

8. Sokolov, S. S. "Simulator for the efficient cargo stowage in the vessel holds." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3 (2010): 89a–92.
9. Sokolov, S. . "Four-dimentional model of cargo stowing on the ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3 (2011): 75–78.
10. Sokolov, S. S. "Modeling of cargo placing in multimodal transportation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4 (2012): 98–105.
11. Tsarik, R. S., and D. A. Akmaykin. "Obespechenir optimalnoy posadki krupnotonnazhnykh konteynerovozov dlya zadannykh usloviy." *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Sudovozhdenie* 67 (2014): 77–83.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Царик Руслан Станиславович — аспирант.
Научный руководитель:
Акмайкин Денис Александрович.
МГУ им. адм. Г. И. Невельского
rex-infinity@yandex.ru
Акмайкин Денис Александрович —
кандидат физико-математических наук, доцент.
МГУ им. адм. Г. И. Невельского
akmaykin@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tsarik Ruslan Stanislavovich — postgraduate.
Supervisor:
Akmaykin Denis Aleksandrovich.
MSU named after adm. G.I. Nevelskoy
rex-infinity@yandex.ru
Akmaykin Denis Aleksandrovich —
PhD, associate professor.
MSU named after adm. G.I. Nevelskoy
akmaykin@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80
УДК 646.078

**Н. Н. Майоров,
В. А. Фетисов**

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В МОРСКОМ ПАССАЖИРСКОМ ТЕРМИНАЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Современные процессы пассажирских терминалов характеризуются динамической изменчивостью, необходимостью учета разнородных параметров, критериев безопасности, анализа надежности, а также непрерывного исследования процессов обработки пассажиров. Для любого современного терминала необходимо использование инструмента для моделирования пассажирских потоков (некоторой транспортной модели) с целью получения аналитической информации, касающейся операционной деятельности для принятия решения о работе служб порта, о количестве необходимого персонала для обслуживания пассажиров, в соответствии с исходным расписанием заходов судов, о решении группы задач прогнозирования работы терминала. Объектом исследования в работе выбран Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад». Особую сложность вызывает выбор математической модели и практические условия внедрения транспортной модели на конкретный объект. В статье рассмотрен подход анализа операционных процессов с использованием теории надежности, приводятся условия использования графовых моделей. Качественное применение моделей теории надежности требует большого объема статистической информации о работе терминала, что является, на практике, условием ограничения использования данного подхода. Предложен метод определения потенциальных центров скопления пассажиропотоков с использованием геометрических особенностей терминала. Для исследования пассажирских потоков предложено использование логистической цепи перемещения пассажиров. В статье предложена новая логика программного инструментария, отражающего операционные процессы в морском пассажирском терминале. В логику инструмента внесены условия фиксации сбоев и задержек. Особое внимание уделено условиям применения и внедрения разработанного инструментария в реальные процессы пассажирского терминала. Рассматриваются достоинства использования подобных систем при их внедрении на начальных

этапах эксплуатации терминала. Дополнительно в работе сделан вывод об эффективности использования подобных систем для анализа правильности организации внутреннего пространства терминала. Результатом исследования являются примеры аналитической информации по прогнозу операционной деятельности терминала, по анализу загруженности и эффективности организации.

Ключевые слова: транспортные процессы, математическое моделирование, имитационное моделирование, пассажиропоток.

Введение

Система городского пассажирского транспорта крупного города — сложная система, включающая в себя большое число взаимосвязанных и взаимодействующих между собой компонентов и различных видов транспорта. Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» — первый и единственный в Северо-Западном регионе России специализированный пассажирский порт, расположенный в Санкт-Петербурге на намывных территориях Васильевского острова. Комплекс порта включает семь причалов общей длиной 2171,06 м для приема океанских лайнеров длиной до 340 м, три круизных и один специализированный круизно-паромный терминал.

Целью практического исследования является разработка инструмента моделирования пассажирских потоков внутри терминала на микроуровне и работы служб Пассажирского порта Санкт-Петербург «Морской фасад» [1] для создания условий для принятия решения о качественной работе порта и, к примеру, количестве необходимого персонала для обслуживания пассажиров в соответствии с исходным расписанием заходов судов. Дополнительно необходимо отметить, что подобный инструментарий можно использовать для анализа транспортного объекта на предмет безопасности, моделируя различные случаи возникновения чрезвычайных ситуаций или нахождения возможных мест скопления пассажиров внутри терминала.

Инфраструктура пассажирского терминала представляет собой четыре отдельных морских вокзала, отличающихся как по типам круизных судов, которые могут пришвартоваться, так и такими параметрами как, например, число кабин паспортного контроля. При максимальной загруженности пассажирского порта все морские вокзалы работают параллельно, при этом нагрузка на них различна. Необходимо также отметить, что у них есть и архитектурные отличия, которые оказывают влияние на организацию пассажирских потоков. Архитектурные особенности имеют важную роль при практической реализации имитационной модели в программной среде.

