

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В МЕЖДУНАРОДНОМ АЭРОПОРТУ КУРУМОЧ

© 2006 В. А. Романенко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Приведены результаты исследования параметров потоков вылетающих пассажиров и багажа, а также свойств обслуживающей системы в аэровокзале Международного аэропорта Курумоч (г. Самара). Определены законы распределения случайных величин, характеризующих входящие потоки и систему обслуживания в аэропорту. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач оптимизации параметров аэропорта, оценки эффективности его функционирования, имитационного моделирования технологических процессов аэропорта.

Аэровокзальный комплекс аэропорта представляет собой характерный пример системы массового обслуживания (СМО), основными элементами которой являются входящие потоки требований и обслуживающие их аппараты [1]. Для рассматриваемой СМО основными входящими потоками являются вылетающие и прилетевшие пассажиры и их багаж. Каждый из этих потоков проходит определенную последовательность технологических операций обслуживания, несущественно отличающуюся в различных аэропортах. Далее рассматривается обслуживание только вылетающих пассажиров и их багажа в Международном аэропорту Курумоч (г. Самара). Основными фазами обслуживания являются предварительный досмотр при входе в здание аэровокзала; предполетный досмотр пассажиров и багажа; регистрация пассажиров и оформление багажа. Пассажиры международных рейсов проходят ряд дополнительных процедур, таких, как паспортно-пограничный, санитарный и другие виды контроля. Зарегистрированный багаж, сданный к перевозке под ответственность авиакомпании-перевозчика, подвергается взвешиванию, доставке к месту комплектации, комплектации в контейнеры или на багажные тележки и ряду других операций.

К аппаратам обслуживания СМО относится широкий набор специального оборудования и средств механизации, предназначенный для реализации перечисленных выше операций, включающий стойки регистрации, оснащенные весами; технические средства

досмотра; транспортеры и тележки для перемещения багажа и др.

Для полного определения СМО необходимо задать:

а) входящий поток требований как статистическую модель поступления требований и среднюю интенсивность их поступления;

б) механизм обслуживания, т. е. указать, когда обслуживание допустимо, сколько требований могут обслуживаться одновременно и как долго длится обслуживание;

в) дисциплину обслуживания, т. е. способ, по которому для обслуживания выбирается одно требование из всех ожидающих.

Первым шагом в определении перечисленных свойств стал сбор фактических данных, характеризующих процессы прибытия и обслуживания пассажиров, проведенный в конце октября – начале ноября 2005 г. в терминале вылетающих рейсов. Методами исследования явились устный опрос пассажиров, подсчет числа пассажиров и багажа, а также замеры интервалов времени обслуживания, проводимые на ключевых его этапах. Основное внимание уделялось пассажирам внутрироссийских рейсов, как наиболее весомому сегменту пассажиропотока аэропорта. Поэтому большинство описанных ниже результатов имеют отношение именно к этой категории пассажиров. Проведенный статистический анализ полученных данных позволил получить ряд вероятностных распределений параметров входящего потока и обслуживающей системы. Приведем результаты

этого анализа для двух групп параметров, первая из которых входит в состав модели входящего потока требований, а вторая – обслуживающей системы.

Параметры входящего потока требований

1. Время нахождения вылетающего пассажира в аэропорту (интервал времени между входом пассажира, прибывшего на определенный рейс, в здание аэровокзала и вылетом рейса).

По результатам опроса 329 вылетающих пассажиров определено, что минимальное время нахождения в аэровокзале составило 45 мин., максимальное – 481 мин., выборочное среднее – 106 мин, выборочное среднее квадратичное отклонение – 50 мин. Ошибка выборки оценена по формуле [2]:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n}{N}}, \quad (1)$$

где $S_{\bar{x}}$ - стандартная ошибка выборочного среднего, s - выборочное среднее квадратичное отклонение, n – объем выборки, N – объем генеральной совокупности.

В качестве генеральной совокупности здесь принято годовое число вылетающих пассажиров ($N \approx 450000$). Ошибка составляет 2,6 %, что является удовлетворительным результатом.

Считая продолжительности пребывания пассажиров в аэропорту взаимно независимыми случайными величинами, определим их закон распределения в соответствии со следующим алгоритмом.

