от времени. В данном исследовании для моделирования работы морского порта используются нестационарные СеМО, в узлах которых допустимо изменение максимальной длины очереди со временем, что позволяет учесть особенности погрузки судов с разной вместимостью. Насколько нам известно, такие СеМО ранее не использовались в области портовой логистики. Это и составляет научную новизну данной работы.

В качестве объекта исследования выбран универсальный морской порт Куангнинь, один из ключевых перегрузочных комплексов на Севере Вьетнама. Он занимает четвертое место по объемам перегрузки среди портов в северном ключевом экономическом районе Вьетнама (данные за 2023 г.), обрабатывает 65 % объема экспорта древесной щепы в районе и 25 % во Вьетнаме, т.е. является главным хабом в стране по перегрузке данного товара.

На основе математического моделирования с применением открытой СеМО получена оценка текущей пропускной способности исследуемого порта, а также построен сценарный прогноз его работы в будущем.

Предметное описание объекта исследования

Под портом понимается участок береговой линии с прилегающей акваторией и оборудованием для стоянки и обслуживания судов, осуществления погрузо-разгрузочных операций и временного хранения грузов. Рассмотрим морской порт Куангнинь (далее Порт), который расположен в провинции Куангнинь, Вьетнам. Общий вид Порта и карта-схема его расположения представлены на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид порта Куангнинь

Порт Куангнинь обрабатывает различные типы товаров, в частности, корма для животных, строительные материалы, руду, металлолом, а также контейнеры. Основную долю экспортных грузов составляет древесная щепа, которая поступает в Порт по внутренним водным путям на баржах и автомобильным транспортом (внешние грузовики), а затем отправляется на экспорт морскими судами.

В среднем в Порт ежедневно прибывает 6 барж, каждая из которых перевозит от 800 до 1000 т груза, а в среднем — 900 т. Внешние грузовики вмещают от 30 до 35 т грузов. В среднем прибывает 125 ед. в сутки.

В Порту имеется четыре причала, четыре зоны с открытыми складами и семь закрытых складов, ворота для автомобильного транспорта и административные здания. Схема системы представлена на рис. 2. Далее опишем структурные элементы порта, которые непосредственно участвуют в перегрузке древесной щепы.

Баржи прибывают и ожидают разрешения на швартовку на речной якорной стоянке, которая расположена в 600 м от причальной зоны. Затем они разгружаются на причале № 1, который оборудован двумя береговыми кранами с грейферами, перегружающие от 2 до 3 т груза за раз.

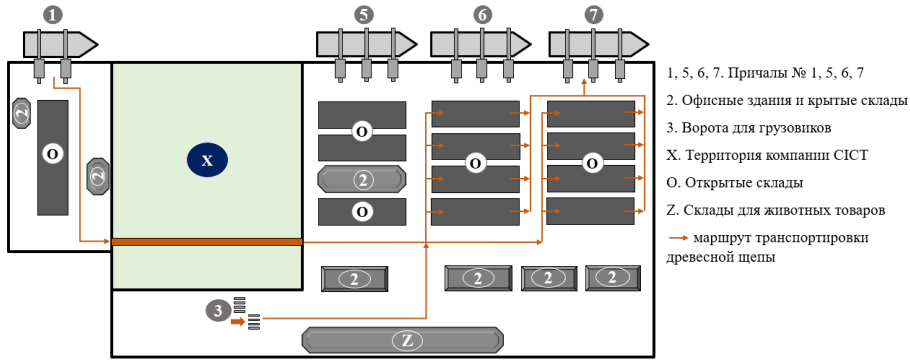


Рис. 2. Функциональная схема Порта

Причал № 7 используется для загрузки морских судов. Он оборудован тремя конвейерными системами, каждая из которых включает в себя конвейер и бункер для приема сыпучего груза вместимостью 30 т.

Для древесной щепы отведено 8 открытых складов с суммарной вместимостью 240 тыс. т. Перегрузкой занимаются 6 экскаваторов.

Перевозка груза между причалами и складами выполняется 30 внутренними грузовиками, каждый из которых вмещает до 15 т груза. Половина из грузовиков курсирует между причалом № 1 и складами (далее — грузовики А), вторая половина между складами и причалом № 7 (грузовики Б).