Согласно источнику [1], количество пассажиров круизных судов с каждым годом увеличивается. Только в 2016 г. наблюдалось снижение данных параметров на 2 – 3 %. На это снижение повлияла экономическая ситуация. При этом нагрузка на службы терминала, которые обрабатывают пассажирские потоки, увеличивается. При увеличении нагрузки увеличивается и вероятность возникновения сбоя в каком-либо отдельном подразделении. Сбой может вызвать задержку по всей цепи обработки, так как структура обработки пассажиров реализуется линейными моделями.

Методы анализа работы служб терминала на основе теории надежности

Работа вокзала зависит от множества параметров, таких как наличие человеческого фактора, прохождение паспортного и пограничного контроля, состояние информационных систем, продолжительность посадки/высадки пассажиров и др. Нарушение работы одного из факторов приводит к затруднению движения пассажиропотока и нарушению целостности работы всей системы, а это, в свою очередь, ведет к потере пропускной способности и экономическим потерям. В связи с этим возникает задача исследования, планирования и оптимизации работы морского вокзала, которая достаточно трудно реализуется традиционными алгоритмическими методами. Решение этой задачи позволит ответить на вопрос о том, как повлияет изменение нагрузки на работу всех систем вокзала в комплексе, что произойдет в случае, если в несколько раз увеличится пассажиропоток, как повлияет внедрение новых служб или новый режим работы на пассажиропоток. В первую

очередь исследуется операционная надежность системы. На практике лица, принимающие решения, стремятся основываться на статистической информации по работе служб и подразделений. При наличии сбоев производится их фиксация, выполняется анализ ситуации и определяется, к примеру, интенсивность отказов. Методики сбора данных о работе элементов транспортного узла приведены в работах [2] и [3].

Для анализа надежности операционных процессов обработки пассажиров необходимо проанализировать логистическую цепь движения пассажиров. Так как она реализуется линейной структурой, пассажир перемещается от точки до точки, для оценки надежности системы используется соотношение

$$P_i(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t)\dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (1)$$

где $P_i(t)$ — вероятность безотказной работы i -го элемента при обработке пассажиропотока за время t .

Для решения группы прогнозных задач необходимо проанализировать интенсивности отказов. При оценке надежности работы подразделения на основе интенсивности отказов используется следующее соотношение

$$P_i(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt\right), \quad (2)$$

где $\lambda_i(t)$ — интенсивность отказов в работе системы.

Интенсивность отказов соответствующей службы определяется на основе анализа работы соответствующего подразделения за определенный интервал времени в прошлом.

Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» реализован с учетом постоянного поэлементного резервирования. К примеру, на морском вокзале № 2 построено 28 кабин паспортного контроля. Если какая-то группа выйдет из строя, то открывается возможность перенаправить пассажирские потоки к свободным кабинам. Перестройка всей схемы работы при отказах не происходит. Вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием можно представить в виде

$$P_i(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - \prod_{j=0}^{m_i} (1 - p_{ij}(t)) \right\}, \quad (3)$$

где $P_{ij}(t)$ — вероятность безотказной работы элемента системы в интервале времени $(0, t)$;

m_j — кратность резервирования элемента группы.

Оценка параметров надежности операционных процессов служб, вовлеченных в обработку пассажиров, позволяет оценить надежность и стабильность работы терминала, но не позволяет перейти на уровень анализа пассажирских потоков. Для выполнения такого анализа необходим расчет интенсивности отказов, однако его качественно можно рассчитать только с помощью анализа интенсивности пассажирских потоков.

Методы анализа пассажиропотоков внутри пассажирского терминала

Другим способом анализа работы пассажирского терминала является анализ на основе структурной схемы [4]. Данный способ, в котором использован набор векторных операторов, соответствующих каждому подразделению, вовлеченному в обработку пассажиров, позволяет получить зависимости взаимного влияния подразделений между собой. Полученную структурную схему можно преобразовать к графовому виду. На основе формулы Мейсона [4] можно получить связи между любыми двумя вершинами графа, исключив все промежуточные. Однако данный метод не позволяет учитывать характер пассажиропотока. Поскольку каждый пассажир обладает индивидуальными целевыми функциями, можно сказать, он составит свой особый путь перемещения внутри пассажирского терминала, который можно представить геометрически (рис. 1). Совокупность индивидуальных перемещений образует потенциальные центры концентрации пасса-

жиров внутри терминала. К примеру, нахождение точки концентрации пассажиропотоков может быть вычислено на основе рис. 1.

