

УДК 303.094.7

DOI: 10.37890/jwt.vi74.339

Практические аспекты задачи моделирования и сценарного прогнозирования работы пассажирского порта

И.К. Фомина¹

ORCID: 0000-0003-0999-3339

Л.А. Шафикова²

ORCID: 0000-0002-9877-5415

К.В. Сыкалова²

ORCID: 0000-0003-1946-895X

¹*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия*

²*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В этой статье представлена имитационная модель сценарного прогнозирования пассажирского терминала с целью получения аналитической информации об оперативной деятельности для принятия решений о работе портовых служб. Основная цель состоит в том, чтобы предоставить инструмент анализа для системы обслуживания пассажиров, зависящей от затраченного времени на различных каналах обслуживания. В работе исследуются внутренние показатели работы модели порта, созданного при помощи программного обеспечения AnyLogic. Назначение этой модели – помочь в принятии стратегических решений с помощью сценариев «что, если». Решения включают в себя определение среднего времени обслуживания в пассажирском терминале. Результаты выявили и предположили решение узких мест. Результаты также свидетельствуют о том, что имитационное моделирование является инструментом, который помогает спрогнозировать устойчивость системы.

Ключевые слова: пассажирский порт, имитационное моделирование, пассажиропоток, AnyLogic, оптимизация, методика, канал обслуживания, диаграмма процесса.

Practical aspects of the task of modeling and scenario forecasting of the passenger port operations

Inga K. Fomina¹

ORCID: 0000-0003-0999-3339

Liliy A. Shafikova²

ORCID: 0000-0002-9877-5415

Kristina V. Sykalova²

ORCID: 0000-0003-1946-895X

¹*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia*

²*Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia*

Abstract. This article presents a simulation model of scenario forecasting of a passenger terminal in order to obtain analytical information about operational activities for making decisions about the work of port services. The main goal is to provide an analysis tool for a passenger service system that depends on the time spent on various service channels. The paper examines the internal performance indicators of the port model created using AnyLogic software. The purpose of this model is to help to make strategic decisions using "what if" scenarios. The decisions include determining the average service time in the

passenger terminal. The results revealed and suggested the solution to the problem of bottlenecks. The results also indicate that simulation modeling is a tool that helps to predict the stability of the system.

Keywords: passenger port, simulation modeling, passenger traffic, AnyLogic, optimization, methodology, service channel, process diagram.

Введение

Морские пассажирские порты являются одной из существенных составляющих для развития перевозок, туризма и экономической деятельности, направленной на предоставление широкого спектра туристических услуг и удовлетворение потребностей пассажиров в перевозках.

Большие потоки туристов все чаще оказывают влияние на порты, что требует от портовых властей и менеджеров круизных терминалов активного взаимодействия не только с круизными компаниями, но и с местными портовыми службами [1]. В частности, в исторических направлениях услуги и удобства портов являются первым контактом круизных судов с городом.

Пассажирские порты интегрируются в единую транспортную сеть и должны быть лучше скоординированы с речным, железнодорожным и автомобильным транспортом, чтобы обеспечить максимально возможную скорость пассажирских перевозок [2]. Если рассматривать это системно, то изменились подходы к исследованию и прогнозированию развития самих морских портов и терминалов. В период пандемии Covid-19 порты и терминалы столкнулись с новыми вызовами и новыми трудностями. Критерии анализа работы морских портов, терминалов и паромных компаний были дополнены условиями обеспечения безопасности пассажиров как в терминале, так и на борту. На сегодняшний день прогнозируется резкое увеличение пассажиропотока, граничащее с критическими показателями портовых служб, связанное со снятием ограничения по коронавирусу [3].

Технологические достижения сделали морской туризм безопаснее и интереснее. Вследствие этого из-за растущего спроса удовлетворенностью пассажиров становится все труднее управлять: спрос увеличивает время на обслуживание пассажиров, а не только предоставляет возможность увеличить прибыль портов [4]. Сегодня одно из узких мест анализа для специалистов по планированию работы терминалов и эксплуатации состоит в реалистичном моделировании и анализе пассажиропотоков, ограниченных физическим дизайном.