Ворота включают 2 въездных и 2 выездных полосы. Каждая из них способна обслужить до 60 грузовиков за час. Также перед воротами в Порт со стороны дороги имеется стоянка, вмещающая до 25 грузовиков. Перевозка грузов от ворот к складам осуществляется внешними грузовиками, на которых щепы и поступает в Порт.

Таким образом, в Порту имеется три крупные зоны: причальная, складская и ворота, а также якорная стоянка. Схематично технология перегрузки древесной щепы в данном Порту представлена на рис. 3.

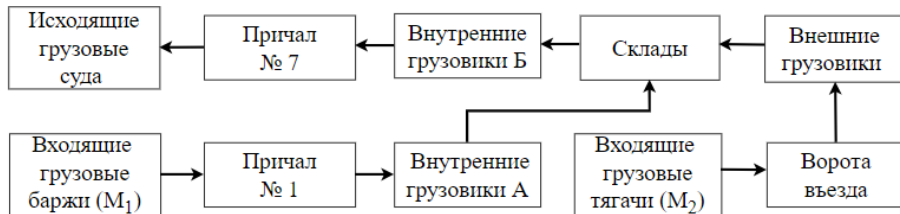


Рис. 3. Схема технологии перегрузки древесной щепы

Математическая модель

Описание поступления и процесса перегрузки древесной щепы в Порту строится в виде открытой сети массового обслуживания (СеМО). Под ней понимается совокупность конечного числа S систем массового обслуживания (узлов). Заявки переходят из узла i в узел j в соответствии с заданными вероятностями P_{ij} , которые хранятся в маршрутной матрице P . В открытых СеМО заявки поступают из внешнего источника, который считается дополнительным узлом с индексом «нуль». Тогда матрица P имеет размер $(S + 1) \times (S + 1)$, а ее элементы удовлетворяют условию:

$$\sum_{j=0}^S P_{ij} = 1, \forall i \in S.$$

Построение математической модели происходит в два этапа. На первом описываются входящие грузопотоки, на втором — процесс их обслуживания в отдельных элементах и маршруты движения внутри системы.

Математическое описание входящих грузопотоков. В теории массового обслуживания моделью прибывающего материального потока является входящий поток заявок.

Баржи и автомобили, как правило, движутся независимо друг от друга. На их движение влияет большое число труднопредсказуемых факторов, в частности, погода, поломки техники и человеческий фактор, из-за чего невозможно предсказать момент поступления транспортного средства в систему. Для описания транспортных потоков с такими свойствами применяется пуассоновский поток [8–10]. Однако грузы перевозятся партиями, поэтому необходимо использовать неординарный вариант.

Под заявкой понимается одна тонна щепы, тогда ее поступление на баржах и внешних грузовиках моделируются отдельными неординарными пуассоновскими потоками. Путем анализа статистических данных, полученных по натурному наблюдению, установлено, что размер группы является случайной величиной, которая подчиняется дискретному равномерному распределению $U(a; b)$. В табл. 1 представлены параметры потоков, где λ_i — интенсивность поступления групп заявок в час, V_i — распределение размеров групп.

Таблица 1

Модели входящих грузопотоков

Поток	Вид транспорта	λ_i	V_i
M_1	Баржи	0,25	$U(800; 1000)$
M_2	Грузовики	5,21	$U(30; 35)$

Математическое описание работы элементов системы и маршрутов движения грузов между ними. В общем случае струк-

турные элементы Порта моделируются отдельными узлами СеМО (СМО). В них каналы отображают работу технических устройств соответствующих элементов, а очередь — их вместимость. Распределения размеров обслуживаемых групп заявок и времен их обслуживания в узлах определяются на основе результатов статистической обработки данных из открытых источников (см. <https://quangninhport.com.vn/en/home>).

Работа элементов Порта моделируется СеМО с двумя входящими неординарными потоками заявок и 13 узлами. Первый поток описывает поступление древесной щепы на баржах, а второй — на внешних грузовиках. Узлы отличаются типом, числом каналов и вместимостью очереди. Один узел является источником входящих потоков. Два узла — многоканальные СМО с конечными очередями — описывают работу причала №1 (для барж) и открытых складов; три узла — одноканальные СМО с конечными очередями — имитируют работу конвейерных систем; шесть узлов — многоканальные СМО с отказами — моделируют работу якорной стоянки, ворот, автомобильной стоянки перед ними и движение внешних и внутренних грузовиков внутри системы. Также имеется один узел — СМО с изменяющимся числом мест в очереди, который моделирует загрузку судов с разной вместимостью и их отправление из системы. Во всех узлах допустимо групповое обслуживание заявок. Дисциплина принятия групп заявок — «полный отказ», дисциплина обслуживания очереди — FIFO.