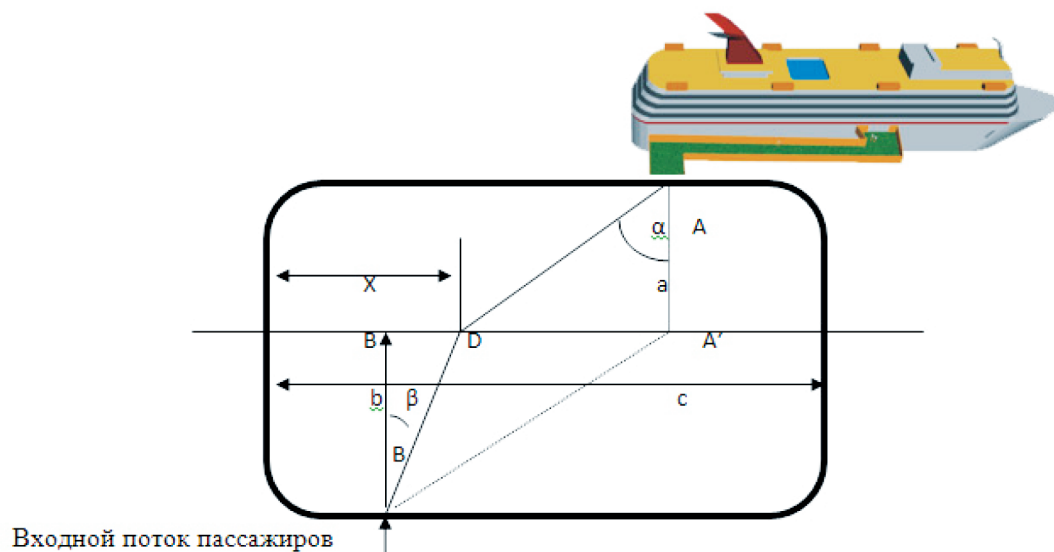


Рис. 1. Перемещение пассажира внутри терминала (вид сверху)

Согласно рис. 1, расстояние DA' будет определяться как $(c - x)$. Тогда рассматриваем два пути перемещения пассажира:

$$L_1 = \sqrt{b^2 + x^2}; \quad L_2 = \sqrt{a^2 + (c - x)^2}. \quad (4)$$

Введем параметры S_1 и S_2 , представляющие собой параметры стоимости (эффективности) перемещения пассажира внутри терминала. Тогда перемещение пассажира из точки B (вход в терминал) в A (посадка на паром) выразится следующим способом:

$$y = S_1 \sqrt{b^2 + x^2} + S_2 \sqrt{a^2 + (c - x)^2}. \quad (5)$$

Определим минимум полученной функции, для чего найдем первую производную и приравняем ее к нулю. Получим следующее соотношение, которое отражает расположение точки D . Его также можно получить и при переходе к малости угла:

$$\frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}} \Bigg/ \frac{c - x}{\sqrt{a^2 + (c - x)^2}} = \frac{S_2}{S_1}. \quad (6)$$

Данный геометрический метод позволяет определить точку концентрации и, таким образом, теоретически спрогнозировать ее на основе геометрии терминала. При усложнении перемещения пассажира с учетом множества перемещений, что имеет место на практике, данный метод приводит к очень большим уравнениям, которые являются достаточно трудоемкими для расчета аналитически. Данная методика имеет хорошие результаты при оценке перемещения небольшого числа пассажиров, но современные условия требуют прогнозирования любых перемещений, не ограничиваясь только определенными пассажирами.

Главная проблема, возникающая при моделировании движения пассажира, заключается в сложности воссоздания правдоподобного поведения. Пассажир перемещается, руководствуясь личностными целями. В модель перемещения пассажира необходимо включить случайные цели перемещений, которые могут возникнуть в случайные моменты времени. Можно выполнить анализ на основе перечисления всех целей перемещения пассажиров в терминале, но тогда при моделировании возникнет задача закрепления конкретных целей за определенным пассажиром. Данный путь сведет задачу к перебору различных вариантов.

На практике для моделирования пассажиропотоков основываются на различных физических моделях. Классический подход подразумевает представление потока пассажиров, к примеру, в виде некоего вещества, состоящего из крупных объектов в определенных границах. Данный поток характеризуется определенным набором параметров. Необходимо найти такую модель, которая будет, с одной стороны, правильна в реализации, а с другой стороны, будет воспроизводить близкое к реальным процессам поведение пассажиров. При выборе модели пассажирского терминала необходимо определить ряд таких параметров, как выбор микро- или макроскопического уровня пассажирского терминала. Выбор уровня будет определять количество пассажиров, участвующих в моделировании. На микроскопическом уровне возможно описать отдельные последовательности перемещений отдельными пассажирами. В этом случае появляется возможность промоделировать отдельные сценарии. На макроскопическом уровне невозможно выделить отдельного пассажира. На данном уровне объектами исследования являются пассажирские потоки, которые можно структурно представить в форме раскрашенных графов.