Вводится параметр t_1 , связанный с временем пребывания пассажира в аэровокзале t соотношением: $t_1 = 45 - t$, поскольку минимальное время пребывания пассажира в аэровокзале равно 45 мин. Весь временной диапазон, в течение которого вылетающие пас-

Таблица 1. Обработка данных о продолжительности пребывания пассажиров в аэропорту

№ интервала, j	Границы интервала, $t_{j-1} - t_j$	Границы интервала, $t_{1j-1} - t_{1j}$	Число наблюдений, a_j	Частость, h_j	$F^*(t_{1j})$	$f^*(t_{1j})$	$p^*(j)$	$a^*(j)$	$d(j)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	45-55	0-10	27	0,008182	0,07686	0,01057	0,07686	25,29	0,11606
2	55-65	10-20	35	0,010606	0,19103	0,01182	0,11417	37,56	0,17467
3	65-75	20-30	38	0,011515	0,30793	0,01139	0,11690	38,46	0,00553
4	85-85	30-40	37	0,010909	0,41683	0,01032	0,10890	35,83	0,03842
5	85-95	40-50	21	0,006364	0,51377	0,00905	0,09694	31,89	3,72067
6	95-105	50-60	26	0,007879	0,59779	0,00776	0,08402	27,64	0,09755
7	105-115	60-70	30	0,007879	0,66933	0,00656	0,07154	23,54	1,77442
8	115-125	70-80	22	0,006667	0,72949	0,00549	0,06016	19,79	0,24639
9	125-135	80-90	23	0,006970	0,77960	0,00455	0,05011	16,49	2,57348
10	135-145	90-100	16	0,004849	0,82103	0,00375	0,04144	13,63	0,41089
11	145-155	100-110	5	0,001515	-	-	-	-	-
12	155-165	110-120	15	0,004546	0,88298	0,00251	0,06194	20,38	0,00705
13	165-175	120-130	4	0,001212	-	-	-	-	-
14	175-185	130-140	7	0,002121	-	-	-	-	-
15	185-195	140-150	4	0,001212	0,93909	0,00134	0,05612	18,46	0,64922
16	195-205	150-160	10	0,003030	-	-	-	-	-
17	205-215	160-170	3	0,000909	-	-	-	-	-
18	215-225	170-180	3	0,000909	-	-	-	-	-
19	225-235	180-190	0	0	-	-	-	-	-
20	235-245	190-200	1	0,000303	0,98007	0,00045	0,04098	13,48	0,91828
21 ... 34	245 ... 385	200 ... 340	0	0	-	-	-	-	-
35	385-395	340-350	1	0,000303	-	-	-	-	-
36 ... 39	395 ... 435	350 ... 390	0	0	-	-	-	-	-
40	435-445	390-400	1	0,000303	-	-	-	-	-
41 ... 43	445 ... 475	400 ... 430	0	0	-	-	-	-	-
44	475-485	430-440	1	0,000303	0,99992	0,00001	0,01993	6,56	3,16701
Сумма			329				1	329	$\chi^2=13,8997$

сажиры прибывают в аэровокзал, разбивается на интервалы одинаковой длины $\Delta t = 10$ мин. Границы интервалов приведены в табл. 1.

Величина a_j в табл. 1 представляет собой наблюдаемое число пассажиров, длительность пребывания в аэровокзале которых попадает в j -й интервал.

Величины частоты, являющейся эмпирическим аналогом плотности распределения вероятностей, подсчитаны по формуле

$$h_j = \frac{a_j}{n\Delta t}.$$

Анализ построенной по результатам обработки наблюдений гистограммы распределения времени пребывания пассажиров в аэропорту (рис. 1) позволяет выдвинуть гипотезу о принадлежности рассматриваемой случайной величины тому или иному закону распределения. Выраженная асимметричность гистограммы свидетельствует о законе гамма-распределения. Для доказательства выдвинутой статистической гипотезы использован стандартный алгоритм критерия хи-квадрат (χ^2) Пирсона. Результаты расчетов приведены в столбцах 5-10 табл. 1. Для корректного использования критерия Пирсона необходимо, чтобы число наблюдений в интервале было не менее 7-10, и поэтому несколько интервалов сгруппированы.