Формальное описание узлов в терминах ТМО представлено в таблице 2, где: T_i — распределение времени обслуживания; X_i — распределение размера обслуживаемой группы заявок в канале, $N(\mu; \sigma)$ — нормальное распределение, μ — математическое ожидание, σ — среднеквадратическое отклонение, $\exp(\lambda)$ — экспоненциальный закон распределения, λ — интенсивность.

Таблица 2

Модели работы элементов для экспорта древесной щепы

Узел	Элемент	Модель	T_i	X_i
1	Якорная стоянка	$M/G^x/20/0$	$N(0,33; 0,08)$	1000
2	Причал для разгружаемых барж	$*/M^x/2/1000$	$\exp(18,2)$	$U(13; 15)$
3	Внутренние грузовики А	$*/M^x/15/0$	$\exp(5)$	15
4	Автомобильная стоянка	$M/M^x/25/0$	$\exp(240)$	35
5	Ворота	$*/M^x/2/0$	$\exp(60)$	35
6	Внешние грузовики	$*/M^x/10/0$	$\exp(12)$	35
7	Открытые склады	$*/M^x/6/240000$	$\exp(21,4)$	$U(13; 15)$
8	Внутренние грузовики Б	$*/M^x/15/0$	$\exp(10)$	15
9,10,11	Конвейерные системы	$*/M^x/1/30$	$\exp(60)$	$U(3; 4)$
12	Причал для исходящих судов	$*/M^x/1/X_{12}$	$N(96; 20)$	$U(35000; 44000)$

Маршрутная матрица P будет иметь размер 13×13 , сильно разрежена и неинформативна. По этой причине ненулевые вероятности переходов между узлами СеМО представлены на рис. 4 в виде весов графа.

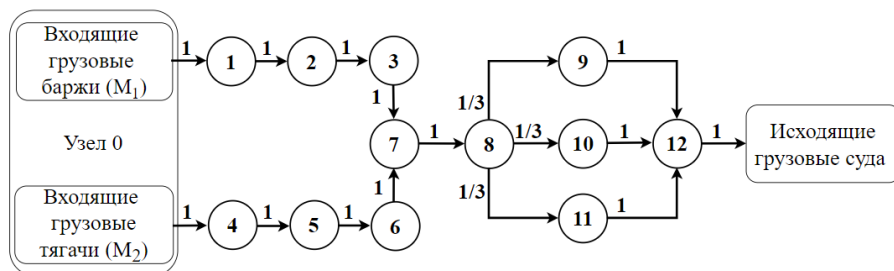


Рис. 4. Схема СеМО

Вычислительный эксперимент

Исследование полученной СеМО осуществляется с помощью имитационной модели, которая разработана на основе дискретно-событийного подхода моделирования и методов Монте-Карло и реализована в виде программного комплекса. Он позволяет найти показатели эффективности для СеМО, включающей до 100 узлов и столько же неординарных потоков заявок с различными параметрами. На основе этих показателей можно сделать вывод об эффективности работы выбранного объекта и наличии узких мест в его структуре.

С помощью программного комплекса выполнены два вычислительных эксперимента. Целью первого была оценка текущей загрузки объекта, а второго — определение максимальной допустимой нагрузки и узких мест в структуре системы. Для каждого эксперимента выполнялось по 10 пусков комплекса. Виртуальное время моделирования — 365 дней. Усредненные результаты пусков представлены далее в таблицах и на рисунках.

Эксперимент 1. В табл. 3 приведены результаты численного исследования построенной СеМО. Далее в таблице: V_i — число поступивших в узел i заявок; K_i — среднее число работающих каналов; L_i — средняя длина очереди; b_i — суммарная продолжительность (в часах) блокировки работы всех каналов в узле i ; t_i — среднее время (в часах) пребывания отдельной заявки в узле i ; P_L — вероятность отказа.