При разработке имитационной модели необходимо заложить свойства детерминированной или стохастической модели. В детерминированной модели все возможные перемещения и реакции пассажира определены. В стохастической модели пассажир может по-разному реагировать на одну и ту же ситуацию. Фактически пассажир может быть представлен некоторым агентом [5] – [7]. Индивидуальное поведение каждого агента образует глобальное поведение моделируемой системы.

Так как каждый пассажир находится в окружении других пассажиров, на него это оказывает дополнительное воздействие. Пассажир подчиняется правилам и воздействию на него со стороны других пассажиров и со стороны инфраструктуры пассажирского терминала. Решение пассажира принимается в зависимости от размера результирующей величины суммы сил, действующих на него. К примеру, при наличии очереди на регистрации, пассажир, при наличии времени, может переместиться движимый другой целью, к примеру, к газетному киоску, и потом вернуться к первоначальной цели.

При моделировании необходимо стремиться к «реализму» работы модели. Модель с высокой степенью точности будет стараться реализовать движение потока с максимально приближенными к реальности алгоритмами выбора решений, пути и т. п. Модель с низкой степенью точности может быть вовсе лишена какой бы то ни было интеллектуальности. Первая модель ведет к большей сложности, росту числа переменных и увеличению времени ответа, так как при этом будет обрабатываться большое число данных. Модель с более низкой точностью может быть легче реализована, быстрее работать, если учтены ошибки и погрешности.

Среди существующих моделей пешеходных потоков можно выделить такие как модель притягивающихся сил, модели, использующие теорию очередей для описания движения пешеходов с использованием вероятностных функций, модели «клеточные автоматы», газокинетические модели, модель социальных сил [8] – [12]. Данные модели основываются на специализированных математических моделях пассажирских потоков. Необходимо также отметить, что существуют расчетные модели, при использовании которых большая часть параметров один раз рассчитывается на основании данных практического эксперимента. Составляются табличные зависимости пассажиропотока. В дальнейшем эти данные используются для описания движения пешеходного потока и могут вводиться как исходные данные.

Практическое моделирование операционных процессов и пассажиропотоков в морском пассажирском терминале

Отечественный и зарубежный опыт доказал эффективность применения имитационного моделирования для принятия грамотных решений в сфере транспорта. Необходимо отметить, что каждый транспортный объект обладает уникальными характеристиками и особенностями протекания внутренних и внешних процессов. На рынке программных систем для моделирования транспортных процессов не существует универсального инструментария, который

бы одновременно подходили для различных транспортных объектов, и для различных видов транспорта.

Традиционное проектирование морских пассажирских терминалов производится с учетом следующих этапов:

1-й этап — моделирование, как правило, применяется лишь на последних этапах проектирования;

2-й этап — расчет пропускной способности производится по эмпирическим правилам, т. е. с использованием электронных таблиц, справочников или нормативных источников;

3-й этап — при моделировании прорабатывается только ограниченное число сценариев;

4-й этап — моделирование уже готового рабочего проекта терминала с целью его тестирования и подтверждения перед началом реализации. При этом если на этапе выявляются недочеты и «узкие места», то, как правило, для серьезных изменений времени уже нет.

Имитационная модель должна быть реализована на начальных этапах проработки проекта терминала [4], [5] и использоваться параллельно реализации проекта. После завершения строительства терминала созданная имитационная модель с учетом конструктивных доработок должна преобразоваться в транспортную модель. Транспортная модель на основе имитационной позволит решать следующие задачи.

1. Расчет параметров пропускной способности пассажирского терминала.

2. Определение числа необходимых каналов / ресурсов обслуживания в соответствии с будущим спросом на паромные перевозки.

3. Моделирование различных вариантов конфигурации терминала и оценка их влияния на пассажирские потоки.

4. Моделирование поведения пассажиров, пользующихся услугами магазинов и точек питания, в целях оптимизации расположения зон торговли.

5. Моделирование возникновения чрезвычайных ситуаций и проведение анализа на уязвимости транспортного объекта.

Рассмотрим, к примеру, анализ операционной концепции с точки зрения максимальной пропускной способности. Для определения максимальной пропускной способности при расширении новых паромных судов на линии либо при увеличении числа пассажиров на рейсе необходимо использование моделирования. Анализ результатов моделирования на основе показателей позволяет определить:

- длину очередей на участках обслуживания;
- время ожидания на участках обслуживания;
- анализ потоков пассажиров;
- использование / занятость площадей терминала;
- эффективность обслуживания;
- пропускную способность;
- общее время процессов обслуживания.

Таким образом, можно достичь обеспечения стабильности операционных процессов. По итогам анализа появляется возможность выявления перегруженных участков.

При создании имитационной модели для максимально реалистичного отражения необходимо сосредоточиться на ключевых моментах. Для максимальной приближенности к реальности требуется калибровка имитационной модели. Для обеспечения требуемой точности результатов различные анализируемые области пассажирского терминала могут отличаться по уровню детализации.

На первом этапе исследования была выбрана математическая модель и прописаны алгоритмы работы терминала для точного описания процессов пассажирского терминала. За основу был выбран аппарат систем массового обслуживания и методология агентного моделирования. Система массового обслуживания включает несколько основных элементов: входящий поток, очередь для прохода контрольно-пропускного пункта, обслуживающее устройство (рамка металло-

искателя и рентгеновский сканер), очередь для прохода секторов пограничного контроля, обслуживающее устройство (металлодетекторы, интроскопы) и выходящий поток. С каждым из них связан ряд возможных допущений относительно протекания процессов обслуживания. Для моделирования использовалась библиотека Any Logic Pedestrian Library. В моделях, созданных с помощью Pedestrian Library, пассажиры передвигаются непрерывно, реагируя на различные виды препятствий [12] – [14]. Пассажиры моделируются как взаимодействующие агенты со сложным поведением. Для быстрого описания потоков Pedestrian Library обеспечивает высокоуровневый интерфейс в виде блочной диаграммы. Среда Any Logic [15] позволяет выполнить моделирование не только с использованием Pedestrian Library, но и на основе как дискретно-событийного, так и агентного моделирования. Недостатком второго метода является невозможность создания трехмерной реализации.

На втором этапе исследования была построена логистическая цепь движения пассажиров в порту, реализованная в форме ориентированного графа (рис. 2). Данная модель позволяет прогнозировать общее время прохождения пассажира на всех этапах обслуживания.

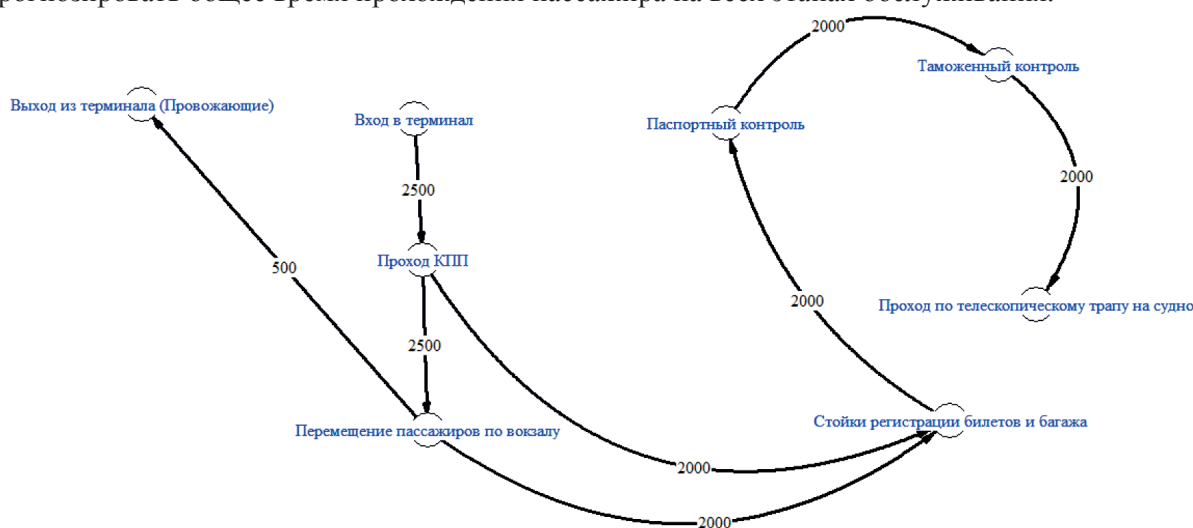


Рис. 2. Логистическая цепь движения пассажиров в порту

После разработки логистической цепи движения пассажира необходимо разработать структурную схему имитационной модели и установить взаимосвязь между элементами, составляющими систему обработки пассажира (рис. 3).

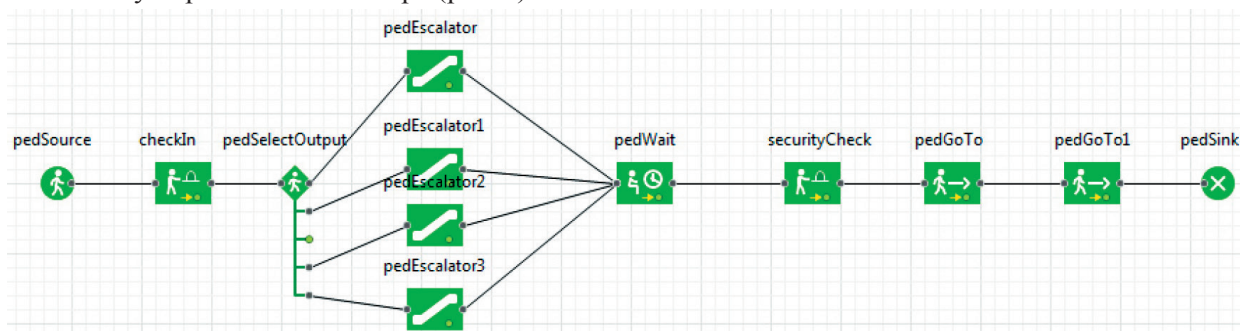


Рис. 3. Логика имитационной модели работы пассажирского порта (фрагмент)

При изучении архитектуры Пассажирского порта Санкт-Петербурга «Морской фасад» было принято решение о прорисовке порта вручную с учетом архитектурных пропорций строения. Следующим этапом явилось выполнение моделирования на основе реального расписания заходов пассажирских судов (рис. 4 и 5).

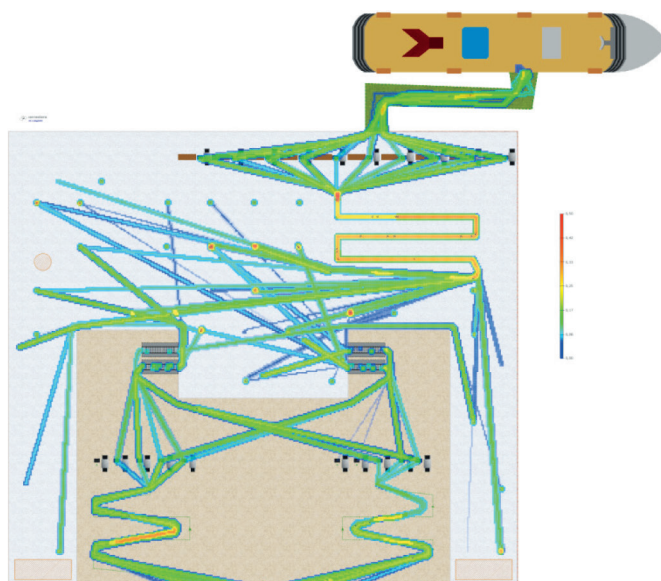


Рис. 4. Плотность пассажирских потоков



Рис. 5. Трехмерная реализация модели

В результате моделирования получился большой объем аналитической информации по пассажиропотокам и времени операционных параметров загрузки порта. На каждом этапе обработки пассажира производится анализ полученного времени обслуживания и его сравнение с эталонным. К примеру, на прохождение досмотра на одного пассажира выделяется не более трех минут. При выходе за данный интервал времени система формирует информационное сообщение для лица, принимающего решение. После завершения моделирования лицо, принимающее решение, может провести анализ возможных сбоев в операциях обработки пассажиров. Интенсивность пассажиропотоков за определенный интервал времени представлена на рис. 6.

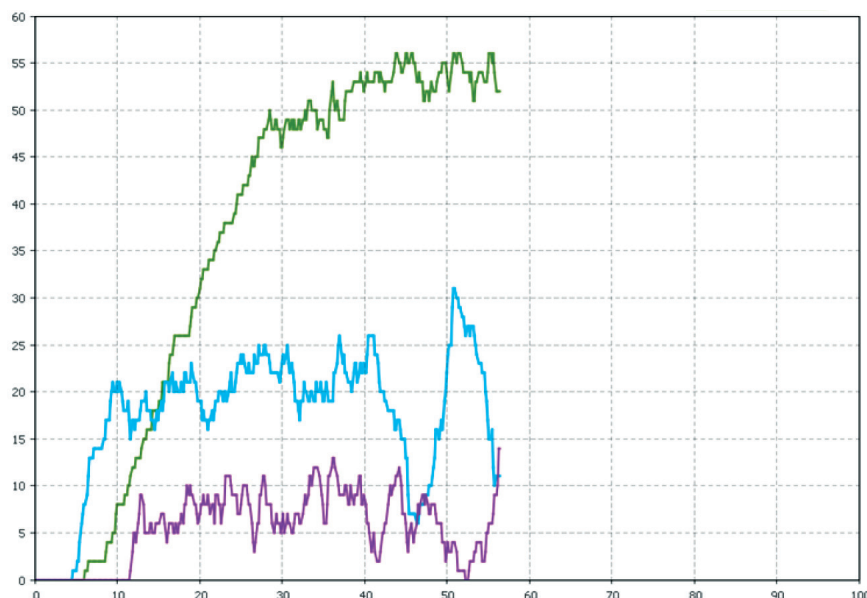


Рис. 6. Интенсивность пассажиропотоков морского пассажирского терминала

Инструментальное средство учитывает особенности всех важнейших элементов морского вокзала, влияющих на пассажиропоток как на микро-, так и на макроуровне. Однако необходимо отметить, что одной из основных сложностей на пути решения задачи моделирования всего комплекса причалов является трудоемкость сбора данных о пассажиропотоках всей системы.