Обоснование разработки модели сценарного прогнозирования

Терминал пассажирского порта представляет собой сложную инфраструктуру, состоящую из множества подсистем, таких как регистрация пассажиров, проверка безопасности, ожидание в зале морского вокзала, а также посадка на лайнер. Пассажиры являются основными объектами обслуживания во всех этих сегментах системы. Таким образом, анализ поведения и время ожидания пассажиров является основой для улучшения внутреннего планирования терминала, распределения ресурсов и общей организации обслуживания пассажиров [5]. Для описания поведения пассажиров, прибывающих в пассажирский порт, наилучшим способом является создание имитационной модели.

Моделирование и имитация движения пассажиров выходят на первый план в качестве подходящих инструментов анализа такой системы [6]. Ведь как известно, под имитационным моделированием подразумевается разработка и проведение экспериментов программной системы, которая заменяет исследуемую систему ее моделью и на ее основе описывает структуру и поведение изучаемой системы в зависимости от входных параметров.

Имитационное моделирование во многом выигрывает у других способов анализа и исследования в сфере транспортно–логистических систем. В качестве основных преимуществ можно выделить:

- быстрый и наглядный способ формирования статистики по исследуемым процессам как системы в целом, так и отдельных ее элементов;
- получение понятной и качественной анимации процессов;
- возможность рассмотрения поведения пешеходной модели в обычных и в критических ситуациях [7].

Используя метод имитационного моделирования, можно проанализировать сложную систему не нарушая работу реальной системы и сравнить разные модели поведения [8]. Предлагаемая модель в рамках этого исследования хоть и является общей, но охватывает только процесс отправления пассажиров. Лицо, принимающее решения, может оценить анализ производительности и время ожидания, увеличивая или уменьшая время обслуживания.

Разработка имитационной модели пассажирского терминала

Объектом исследования является Пассажирский порт «Морской фасад», расположенный в городе Санкт–Петербург, Россия. Он обслуживает прибывающие и отбывающие суда. Порт работает семь дней в неделю, но основная работа осуществляется в круизный период (обычно с середины апреля до середины октября) [9]. В этой статье моделируются только пассажиры, которые отплывают, прибывающие пассажиры не входят в рамки данного исследования.

Для моделирования пассажирского порта были выделены основные точки обслуживания, которые проходят пассажиры при посадке на борт судна:

- проверка безопасности на входе в терминал;
- регистрация пассажиров и багажа;
- дополнительная инфраструктура;
- паспортный контроль;
- таможенный контроль;
- зал ожидания;
- посадка на судно.

Графическое моделирование имитационной модели заключается в создании прототипа морского вокзала, путем добавления– стен, фундамента, металлоискателей, стоек регистрации, при помощи элементов встроенных библиотек.

Для визуализации и наглядности процессов была построена 3D модель (рис.1).



Рис. 1.. 3D-модель пассажирского порта

Разработка основных процессов включает в себя построение диаграммы процесса, которая будет описывать движения агентов (рис.2). Разработка основных процессов включает в себя построение диаграммы процесса, которая будет описывать движения агентов [10]. Элементы для задания логики движения берутся из встроенных библиотек.

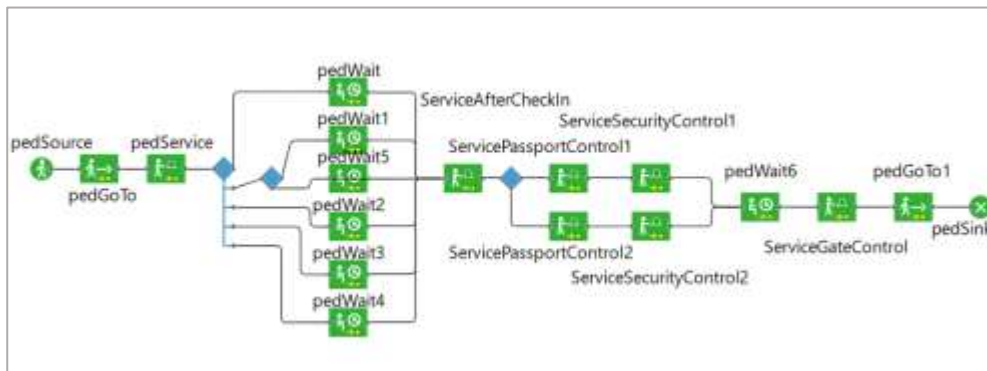


Рис. 2.. Диаграмма процесса работы имитационной модели

В качестве основных элементов для сбора статистики выступают графики и диаграммы (рис.3).

