17. Селиверстов Я.А. Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 1 (20). С. 145–152.

УДК 656.7
doi:10.18720/SPBPU/2/id20-180

Головчанский Игорь Андреевич[1],
студент, бакалавр;
Магер Владимир Евстафьевич[2],
канд. техн. наук, доцент, стар. науч. сотр.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ ПАССАЖИРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

[1,2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия,
[1] igor.golovchanskiy@bk.ru, [2] mv@qmd.spbstu.ru

Аннотация. В статье рассмотрен процесс регистрации вылетающих пассажиров с учетом входных параметров. По результатам моделирования проведен анализ системы регистрации пассажиров. Для анализа процесса разработана программа на языке программирования C#. Полученные оценки позволяют определить оптимальные параметры системы с учётом современных методов регистрации пассажиров.

Ключевые слова: статистическое моделирование, оптимизация, параметр, регистрация пассажиров.

Igor A. Golovchanski[1],
Master Student, BSc;
Vladimir E. Mager[2],
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

STATISTICAL MODELING OF THE PASSENGERS REGISTRATION PROCESS WITH USING OF MODERN TECHNOLOGIES

[1,2] Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia, [1] igor.golovchanskiy@bk.ru, [2] mv@qmd.spbstu.ru

Abstract. The process of registration of departing passengers is considered in the article, taking into account the input parameters. Based on the simulation results, the passenger registration system was analyzed. A program in the C# programming language was created to analyze the process. The obtained estimates allow to determine the optimal parameters of the system, taking into account modern methods of passengers registration.

Keywords: statistical modeling, optimization, parameter, passengers registration.

Введение

В настоящее время существует потребность повышения эффективности процессов, связанных с наземным обслуживанием авиапассажиров. Одним из этапов непосредственного обслуживания пассажиров является регистрация на рейс. В больших аэропортах, таких, как аэропорт Атланты Хартсфилд-Джексон, проблема очередей возникает довольно часто.

В связи с этим, оптимизация данной процедуры является первоочерёдной задачей для аэропортов и авиакомпаний [1, 2].

Статистическое моделирование – это численный метод решения математических задач, при котором искомые величины представляют вероятностными характеристиками какого-либо случайного явления. Это явление моделируется, после чего нужные характеристики приближённо определяют путём статистической обработки «наблюдений» модели [3, 4].

Данная работа посвящена моделированию процесса обслуживания авиапассажиров у стойки регистрации, оценке параметров многоканальной системы массового обслуживания и их последующей оптимизации с учётом использования пассажирами методов самостоятельной регистрации на рейс.

1. Постановка задачи

Необходимо определить значения числа стоек регистрации S, моментов времени начала t_H и окончания регистрации t_K вылетающих пассажиров самолета пассажировместимостью N, обеспечивающих минимум суммарных затрат рабочего времени:

$$T_{\Sigma} = S\left(t_K - t_H\right) \to \min. \qquad (1)$$

Принимаются следующие ограничения:

1) регистрация должна заканчиваться не менее чем за 30 минут до вылета самолёта по расписанию;

2) допустимое число опоздавших пассажиров – не более 1 % от пассажировместимости самолёта.

2. Исходные данные

Чтобы оценить работу реализованной программы, было проведено статистическое исследование 100 рейсов, произведенных в аэропорту Тбилиси за август 2019 года.

Была собрана следующая информация (см. табл. 1):

- наиболее вероятный промежуток значений загруженности самолётов в процентах;
- наиболее вероятный промежуток значений он-лайн зарегистрированных пассажиров в процентах;
- наиболее вероятный промежуток значений среднего время регистрации пассажира на рейс.

Таблица 1

Входные параметры системы

Наименование параметра	Значение параметра
Загруженность самолётов	65-90 %
Зарегистрированные он-лайн	50-65 %
Время регистрации	0,2-1,5 мин

Моделирующий алгоритм в общих чертах выглядит следующим образом. Работа системы обслуживания моделируется на интервале времени [0; t_B] продолжительностью 350 мин, в течение которого существует реальная вероятность поступления требований. Правая граница интервала соответствует моменту вылета рейса по расписанию (t_B = 350 мин).

В течение интервала времени [0; t_H] происходит накопление требований без их обслуживания; обслуживание требований системой из S аппаратов выполняется на интервале времени [t_H; t_K] в течение интервала [t_K; t_B].