Для проверки адекватности модели сравнивались следующие показатели: а) общее число групп заявок, поступивших из входящих потоков (M_1 и M_2), с количеством барж и внешних грузовиков, которые прибыли за год; б) доля заявок, прибывших из каждого потока ($V_1 / (V_1 + V_4)$ и $V_4 / (V_1 + V_4)$), с соответствующими

Таблица 3

Результаты эксперимента 1

	V_i	K_i	L_i	t_i (ч)	b_i (ч)
Узел 1	1972128,9	0,24	–	0,960	1342,120
Узел 2	1972128,9	0,89	213,7	1,005	9,135
Узел 3	1971907,6	3,22	–	0,200	–
Узел 4	1482737,6	0,02	–	0,005	0,128
Узел 5	1482737,6	0,09	–	0,017	–
Узел 6	1482737,6	0,44	–	0,084	–
Узел 7	3454587,4	4,55	11313,3	28,814	68302,237
Узел 8	3443049,7	11,56	–	0,414	4987,150
Узел 9	1148361,7	0,86	19,5	0,172	1892,941
Узел 10	1146965,0	0,86	19,5	0,172	1893,357
Узел 11	1147516,0	0,86	19,6	0,172	1892,978
Узел 12	3442763,7	0,94	24308,4	156,349	–
Поступило	M_1	M_2	Отклонено	M_1	M_2
Групп	2192,0	45620,6	Заявок	0,0	0,0
Заявок	1972128,9	1482737,6	P_i	0,0000	

соотношениями объемов древесной щепы, поступающими на разных видах транспорта. В результате, наибольшая относительная погрешность составила 3,4 %, а средняя 1,8 %.

Проанализируем представленные в табл. 3 результаты. Средняя продолжительность блокировки каналов Узла 1 составляет $b_1 / 2192 = 0,6$ ч, что можно интерпретировать как среднее время ожидания баржей на якорной стоянке. Такое значение несущественно для данного вида транспорта. Суммарная продолжительность блокировки каналов в Узлах 3 и 6 равны $b_3 = b_6 = 0$. Это означает, что все грузовики, перевозящие груз внутри системы, не простаивают в ожидании освобождения погрузочно-разгрузочных устройств. Средняя длина очереди в Узле 7 (открытые склады) равна $L_7 = 11313,3$, что соответствует 4,7% от вместимости очереди. Можно заключить, что Порт работает в штатном режиме, а его загрузка относительно невелика.

Эксперимент 2. По сравнению с Экспериментом 1 были внесены следующие изменения в модель. 1) Увеличены интенсивности поступления заявок из потоков M_1 (баржи) и M_2 (внешние грузовики) на 10 %, 20 %, 30 %, 40 % и 45 %. 2) Чтобы сохранить баланс между поступающими и отправляющимися объемами древесной щепы в Узле 12 соответствующим образом увеличена интенсивность обслуживаемой группы заявок. В табл. 4 представлены результаты моделирования.

Вероятность отказа становится отличной от нуля при увеличении объемов входящих потоков заявок на 45 % от текущего значения. Также в этом случае наблюдается резкое увеличение b_4

Результаты эксперимента 2

№	$M_1 + M_2$	b_1 (ч)	b_4 (ч)	L_7	t_7 (ч)	P_L
1. +10 %	3793744,6	1735,197	0,176	13652,4	31,614	0,0000
2. +20 %	4156579,6	2352,407	0,206	16570,0	35,026	0,0000
3. +30 %	4492595,4	2951,597	0,286	20935,4	40,943	0,0000
4. +40 %	4826730,9	4006,101	0,349	32746,5	59,579	0,0000
5. +45 %	5029078,4	4701,202	20,713	82311,6	143,646	0,0003