Принята следующая последовательность проверки [3]. Используются величины $F^*(t_{1j}), f^*(t_{1j})$ – оценки функции и плотности распределения вероятностей, которые определяются по формулам:

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t_1 \leq 0, \\ \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \Gamma_{\beta t_1}(\alpha), & t_1 > 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t_1 \leq 0, \\ \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t_1^{\alpha-1} e^{-\beta t_1}, & t_1 > 0, \end{cases}$$

где α, β – параметры распределения, являющиеся положительными величинами. Для их определения используются величины выборочного среднего и выборочного среднего квадратичного отклонения [4]:

$$\alpha = \frac{\mu^2}{s^2}, \quad \beta = \frac{s^2}{\mu}.$$

Поскольку гамма-распределение строится для параметра t_1 , то в качестве выборочных характеристик используются величины $\mu = 106-45 = 61$ мин. и $s = 50$ мин. Таким образом, для рассматриваемого распределения: $\alpha = 1,52$; $\beta = 0,025$.

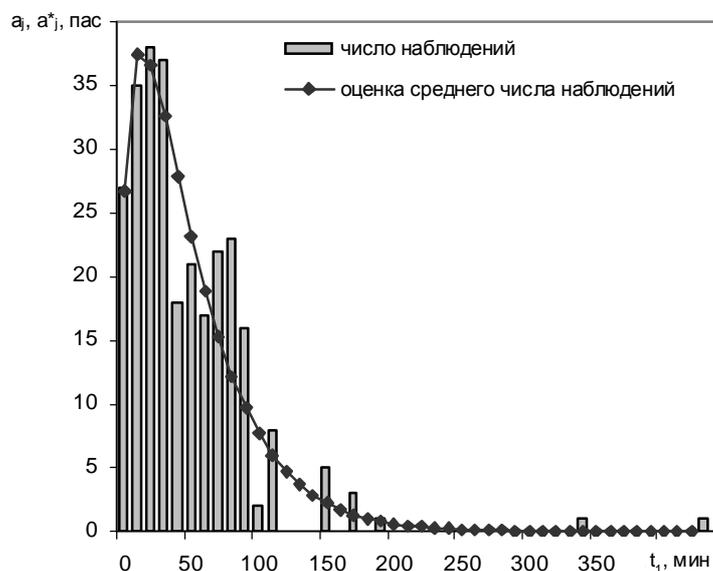


Рис. 1. Распределение времени пребывания вылетающего пассажира в аэропорту

С использованием первого выражения (2) определяются величины $p^*(j)$ – оценки вероятности попадания случайной величины в j -й интервал:

$$p^*(1) = F^*(t_{1,1}); \quad p^*(j) = F^*(t_{1,j}) - F^*(t_{1,j-1}),$$

$$1 < j < m; \quad p^*(m) = 1 - F^*(t_{1,m-1}),$$

где m - число интервалов с учетом группирования, $m = 14$.

Далее рассчитываются оценки среднего числа наблюдений в соответствующих интервалах:

$$a^*(j) = np^*(j).$$

Построенный по этим значениям график представлен на рис. 1. Сопоставление его с гистограммой показывает хорошее сглаживание.

Величина χ^2 определяется как сумма:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^m \delta(j), \quad \text{где } \delta(j) = \frac{(a_j - a^*(j))^2}{a^*(j)}.$$

Величина критерия $\chi^2 = 13,9$ сравнивается с критическим значением $K^{-1}(1 - \rho; \nu)$, определяемым в зависимости от критического уровня значимости ρ и числа степеней свободы ν . Величина ρ принята равной 0,05. Число степеней свободы определено по форму-

ле: $\nu = m - r - 1$, где r – число оцениваемых параметров. Так как для гамма-распределения $r = 2$, то $\nu = 11$.

По таблице [4] определено, что критическое значение $K^{-1}(0,95; 11) = 19,7$. Поскольку полученное значение критерия χ^2 меньше этой величины, то гипотеза о гамма-распределении принимается.