Предварительно для каждого испытания были сгенерированы случайным образом значения следующих параметров:

1) $k_{\text{рег}}$ – загруженность самолёта в процентах в соответствии с таблицей 1 за вычетом процентов пассажиров, зарегистрированных он-лайн, также в соответствии с таблицей 1;

2) значения $t_{\text{обслj}}$ и $t_{\text{вхj}}$ для каждого пассажира в испытании $k_{\text{рег}i}$, i=1/M , j=1/$k_{\text{рег}i}$, где $t_{\text{обслj}}$ – время регистрации на рейс j-го пассажира, который находится путём генерации на заданном интервале согласно табл. 1, $t_{\text{вхj}}$ – время прихода j-го пассажира, которое вычисляется по формуле (2).

Время прихода пассажиров в зону ожидания аэровокзального комплекса, в свою очередь, является случайной величиной, получаемой согласно (2):

$$f(t)=\begin{cases} 0, & t \le n \quad мин, \\ \dfrac{\beta^{\alpha}(t-n)^{\alpha-1}e^{-\beta(t-n)}}{\Gamma(\alpha)}, & t > n \quad мин, \end{cases} \qquad (2)$$

где n, α и β – параметры распределения, которые подбираются таким образом, чтобы результаты полученного распределения были схожи с распределением рассматриваемой системы (зоны регистрации в аэропорту Тбилиси). В нашем случае n =120, α = 4,02 и β = 0,057. Полученный график распределения вероятности изображён на рисунке 1.

В качестве метода решения данной задачи оптимизации используется метод Монте-Карло, который можно определить как метод моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений. Как правило, моделирование осуществляется с помощью ЭВМ.

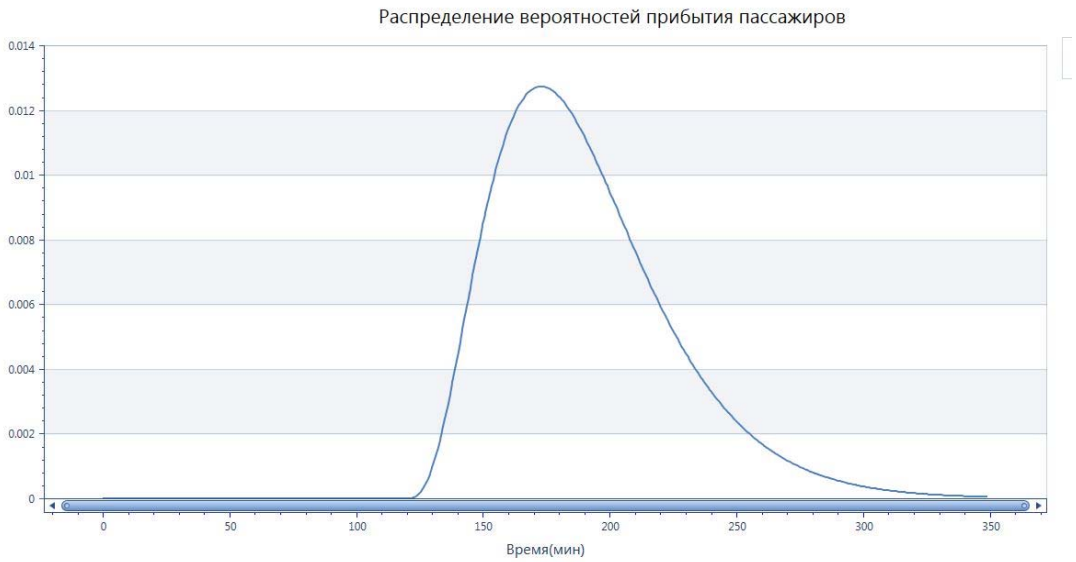

Рис. 1. Распределение вероятности прибытия пассажиров аэропорт Тбилиси

Для оценки влияния данных параметров на моделируемую систему регистрации пассажиров была разработана программа на языке программирования *C#*.

3. Результаты моделирования

На основе входных параметров системы получены результаты моделирования, приведенные в таблице 2. Моделирование проводились при небольшом количестве испытаний (40 испытаний), для количества стоек $S = 1$, при значении вместимости самолёта $N = 180$, что соответствует вместимости самых распространенных судов, совершающих рейсы из аэропорта Тбилиси: Airbus A320 и Boeing 737.

Для решения поставленной оптимизационной задачи используется метод «сканирования по сетке», предусматривающий перебор с некоторым шагом значений S, t_H, t_K и определение показателей эффективности системы обслуживания пассажиров для каждого набора исходных данных.

Также были определены средние значения для системы с количеством стоек регистрации $S = 1$ при разном количестве испытаний. В таблице 3 приведены результаты для 40, 100, 500, 1500, 3000 и 10000 испытаний соответственно. Было определено, что значение количества испытаний $M = 10000$ достаточно для получения корректных и точных значений, позволяющих провести анализ результатов моделирования системы.

4. Анализ результатов моделирования

В результате проведенного анализа системы получены оптимальные значения параметров t_H и t_K для количества стоек $S = 1$; $S = 2$; $S = 3$, результаты приведены в таблице 4.