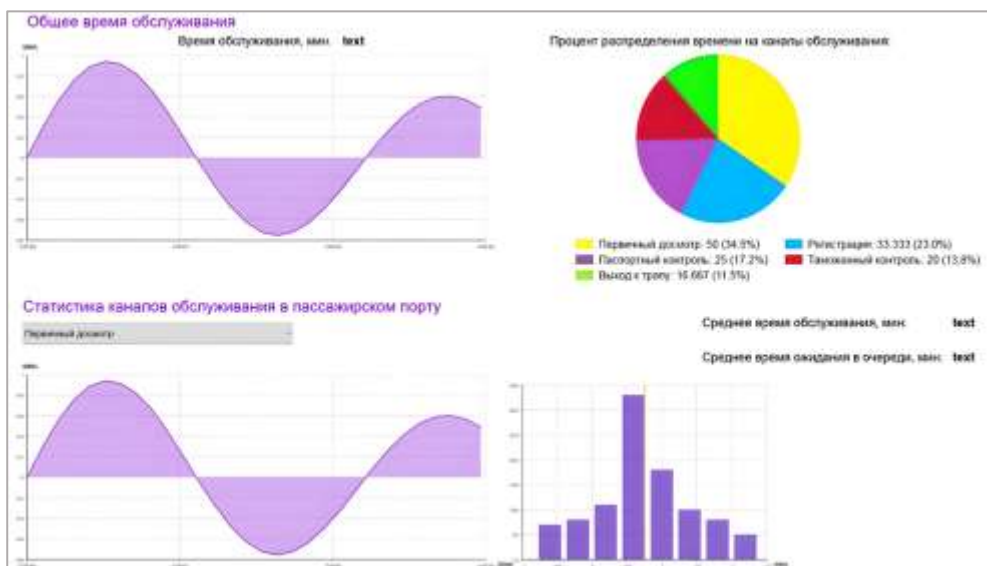


Рис. 3. Элементы сбора статистики имитационной модели терминала

Для проведения экспериментов статистика собирается отдельно для каждого пункта обслуживания, а также считается среднее время полного обслуживания в терминале порта.

Диаграмма, представленная в верхнем правом углу, изображает статистику распределения всего времени обслуживания в процентном соотношении. Слева представлены параметры, которые собирают статистику для ее представления в виде графиков.

Разработанная модель была использована для исследования и анализа наилучших возможных вариантов эффективной эксплуатации пассажирского порта. Модель была

сконструирована таким образом, чтобы продемонстрировать работу одного из морских вокзалов пассажирского порта.

Чтобы продемонстрировать возможности модели, было проведено 250 экспериментов с использованием сценариев «что, если» с учетом различных параметров в отношении увеличении/уменьшении интенсивности пассажиропотока, а также различных параметров времени обслуживания. Это исследование помогло обеспечить более глубокое понимание наилучшей стратегии повышения производительности системы. В таблице 1 представлены наилучшие 4 эксперимента. В качестве имитационного времени на обслуживание пассажиров и на проведение экспериментов было выбрано 5 часов работы терминала.

Таблица 1

Результаты экспериментов

Параметры обслуживания	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Эксперимент 4
Интенсивность пассажиропотока, чел.	300	300	300	300
Ср. время на первичном досмотре, мин	39	1	3	5
Ср. время на регистрации, мин	39	36	33	25
Ср. время на паспортном контроле, мин	11	15	11	10
Ср. время на таможенном контроле, мин	20	53	26	18
Ср. время выхода к трапу, мин	3	6	8	5
Общее время, мин	112	111	81	63

Заключение

В статье была рассмотрена имитационная модель пассажиропотока на примере пассажирского порта Санкт–Петербурга «Морской фасад». Для моделирования использовались агентный и дискретно–событийный подходы, основанные на процессах работы терминала.

Предлагаемая имитационная модель позволяет лицу, принимающему решения, проанализировать все процессы и потенциальные узкие места в пассажирских портах. Это также позволяет оценить время ожидания и длину очереди в системе и обеспечивает наилучшее использование ресурсов порта. С помощью статистических данных были выделены каналы обслуживания с наибольшими задержками. Сравнивая результаты различных сценариев, можно выявить вероятность возникновения узкого места, что также позволяет оценить границы, в пределах которых, различается эффективность обслуживания пассажиров.

Моделирование является одним из наиболее полезных инструментов для сценарного прогнозирования взаимосвязи и взаимодействия между процессами в порту. Пассажиры ведут себя по-разному, потому что их личные и физические характеристики независимы друг от друга. При исследовании поведения пассажиров симуляция является важным инструментом для анализа изменений персонала и технического оборудования, используемого в процессе, в зависимости от интенсивности и плотности пассажиропотока.

Существует потребность в системах поддержки принятия решений на основе моделирования, которые оценивают результаты и последствия решений, принимаемых для управления операциями в пассажирских портах. Учитывая ожидаемый в настоящее время и в будущем рост пассажиропотока, имитационные модели сценарного прогнозирования обеспечат высокую общую производительность, качество и удовлетворенность пассажиров, а также предотвратят возможные узкие места.

Список литературы

1. Майоров Н. Н., Фетисов В. А. Планирование работы морского пассажирского терминала на основе исследования интенсивностей заходов круизных судов // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2019. №3. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2019-3-120-128>
2. Майоров Н.Н. Прогнозирование процессов морского пассажирского терминала в классе полиномиальных моделей // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2018. №3. URL: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2018-3-113-122>
3. Arnaud Serry. Organization and development of cruise shipping in the Baltic Sea // Devport International Conference. Le Havre, 2014. P. 1-16.
4. Майоров Н.Н., Фетисов В.А., Добровольская А.А. Вероятностная модель прогнозирования прибытия круизных или паромных судов в морской порт для оценки инфраструктуры. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2022;14(2):169-180. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2022-14-2-169-180>.
5. Майоров Н. Н., Романев В. А. Вопросы выбора математических моделей для исследования пассажирских потоков в транспортных системах // Системный анализ и логистика. – СПб.: ГУАП. – 2017. –№1(14). – С. 39-45.)
6. Кузнецов А.Л., Кириченко А. В., Погодин В. А., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2017. №2. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2017-2-93-102>
7. Ефимова М.Н., Мамедова Т.Ф. Моделирование поведения толпы в системе Anylogic // математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем. Материалы XIV Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. Под редакцией И.В. Бойкова. Пенза. 2020. С. 114–118.
8. Фомина И. К., Тарануха С.Н., Сыкалова К.В., Проблемы использования инструментария платформы ANYLOGIC при подготовке специалистов в области имитационного моделирования // новые образовательные стратегии в современном информационном пространстве: Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции рантов. Санкт-Петербург. 2022. С. 161–167.
9. Жусупов С. Д. Пассажирский порт Санкт-Петербург: будущее создается сегодня // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2007. №8 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/passazhirskiy-port-sankt-peterburg-buduschee-sozdaetsya-segodnya>.
10. Фомин В.В., Фомина И.К., Шафикова Л.А. Реализация агентного подхода имитационного моделирования насыпного и наливного терминалов порта // актуальные проблемы экономики и управления. 2022. № 1(33). С. 51–54.

Referenses

1. Maiorov N. N., Fetisov V. A. Planning work of maritime passenger terminals in terms of intensity of cruise ships calls // Vestnik AGTU. Seria: Morskaia tekhnika i tekhnologiya. 2019. №3 [Vestnik ASTU. Series: Marine engineering and technology. 2019. №3]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-raboty-morskogo-passazhirskogo-terminala-na-osnove-issledovaniya-intensivnostey-zahodov-kruiznyh-sudov> (In Russ.)

2. Maiorov N.N. Forecasting processes of maritime passenger terminal in the class of polynomial models // Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2018. №3. [Vestnik ASTU. Series: Marine engineering and technology. 2018. №3]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-protsessov-morskogo-passazhirskogo-terminala-v-klasse-polinomialnyh-modeley> (In Russ.)
3. Arnaud Serry. Organization and development of cruise shipping in the Baltic Sea // Devport International Conference. Le Havre, 2014. P. 1-16.
4. Maiorov N.N., Fetisov V.A., Dobrovolskaia A.A. Stochastic model for forecasting of cruise or ferry ship arrival at seaport for infrastructure assessment. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. [Vestnik of the Admiral S. O. Makarov State University of the Sea and River Fleet] 2022;14(2):169-180. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2022-14-2-169-180> (In Russ.)
5. Mayorov N. N., Romaneu V. A. Questions of the choice of mathematical models for the study of passenger flows in transport systems // System analysis and logistics. – St. Petersburg: GUAP. – 2017. – №1(14). – p. 39-45. (In Russ.)
6. Kuznetsov A.L., Kirichenko A. V., Pogodin V. A., Shcherbakova-Sliusarenko V. N. Importance of simulation modelling for technological design and evaluating parameters of cargo terminals // Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2017. №2. [Vestnik ASTU. Series: Marine engineering and technology. 2017. №2]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-imitatsionnogo-modelirovaniya-v-tehnologicheskompromektirovanii-i-otsenke-parametrov-gruzovyh-terminalov> (In Russ.)
7. Efimova M.N., Mamedova T.F. Crowd behavior modeling in Anylogic system // matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie estestvenno-nauchnykh i sotsial'nykh problem. Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh spetsialistov, aspirantov i studentov. Pod redaktsiei I.V. Boikova. [mathematical and computer modeling of natural science and social problems. Materials of the XIV International Scientific and Technical Conference of Young Specialists, postgraduates and students. Edited by I.V. Boikov]. Penza. 2020. 114–118. (In Russ.)
8. Fomina I. K., Taranukha S.N., Sykalova K.V., Problems of using the anylogic platform toolkit when training specialists in the field of simulation modeling // novye obrazovatel'nye strategii v sovremennom informatsionnom prostranstve: Sbornik nauchnykh statei po materialam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii rantov. Sankt-Peterburg, [new educational strategies in the modern information space: Collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference of the Russian Academy of Sciences. St. Petersburg]. 2022. p. 161-167. (In Russ.)
9. Zhushupov S. D. Passenger Port of Saint Petersburg: the future is being created today // Transport Rossiiskoi Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike [Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, economics]. 2007. №8 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/passazhirskiy-port-sankt-peterburg-budushee-sozdaetsya-segodnya> (In Russ.)
10. Fomin V. V., Fomina I. K., Shafikova L. A. Implementation of agent approach to simulation of port bulk and load terminals. Aktual'nye problemy ekonomiki i upravleniya [Actual problems of economics and management]. 2022;(1):51–54. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фомина Инга Константиновна, кандидат технических наук, профессор кафедры математического моделирования и прикладной информатики, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: fominga@list.ru

Шафикова Лилия Альбертовна, магистрант кафедры информационных систем, Российский государственный педагогический

Inga K. Fomina, PhD, Tech., Professor of the Department of Mathematical Modeling and Applied Informatics, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Dvinskaya st., 5/7, 198035, e-mail: fominga@list.ru

Liliy A. Shafikova, master's student of the Department of Information System, Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg,

университет им. А.И. Герцена, 191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48, e-mail: shafikova12@yandex.ru

48 Moika Embankment, 191186, e-mail: shafikova12@yandex.ru

Сыкалова Кристина Владимировна, магистрант кафедры информационных систем, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 191186, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48, e-mail: kristina090100@gmail.com

Kristina V. Sykalova, master's student of the Department of Information System, Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, 48 Moika Embankment, 191186, e-mail: kristina090100@gmail.com

Статья поступила в редакцию 30.11.2022; опубликована онлайн 20.03.2023.
Received 30.11.2022; published online 20.03.2023.