Так как предполетное обслуживание пассажиров международных и внутренних рейсов различно, то проведен отдельный анализ распределения времени пребывания в аэропорту пассажиров, вылетающих внутрироссийскими рейсами. В качестве генеральной совокупности принято годовое число вылетающих пассажиров внутрироссийских рейсов ($N \approx 400000$ пас). Объем выборки опрошенных пассажиров составил 275 человек, что соответствует стандартной ошибке выборочного среднего 2,6 %. Как и следовало ожидать, величина выборочного среднего для пассажиров внутрироссийских рейсов несколько меньше, чем для всех пассажиров, и составляет 97,5 мин.

Процедура анализа аналогична изложенной выше. Распределение можно считать соответствующим закону гамма, правда, с несколько меньшей достоверностью. Найденные параметры распределения имеют величины: $\alpha = 1,50$; $\beta = 0,028$.

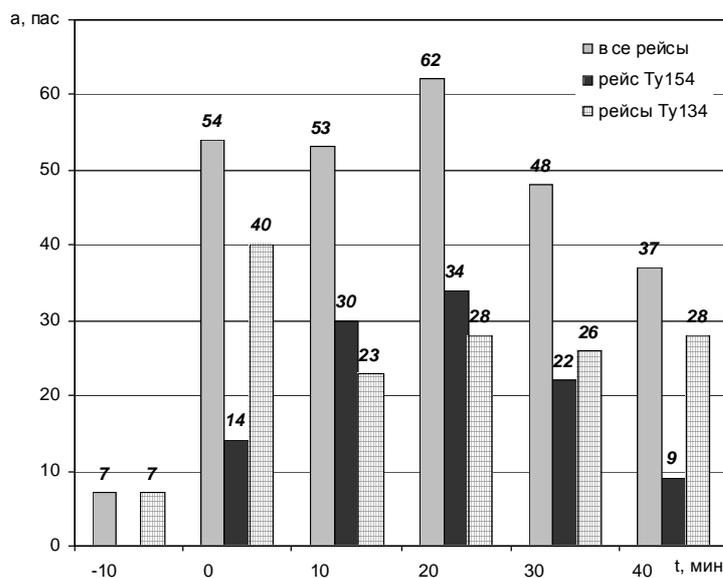


Рис. 2. Распределение времени прибытия пассажиров на регистрацию

2. Время прибытия пассажиров на регистрацию.

В аэропорту Курумоч регистрация выполняется в соответствии с порейсовым методом. При этом с целью увеличения пропускной способности для обслуживания пассажиров одного рейса выделяются несколько определенных стоек. Таким образом, СМО на этапе регистрации может считаться полнодоступной только в рамках обслуживания пассажиров одного рейса. Представляет интерес анализ распределения времени прибытия вылетающих пассажиров в зону регистрации. Наблюдения проводились над 262 пассажирами четырех внутренних первоначальных рейсов, три из которых выполнялись самолетами Ту-134 (по две стойки регистрации на рейс), а один рейс – самолетом Ту-154 (три стойки). Установленная продолжительность регистрации равна 50 мин. Фиксировались либо моменты подхода пассажиров к стойке регистрации при отсутствии очереди, либо моменты начала ожидания обслуживания в случае ее наличия.

Гистограммы выборки приведены на рис. 2. По оси абсцисс отложены величины интервалов времени от момента прибытия пассажира определенного рейса на регистрацию до момента объявления окончания регистрации пассажиров этого рейса. Анализ результатов не выявил какого-либо простого закона распределения времени прибытия пассажиров на регистрацию, однако он показал различие характеров распределения рассматриваемой случайной величины в зависимости от числа пассажиров рейса. Так, например,

для пассажиров рейсов Ту-134 распределение близко к равномерному, а для Ту-154 – к нормальному. Обращает на себя внимание наличие небольшого числа опоздавших, т. е. пассажиров, прибывших на регистрацию после ее окончания. На рис. 1 им соответствуют отрицательные значения по оси абсцисс.

3. Число мест багажа.