Таблица 2

Результаты моделирования системы

№ испытания	Кол-во пассажиров	Макс. кол-во ожидающих пассажиров	Кол-во опоздавших пассажиров	Время обслуживания пассажиров стойкой №1	Время работы стойки №1
0	62.928	30	1	50.0	56.4
1	51.948	28	1	40.7	55.3
2	57.276	28	0	50.0	55
3	73.44	31	7	61.3	62.0
4	75.168	38	10	63.3	63.5
5	65.016	43	1	52.1	56
6	75.168	45	1	55.8	56.3
7	54.18	30	0	45.2	55
8	77.616	41	10	62.7	62.9
9	51.282	25	2	37.6	56.6
10	52.92	33	1	44.6	55.7
11	61.92	34	0	52.4	55
12	60.372	27	1	46.4	55.5
13	49.14	27	1	39.7	56.4
14	55.404	29	0	46.9	55
15	61.92	31	0	51.3	55
16	62.928	37	0	48.3	55
17	54.054	27	2	45.9	57.0
18	56.16	32	0	46.0	55
19	58.968	38	0	44.5	55
20	70.47	43	1	54.5	56.3
21	70.218	28	0	51.0	55
22	67.32	39	3	55.8	55.9
23	70.38	42	4	58.0	58.4
24	62.928	31	1	49.8	55.5
25	68.112	37	0	54.8	55
26	68.886	33	0	54.9	55
27	60.192	30	0	46.2	55
28	52.29	31	0	39.4	55
29	61.236	34	0	49.0	55
30	68.256	35	1	50.2	55.6
31	52.614	23	0	39.5	55
32	62.568	33	0	53.5	55
33	75.852	37	5	58.1	58.8
34	71.208	36	0	54.8	55
35	65.736	29	2	56.5	57.1
36	61.992	28	1	45.3	55.6
37	49.77	26	1	40.7	56.3
38	56.16	37	1	46.7	56.4
39	72.864	38	5	58.5	59.1

Таблица 3

Средние значения моделирования системы при разном количестве испытаний

Кол-во испытаний, *M*	Среднее кол-во опоздавших пассажиров	Среднее кол-во пассажиров в очереди	Среднее время обслуживания стойки №1	Среднее время работы стойки №1
40	0.5250	30.350	48.380	60.527
100	0.6200	29.900	48.333	60.586
500	0.4780	30.888	48.756	60.452
1500	0.4280	30.524	49.116	60.417
3000	0.4770	30.519	49.153	60.462
10000	0.4665	30.446	48.976	60.448

Таблица 4

Результаты оптимизации параметров системы обслуживания пассажиров

Число стоек *S*	t_H, мин.	t_K, мин.	t_H-t_K, мин.	T_Σ, мин.	$n_{ож}^{\max}$, пасс.	Номер стойки *S*	$T_{обслS}^{ср}$, мин.	$T_{рабS}^{ср}$, мин.	$k_{зS}$	$k_{зS}^{ср}$
1	104.2	47.2	57.0	57.0	31.03	1	49.251	58.49	0.84	0.840
2	76.1	47.5	28.6	57.2	45.17	1	25.553	29.66	0.86	0.835
						2	23.710	29.07	0.81	
3	66.9	47.6	19.3	57.9	49.76	1	17.458	20.26	0.86	0.823
						2	16.158	19.70	0.82	
						3	15.469	19.47	0.79	

По результатам исследования можно сделать вывод, что увеличение количества стоек позволяет значительно сократить время длительности регистрации пассажиров, однако также увеличивается максимальное количество людей в очереди на регистрацию. Оптимальное значение количества стоек регистрации для вместимости самолёта $N = 180$ человек, с учётом коэффициента $k_{рег}$, было определено как $S = 2$.

Заключение. На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что моделирование процесса обслуживания пассажиров позволяет определить оптимальные параметры системы, сократить время обслуживания пассажиров и тем самым уменьшить вероятность задержки рейсов.

Список литературы

1. Официальный сайт аэропорта Хартсфилд-Джексон [Электронный ресурс] // atl.com [Сайт]. URL: https://www.atl.com (дата обращения 02.04.2020).

2. Лебедев Ф.Л. Состояние, проблемы и тенденции развития рынка авиаперевозок в России [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2016. № 13.1 (117.1). С. 63-66. URL: https://moluch.ru/archive/117/32175/ (дата обращения: 02.04.2020).

3. Метод статистических испытаний (Метод Монте-Карло) / Н.П. Бусленко, Д.И. Голенко, И.М. Соболь [и др.]. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 332 с.

4. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М.: Наука, 1971. 328 с.