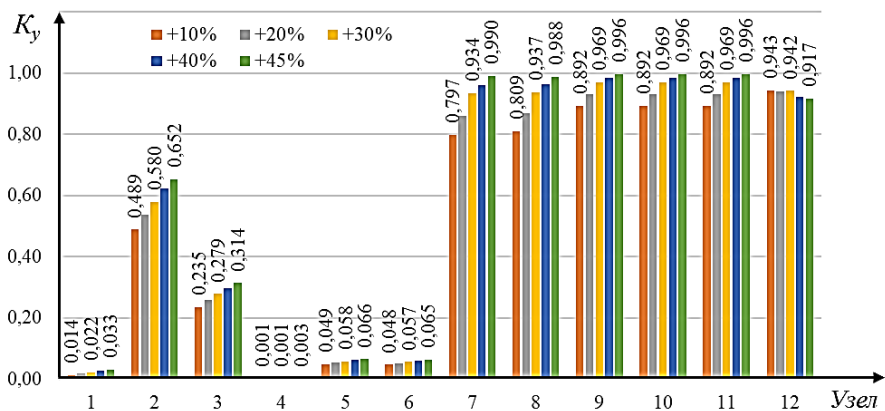


Рис. 5. Эксперимент 2. Коэффициент использования каналов (K_y) в узлах

времени блокировки Узла 4 (автомобильная стоянка) и L_7 средней длины очереди в узле 7 (склад). Следовательно, Порт может работать в штатном режиме при увеличении поступающих грузопотоков не более чем на 40 %. Конвейерные системы (Узлы 9, 10, 11), загружающие древесную щепу на суда, являются узкими местами системы. При возрастании объемов грузопотоков именно из-за их недостаточной пропускной способности происходит переполнение склада, а затем и остальных элементов системы.

Таким образом, порт Куангнинь эффективно справляется с текущим объемом грузов, а также имеет запас пропускной способности, что позволяет увеличить грузопоток на 40% без проведения модернизации системы. Ориентировочно, порт способен перегрузить до 4,83 млн тонн древесной щепы в год, что выведет его на первое место по объему обрабатываемых грузов.

Заключение

В данной статье предложена модель работы морского порта Куангнинь, который специализируется на перегрузке насыпных грузов и занимает четвертое место по грузообороту в ключевом

северном экономическом регионе Вьетнама. Математическое описание входящих грузопотоков, их движения между структурными элементами и обработки в них имеет вид сети массового обслуживания, за счет чего учитывается влияние случайных факторов на прибытие транспорта и продолжительность выполнения технических операций в подсистемах.

В модели для описания поступления груза на двух видах транспорта с существенно разной вместимостью применяются отдельные неординарные потоки заявок. Для моделирования структурных элементов порта с учетом их особенностей работы используются разные типы узлов СеМО, в том числе нестационарные. По результатам численного исследования построенной модели оценена текущая загрузка порта и эффективность его работы при увеличении интенсивностей поступления грузопотоков. Установлено, что порт Куангнинь имеет запас пропускной способности и может обработать грузопоток на 40 % больше текущего значения без проведения модернизации.

Предложенная в работе математическая модель в перспективе может быть использована для исследования других типов портов. Интересным направлением является моделирование работы нефтеналивных терминалов. Также возможно повышение детализации представленной модели за счет учета в ней других типов грузов, которые составляют меньшую часть грузопотоков порта Куангнинь.

Список использованной литературы

1. Купцов Н.В. Разработка модели вероятностной оценки пропускной способности морского грузового фронта экспортного угольного терминала / Н.В. Купцов, А.Л. Кузнецов, А.В. Шатилин. — DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34. — EDN OCQYWM // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2020. — Т. 12, № 1. — С. 17–34.
2. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. — Москва : Наука, 2007. — 400 с.
3. Ивницкий В.А. Теория сетей массового обслуживания / В.А. Ивницкий. — Москва : Физматлит, 2004. — 772 с.
4. Roy D. Optimal Stack Layout Configurations at Automated Container Terminals Using Queuing Network Models / D. Roy, R. de Koster. — DOI 10.1007/978-3-030-39990-0_19 // Handbook of Terminal Planning / ed. J.W. Böse. — Springer, 2020. — P. 437–461.
5. Zhang X. Optimization of Resource Allocation in Automated Container Terminals / X. Zhang, H. Li, M. Wu. — DOI 10.3390/su142416869 // Sustainability. — 2022. — Vol. 14, no. 24. — P. 16869.
6. Kazakov A. Modeling of a Coal Transshipment Complex Based on a Queuing Network / A. Kazakov, A. Lempert, M. Zharkov. — DOI 10.3390/app14166970 // Applied Sciences. — 2024. — Vol. 14, no. 16. — P. 6970.
7. Roy D. A Fluid Flow Queuing Network Model for Performance Analysis of Bulk Liquid Terminals / D. Roy, S. Werner, J.K. van Ommeren // Progress in Material Handling Research : 16th Proceedings. — Dresden, 2023. — URL: https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/pmhr_2023/23/.