Знание характера распределения числа мест багажа, приходящегося на одного пассажира, необходимо для определения параметров системы обработки вылетающего багажа в аэровокзале и на перроне. Выявление закономерностей распределения багажа осложняется групповым характером прибытия пассажиров. Только для одинокого (не в составе группы) пассажира число его мест багажа является случайной величиной дискретного типа. Дискретность утрачивается при рассмотрении группы, когда число мест в расчете на одного члена группы может быть дробным. Поэтому результаты анализа для одиночных пассажиров и всей выборки описаны отдельно.

Наблюдения проводились на этапе регистрации, объем выборки составил 140 пассажиров, из которых в группах в составе от 2 до 4 человек следовало 40 человек.

Результаты обработки наблюдений для одиноких пассажиров представлены в табл. 2. Среднее число мест багажа, приходящееся на одного одинокого пассажира, составляет: 0,25 мест/пас – зарегистрированный багаж; 0,81 мест/пас – незарегистрированный багаж; 1,06 мест/пас – всего мест багажа (как зарегистрированного, так и ручной клади).

Таблица 2. Распределение количества мест багажа одиноких пассажиров

Число мест багажа	0	1	2	3	4	Всего
Зарегистрированный багаж						
Наблюденное число пассажиров, чел	79	17	4	-	-	100
Групповая частота	0,79	0,17	0,04	-	-	1,00
Незарегистрированный багаж						
Наблюденное число пассажиров, чел	33	53	14	-	-	100
Групповая частота	0,33	0,53	0,14	-	-	1,00
Всего мест багажа						
Наблюденное число пассажиров, чел	21	55	22	1	1	100
Групповая частота	0,21	0,55	0,22	0,01	0,01	1,00

Как показала проведенная проверка статистической гипотезы с использованием критерия Пирсона, распределение числа мест зарегистрированного багажа подчинено закону Пуассона, для которого имеет место соотношение:

$$P_{\lambda}(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad k = 0, 1, \dots,$$

где λ - параметр распределения, $P_{\lambda}(k)$ - вероятность реализации возможного значения дискретной случайной величины, равного k . В рассматриваемом случае значению λ соответствует среднее число мест багажа, приходящееся на одного одинокого пассажира. Величина групповой частоты выборки – эмпирический аналог вероятности $P_{\lambda}(k)$.

Для других полученных по результатам наблюдений распределений простых закономерностей не выявлено. Однако это не является препятствием для последующего решения задач, связанных с расчетом и оптимизацией параметров системы обработки багажа, поскольку этой обработке подвергается только зарегистрированный багаж.

Результаты обработки статистических данных для групп пассажиров в виде средних значений числа мест багажа в зависимости от численности группы приведены в табл. 3. Анализ эмпирического распределения говорит о его возможном соответствии закону Пуассона. Однако малый объем выборки не позволяет в данном случае выполнять эффективную проверку выдвинутого предположения.

Параметры модели обслуживания

Рассматриваемая СМО относится к системам без приоритета, так как пассажиры на всех этапах проходят обслуживание в порядке живой очереди, за исключением пассажиров категории VIP, которые проходят обслуживание отдельно.

1. Продолжительность досмотра пассажиров и багажа при входе в аэровокзал.

Объем выборки для этапов предварительного и предполетного досмотра составил 50 пассажиров, при этом величина ошибки не превышает 8 %. Результаты статистической обработки наблюдений представлены гистограммой на рис. 3. Выборочное среднее равно 0,75 мин.

Анализ гистограммы позволяет сделать предположение о распределении рассматриваемых случайных величин по закону Эрланга, который определяется выражениями для плотности и функции распределения:

$$f(t) = \begin{cases} \xi \frac{(\xi t)^{l-1}}{(l-1)!} e^{-\xi t}, & t > 0, \\ 0, & t \leq 0, \end{cases}$$

$$F(t) = \begin{cases} 1 - P_{\leq l-1}(\xi t), & t > 0, \\ 0, & t \leq 0, \end{cases}$$

$$P_{\leq l}(\xi t) = \sum_{i=0}^l \frac{(\xi t)^i}{i!} e^{-\xi t},$$

где l, ξ - параметры распределения, причем параметр ξ является неотрицательным числом ($\xi > 0$), а l – целым положительным чис-

Таблица 3. