

Исследование пропускной способности аэровокзального комплекса, операционных процессов и загруженности служб с помощью моделирования

Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, В. Е. Таратун

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
info@guap.ru

Аннотация. Рост интенсивности полетов и сезонных пиковых нагрузок на аэропорт, изменение динамики пассажиропотока и сложное влияние внешней среды формируют устойчивое требование к внедрению в практику новых моделей по оценке загруженности служб и процессов, к новым подходам прогнозирования развития аэропортов. Актуальность и новизна исследования определяется тем, что данные модели должны способствовать разработке системы принятия решений по управлению аэропортом и процессами при возможной неопределенности, позволять исследовать различные сценарии работы служб и подразделений, вовлеченных в обслуживание пассажиров. Объектом исследования выбран аэропорт Пулково (Санкт-Петербург). Применение имитационного моделирования с учетом динамических моделей поведения пассажиров и случайного характера возникновения событий в аэропорту, позволяет создать цифровой двойник процессов работы служб аэропорта, что позволяет решать задачу принятия решений на качественно новом уровне. Отличительной особенностью и новизной является возможность учета различных моделей поведения пассажиров и обеспечение детализации работы и загруженности каждой службы аэропорта.

Ключевые слова: аэропорт; интенсивность пассажиропотока; агентное моделирование; загруженность служб; пропускная способность аэропорта; цифровая модель

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные аэропорты и терминалы являются точками роста применения новых цифровых решений. Многие индустриальные компания стремятся найти решения и технологии по ускорению процессов обслуживания пассажиров, вводя новые информационные сервисы, создавая точки саморегистрации, терминалы самостоятельной сдачи багажа, вводя новые методы идентификации пассажиров. Кроме того, аэропорты стремятся расширяться, разрастаются терминалами, увеличиваются рейсы, внутри аэропортов выстраиваются целые экосистемы, появляются крупные авиахабы. Однако одним из основных параметров оценки аэропорта является его пропускная способность, оценка оперативности и слаженности работы служб терминала в процессе наземной обработки воздушного судна и

пассажиров в терминале. Ежегодный рост пассажиропотока, увеличивающаяся интенсивность полетов, а также открытие новых направлений следования напрямую влияют на систему аэропорта в целом, увеличивая на нее нагрузку. К примеру, одним из крупнейших аэровокзальных комплексов России является аэропорт Пулково (ООО «Воздушные Ворота Северной Столицы») который находится в непрерывном обновлении и модернизации. Согласно источнику [1] к 2039 году интенсивность пассажиропотока составит не менее 35 млн пассажиров в год, в связи с чем возникает актуальная задача обеспечения оптимальной работы аэровокзального комплекса, который напрямую влияет на эффективность перевозок воздушным транспортом. К тому же, развитость существующей инфраструктуры с учетом роста пассажиропотока может быть попросту не готова к таким нагрузкам и потребует в дальнейшем ее реконструкция. Поэтому крайне актуальной задачей является оценка загруженности служб аэропорта, оценка операционных процессов. При этом сложность заключается в наличии динамической составляющей пассажиропотока, которую нельзя описать только линейными моделями. Каждый пассажир перемещается по терминалу на основе своих собственных целевых установок. Ввиду динамики влияния внешней среды необходимо наличие информационных сервисов, которые позволяют решать задачу прогнозирования работы, оценки загруженности отдельных служб. Разработка данных информационных цифровых двойников актуальная, так как решается задача обеспечения получения данных как на микроуровне аэропорта, на уровне отдельной службы или процесса, так и представление данных по работе всех служб по обслуживанию пассажиров как единой системы.

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Перспективным подходом для исследования текущего состояния работы аэровокзального комплекса, определения ключевых характеристик, выработки решений по их улучшению, а также прогнозированию различных ситуаций с целью определения устойчивости системы в пиковых нагрузках является применение имитационного моделирования с учетом динамических моделей. Модели класса систем массового обслуживания

позволяют найти определенное состояние [2], к примеру, пассажиропотока и загрузки службы, но не позволяют динамично внести корректировки. Возникают задачи пересчета и точности включения всех внешних факторов. Основной задачей аэровокзального комплекса является контроль и обслуживание как прилетающих, так и улетающих пассажиров. В свою очередь одной из ключевых характеристик его является пропускная способность. При этом возникновение внештатных ситуаций значительно влияет на работу системы, запуская механизм цепных реакций в элементах системы, которые способствуют возникновению сбоев в работе и как следствие задержку рейсов. При возникновении данных сбоев для оценки работы элемента системы, выявления причины и в дальнейшем ее устранения привлекается профессиональный сотрудник, который позволяет восстановить его функциональность. Данный способ является не всегда применимым ввиду невозможности остановки работы части системы. Применение моделирования работы элементов обслуживания пассажиропотока аэровокзального комплекса позволяет избежать таких ситуаций за счет возможности прогнозирования и выявления проблемных мест в системе для выработки сценариев восстановления работоспособности. Наличие в системе аэропорта не только статических параметров, а также и динамических процессов, которые порождают изменения системы, требуют применения специальных методов и средств – имитационного моделирования.

Имитационное моделирование является в своем роде методом, имеющем в своем арсенале средства для построения цифрового двойника реальной системы аэропорта, исследуя который можно оценить ее работу и выполнить оптимизацию [2–5].

Имитационное моделирование [5–6] позволяет проводить эксперименты для оценки работы системы, ее устойчивости к нагрузкам, путем изменения таких параметров как расписание вылета, график прибытия воздушного судна, сценарии обслуживания пассажиропотока и маршрут перемещения, количество необходимого оборудования для обслуживания, возникновение сбоев и другие.

III. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ, ОПЕРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЗАГРУЖЕННОСТИ СЛУЖБ

Так как аэровокзальный комплекс является системой массового обслуживания пассажиропотока и багажа, то при росте интенсивности требуется увеличение пропускной способности аэровокзала.

Система аэровокзального комплекса, направленная на обслуживание пассажиров, может быть представлена в виде ряда последовательно соединенных в технологическом процессе элементов (рис. 1).



Рис. 1. Схема обслуживания пассажиров при вылете в аэропорту

На рис. 1 цветом выделены места возникновения очередей и сбоев. В каждом из представленных элементов на рис. 1 пассажир затрачивает определенное время для выполнения процесса обслуживания. В случае задержки возникает очередь и возрастает загрузка службы или процесса. Данный показатель вносится в имитационную модель и при возникновении его роста система должна сообщать о возможном сбое в данном элементе.

Общее время обслуживания пассажиропотока может быть представлено в виде линейной схемы:

$$T_{o.n.аэропорта} = \sum_{i=1}^N t_i$$

где N – количество операций; i – этапы обслуживания пассажиропотока; t_1 – проверка пассажира на входе в аэровокзал; t_2 – проверка багажа пассажира при перемещении в аэровокзал; t_3 – досмотр багажа пассажира на входе в операционный зал; t_4 – прием и сверка настоящие регистрации паспорта пассажира и багажа; t_5 – набор/считывание компьютером данных о билете пассажиров; t_6 – отрыв контрольного талона для ручной клади и багажа; t_7 – установка багажа на ленту транспортера; t_8 – закрепление талона на ручке багажа; t_9 – ожидание паспортного контроля; t_{10} – прохождение паспортного контроля; t_{11} – повторный досмотр пассажира и ручной клади; t_{12} – ожидание разрешения на посадку; t_{13} – получение посадочного талона; t_{14} – проход по телескопическому трапу или посадка в автобус, отправляющийся к самолету.

Однако если рассматривать возможные сбои или задержки, то модель преобразуется к следующему стохастическому виду (рис. 2).

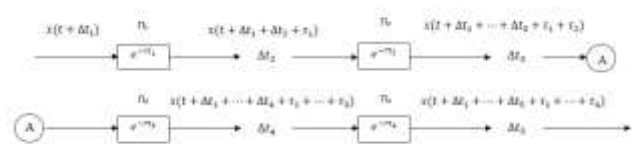


Рис. 2. Модель работы служб с учетом возможных задержек

Основной задачей при построении цифровой модели аэропорта является сбор статистики о загрузке каждой зоны аэропорта, данные по работе служб, нахождении среднего времени обслуживания пассажиров, исследовании пропускной способности.

В качестве среды моделирования была использована среда AnyLogic [7].

Алгоритм реализации имитационной модели представлен на рис. 3.



Рис. 3. Алгоритм работы модели цифрового двойника аэровокзального комплекса

При построении модели цифрового двойника использовалась специализированная библиотека программного комплекса Anylogic, которая позволила представить процесс движения и обслуживания пассажиров в системе аэровокзального комплекса [8]. Модель цифрового двойника состоит из двух основных частей – среды и поведения. Среда включает в себя различные физические объекты аэропорта – стены, очереди и прочие уникальные параметры аэропорта. Объекты назначаются графическим элементом разметки. Применение агентного метода моделирования позволило реализовать уникальную особенность сущности объекта типа пассажир и наделить его индивидуальными особенностями в системе.

На рис. 4 и рис. 5 представлены примеры визуального представления реализации операционных процессов при обслуживании пассажиропотока в элементах системы.

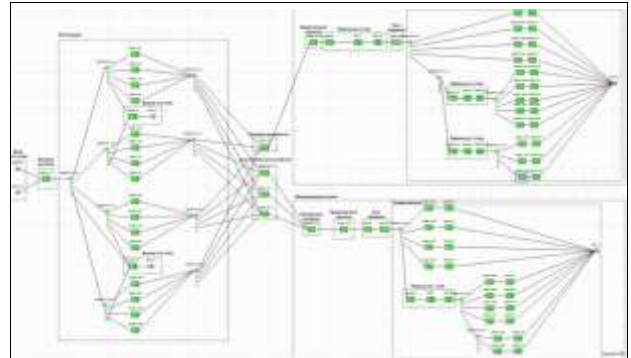


Рис. 4. Пример визуального представления выполнения операционных процессов при обслуживании пассажиропотока на 2 этаже аэропорта Пулково (Санкт-Петербург)

На рис. 5 визуального представления представлена картограмма плотности движения пассажиропотока в том или ином элементе обслуживания согласно выполненной имитации.

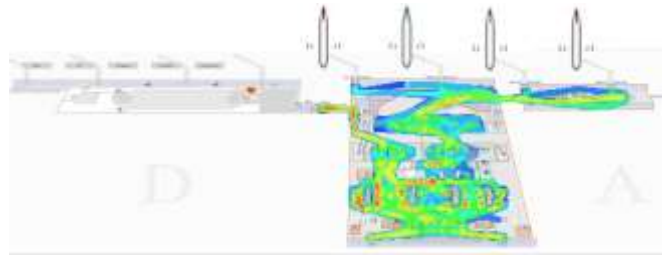


Рис. 5. Результат оценки интенсивности пассажиропотоков в аэропорту в выбранный интервал времени, согласно расписанию вылетов

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе анализа цифровой имитационной модели аэропорта и сбора статистики по работе служб и подразделений были получены следующие данные, представленные на рис. 6 и 7.

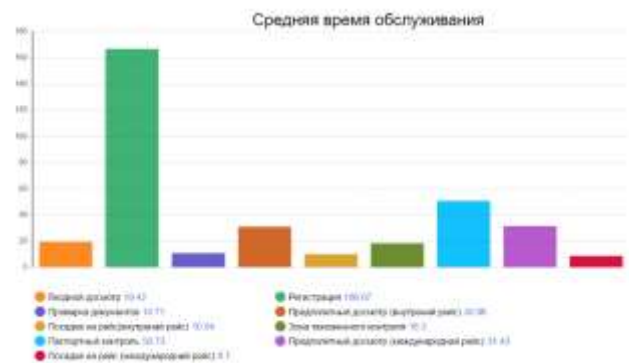


Рис. 6. Статистика о среднем времени обслуживания пассажиропотока в выбранных элементах системы аэровокзального комплекса

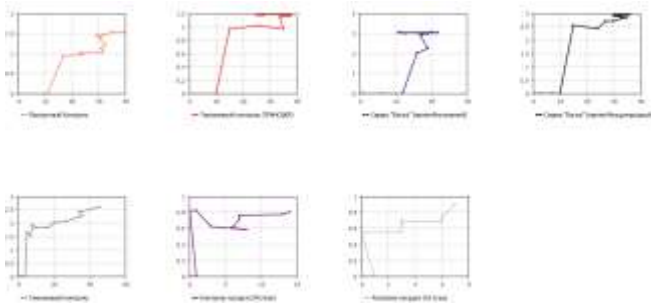


Рис. 7. Графические характеристики загрузки служб аэропорта и среднем времени обслуживания пассажиров

Полученные данные позволяют оценить эффективность системы аэровокзального комплекса при решении задачи обслуживания пассажиропотока как поэлементно, так и в целом по эффективности работы аэровокзального комплекса.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного исследования была разработана модель цифрового двойника аэровокзального комплекса аэропорта Пулково с использованием агентного метода моделирования в среде AnyLogic, в которой была реализована работа всех элементов сложной технической системы, исследован в цифровой модели полный цикл обслуживания пассажиров в аэропорту, что в свою очередь позволило на практике решить задачи прогноза

работы служб в зависимости от пассажиропотока на заданный интервал, оценки загруженности процессов в динамике, что позволяет более оперативно вносить корректировки и решать задачу прогнозирования развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сайт аэропорта Пулково [Электронный ресурс]. — URL: <https://pulkovoairport.ru/about/media-about-us/2020/3254/> (дата обращения: 05.02.2023).
- [2] Фетисов В.А., Майоров Н.Н. Практические задачи моделирования транспортных систем: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2012. 185 с.
- [3] Майоров Н.Н., Фетисов В.А. Метод оценки пропускной способности аэровокзального комплекса с помощью имитационного моделирования // Информационно-управляющие системы. 2014. № 6 (73). С. 82-86.
- [4] Rodríguez-Sanz Á. et al. Queue behavioural patterns for passengers at airport terminals: A machine learning approach // Journal of Air Transport Management. 2021. Vol. 90. P. 101940
- [5] Hutter L., Jaehn F., Neumann S. Influencing factors on airplane boarding times // Omega. 2019. Vol. 87. P. 177-190.
- [6] Лобанов Н.В. Влияние инфраструктуры аэропорта на регулярность полетов в аэропорту «Пулково» / Фундаментальные научные исследования. Анапа: 2021. С.18-24.
- [7] AnyLogic [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 05.12.2022).
- [8] Майоров Н.Н., Фетисов В.А., Гардюк А.Н. Технологии и методы моделирования пассажирских перевозок на воздушном транспорте. СПб.: ГУАП, 2014. 215 с.