Выводы

1. В статье рассматривается методика исследования операционных процессов морского пассажирского порта с использованием имитационного моделирования. Обосновываются условия анализа работы служб терминала на основе теории надежности и указывается необходимость анализа интенсивности пассажирских потоков. Качественное применение моделей теории надежности требует большого объема статистической информации по работе терминала, что является условием ограничения использования данного подхода. Дополнительно указывается на наличие конструктивных особенностей терминала, которые могут быть источниками возникновения задержек или «слабых мест» в обработке пассажиров.

2. В работе предлагается математическая модель нахождения концентрации пассажиропотока с использованием геометрических параметров терминала. Подобная модель может использоваться как для нахождения точки размещения служб терминала, так и для прогнозирования потенциальных центров скопления пассажиров. В статье обосновываются границы применимости данной модели.

3. С целью создания отдельной транспортной модели обосновывается применение имитационного моделирования как инструментария, позволяющего провести многокритериальный анализ операционной деятельности пассажирского порта. В работе реализована логистическая цепь движения пассажиров, представлена логика программного инструментария, отражающего операционные процессы. В модель включено агентное поведение пассажиров, реализующее случайные процессы и условия фиксации задержек в обслуживании пассажиров для лица, принимающего решение. В результате моделирования получены аналитические параметры работы служб и подразделений. Разработанная имитационная модель обладает не только высокой точностью моделирования (позволяет получать количественные характеристики на каждом этапе обслуживания пассажиров), но и обеспечивает прогнозирование пассажиропотока на несколько часов вперед на основе реальных данных. После завершения моделирования лицо, принимающее решение, может выполнить анализ возможных сбоев в операциях обработки пассажиров.

4. Дополнительно разработанный инструментарий позволяет решить круг экономических вопросов, касающихся эффективности организации внутреннего пространства пассажирского терминала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пассажирский порт Санкт-Петербург [Электронный ресурс]: Официальный сайт. — Режим доступа: <http://www.portspb.ru/> (дата обращения — 11.10.2016).
2. Майоров Н. Н. Практические задачи моделирования транспортных систем / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов. — СПб.: Изд-во ГУАП, 2012. — 185 с.
3. Майоров Н. Н. Исследование состояний контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования / Н. Н. Майоров, А. В. Кириченко, В. А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). — С. 7–15.
4. Сольнищев Р. И. Модели и методы принятия проектных решений / Р. И. Сольнищев. — СПб: ЛЭТИ, 2010. — 68 с.
5. Понятовский В. В. Морские порты и транспорт (эволюция) / В. В. Понятовский. — М.: МГАВТ, 2006. — 429 с.
6. Handbook of Terminal Planning / edited by J. W. Böse. — Springer Science+Business Media, LLC, 2011. — 456 p. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.
7. Кириченко А. В. Введение в транспортную логистику / А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов, О. А. Ражев [и др.]. — СПб.: Изд-во ГУАП, 2011. — 228 с.
8. Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении / Д. Ю. Каталевский. — М.: Изд. дом «Дело» РАНХиГС, 2015. — 496 с.
9. Helbing D. Self-organizing pedestrian movement / D. Helbing, P. Molnár, I. Farkas, K. Bolay // Environment and Planning B: planning and design. — 2001. — Vol. 28. — No. 3. — Pp. 361–383. DOI: 10.1068/b2697.

10. Gipps P. G. A micro-simulation model for pedestrian flows / P. G. Gipps, B. Marksjö // Mathematics and computers in simulation. — 1985. — Vol. 27. — Is. 2–3. — Pp. 95–105. DOI:10.1016/0378-4754(85)90027-8.
11. Akopov A. S. Simulation of human crowd behavior in extreme situations / A. S. Akopov, L. A. Beklaryan // International Journal of Pure and Applied Mathematics. — 2012. — Vol. 79. — No. 1. — Pp. 121–138.
12. Helbing D. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations / D. Helbing, I. Farkas, P. Molnar, T. Vicsek // Pedestrian and evacuation dynamics. — 2002. — Vol. 21. — № 2. — Pp. 21–58.
13. Бекларян А. Л. Имитационная модель поведения толпы в среде разработки AnyLogic / А. Л. Бекларян // Вестник Бурятского государственного университета. — 2015. — № 9. — С. 40–53. DOI: 10.18097/1994-0866-2015-0-9-40-53.
14. Jugović A. Organization of Maritime Passenger Ports / A. Jugović, V. Mezak, G. Nikolić // Pomorskizbornik. — 2006. — Vol. 44. — Is. 1. — Pp. 93–104.
15. Anylogic [Электронный ресурс]: Официальный сайт. — Режим доступа: www.anylogic.ru (дата обращения – 20.10.2016).

RESEARCH OF OPERATIONAL PROCESSES PASSENGER SERVICES IN THE MARINE PASSENGER TERMINAL USING SIMULATION

Modern marine passenger terminals are characterized by dynamic processes variability, the need to consider diverse options, taking into account the criteria of safety, reliability analysis, continuous research passenger processing. For any modern marine terminal is necessary to use the tool to simulate passenger flows (a transport model) to obtain analytical information for decision-making on the work of port services, the number of personnel required for passenger service, in line with the original schedule of cruise ships, about the decision of the group forecasting problems of the terminal. The object of study of St. Petersburg passenger port "Marine Facade" was selected. Of particular difficulty is the choice of the mathematical model and the practical conditions for the implementation of the transport model to a particular transport object. In the article the approach of analysis of operational processes using reliability theory, given the conditions of use of graph models. Qualitative application reliability theory models require a large amount of statistical information on the terminal, that is, in practice, the condition for limiting the use of this approach. This paper proposes a method to identify potential centers of passenger traffic congestion using geometric features of the terminal. The use of supply chain movement of passengers have been proposed for the study of passenger flows. The paper proposes a new logic software tools reflecting the operational processes in the marine passenger terminal. The logic of the instrument conditions listed fixing glitches and delays. Particular attention is paid to the conditions of use and implementation of tools developed in the actual processes of the passenger terminal. The paper discusses advantages of using such systems for their introduction in the early stages of operation of the terminal. In addition, the conclusion about the effectiveness of such systems for the analysis of the correctness of internal space of the marine terminal. The study represents an example of analytical information on the forecast of the terminal operations, the analysis of the workload and efficiency of the organization marine terminal.

Keywords: transport processes, mathematical modeling, simulation, passenger flow simulation.

REFERENCES

1. Passazhirskij port Sankt-Peterburg. Web. 11 Oct. 2016 < <http://www.portspb.ru/> >.
2. Majorov, N. N., and V. A. Fetisov. *Prakticheskie zadach imodelirovanija transportnyh sistem*. SPb.: Izd-vo GUAP, 2012.
3. Majorov, Nikolai Nikolaevich, Aleksandr Viktorovich Kirichenko, and Vladimir Andreevich Fetisov. "Research operational management container terminal based on the transport model and simulation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. 3(37) (2016): 7–15.
4. Solncev, R. I. *Modeli i metody prinjatija proektnyh reshenij*. SPb: LJeTI, 2010.
5. Ponjatovskij, V. V. *Morskie porty i transport (jevoljucija)*. M.: MGAVT, 2006.
6. Böse, Jürgen W., editor. *Handbook of Terminal Planning*. Springer Science+Business Media, LLC, 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.
7. Kirichenko, A. V., A. L. Kuznecov, O. A. Razhev, et al. *Vvedenie v transportnuju logistiku*. SPb.:Izd-vo GUAP, 2011.

8. Katalevskij, D. Ju. *Osnovy imitacionnogo modelirovanija i sistemnogo analiza v upravlenii*. M.: Izdatelskijdom «Delo» RANHiGS, 2015.
9. Helbing, D., P. Molnár, I. Farkas, and K. Bolay. "Self-organizing pedestrian movement." *Environment and Planning B: planning and design* 28.3 (2001): 361–383. DOI: 10.1068/b2697.
10. Gipps, Peter G., and B. Marksjö. "A micro-simulation model for pedestrian flows." *Mathematics and computers in simulation* 27.2–3 (1985): 95–105. DOI:10.1016/0378-4754(85)90027-8.
11. Akopov, Andranik S., and Levon A. Beklaryan. "Simulation of human crowd behavior in extreme situations." *International Journal of Pure and Applied Mathematics* 79.1 (2012): 121–138.
12. Helbing, Dirk, I. Farkas, P. Molnar, and T. Vicsek. "Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations." *Pedestrian and evacuation dynamics* 21.2 (2002): 21–58.
13. Beklaryan, Armen L. "Simulation model of crowd behavior in the IDE Any Logic." *The BSU Bulletin* 9 (2015): 40–53.
14. Jugović, Alen, Vlado Mezak, and Slavko Lončar. "Organization of Maritime Passenger Ports." *Pomorskizbornik* 44.1 (2006): 93–104.
15. Anylogic. Web. 20 Oct. 2016 <www.anylogic.ru>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майоров Николай Николаевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»
sciencesuai@yandex.ru
Фетисов Владимир Андреевич —
доктор технических наук, профессор.
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»
Fetl@aanet.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Majorov Nikolaj Nikolaevich —
PhD, associate professor.
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
sciencesuai@yandex.ru
Fetisov Vladimir Andreevich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
Fetl@aanet.ru

Статья поступила в редакцию 2 ноября 2016 г.