8. Legato P. Queueing networks for supporting container storage and retrieval / P. Legato, R.M. Mazza. — DOI 10.1108/MABR-01-2023-0009 // *Maritime Business Review*. — 2023. — Vol. 8, no. 4. — P. 301–317.

9. Моделирование морского контейнерного терминала с использованием сети массового обслуживания / А.А. Лемперт, М.Л. Жарков, А.Л. Казаков, Х.З. Ву // *Управление большими системами*. — 2024. — № 112. — С. 310–337.

10. Guo S. Network Disruptions and Ripple Effects: Queueing Model, Simulation, and Data Analysis of Port Congestion / S. Guo, H. Wang, S. Wang. — DOI 10.3390/jmse11091745 // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2023. — Vol. 11, no. 9. — P. 1745.

References

1. Kuptsov N.V., Kuznetsov A.L., Shatilin A.V. Development of a Model for the Probabilistic Assessment of Annual Throughput of the Marine Loading Complex of the Export Coal Terminal. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova = Bulletin of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*, 2020, vol. 12, no. 1, pp. 17–34. (In Russian). EDN: OCQYWM. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-17-34.

2. Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. *Introduction to Queueing Theory*. Moscow, Nauka Publ., 2007. 400 p.

3. Ivnitskii V.A. *Theory of Queueing Networks*. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 772 p.

4. Roy D. Optimal Stack Layout Configurations at Automated Container Terminals Using Queueing Network Models / D. Roy, R. de Koster. In Böse J.W. (ed.). *Handbook of Terminal Planning*. Springer, 2020, pp. 437–461. DOI: 10.1007/978-3-030-39990-0_19.

5. Zhang X., Li H., Wu M. Optimization of Resource Allocation in Automated Container Terminals. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 24, pp. 16869. DOI: 10.3390/su142416869.

6. Kazakov A., Lempert A., Zharkov M. Modeling of a Coal Transshipment Complex Based on a Queueing Network. *Applied Sciences*, 2024, vol. 14, no. 16, pp. 6970. DOI: 10.3390/app14166970.

7. Roy D., Werner S., Ommeren van J.K. A Fluid Flow Queueing Network Model for Performance Analysis of Bulk Liquid Terminals. In *Progress in Material Handling Research. 16th Proceedings*. Dresden, 2023. Available at: https://digital-commons.georgiasouthern.edu/pmhr_2023/23/.

8. Legato P., Mazza R.M. Queueing Networks for Supporting Container Storage and Retrieval. *Maritime Business Review*, 2023, vol. 8, no. 4, pp. 301–317. DOI: 10.1108/MABR-01-2023-0009.

9. Lempert A.A., Zharkov M.L., Kazakov A.L., Giang Vu. Modeling of a Sea Container Terminal Using a Queueing Network. *Upravlenie bol'shimi sistemami = Large-Scale Systems Control*, 2024, no. 112, pp. 310–337. (In Russian).

10. Guo S., Wang H., Wang S. Network Disruptions and Ripple Effects: Queueing Model, Simulation, and Data Analysis of Port Congestion. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, vol. 11, no. 9, pp. 1745. DOI: 10.3390/jmse11091745.

Информация об авторе

Ву Хоанг Занг — аспирант, институт информационных технологий и анализа данных, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Российская Федерация, e-mail: giangtrang14022016@gmail.com.

Information about the Author

Giang Vu — PhD Student, Institute of Information Technology and Data Analysis, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: giangtrang14022016@gmail.com.

Для цитирования

Бу Х.З. Исследование универсального морского порта во Вьетнаме с использованием сети массового обслуживания / Х.З. Бу. — DOI 10.17150/2713-1734.2025.7(1).72-83. — EDN VTCJSQ // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2025. — Т. 7, № 1. — С. 72–83.

For Citation

Vu H.G. A Study on Universal Seaport in Vietnam Using Queueing Network. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2025, vol. 7, no. 1, pp. 72–83. (In Russian). EDN: VTCJSQ. DOI: 10.17150/2713-1734.2025.7(1).72-83.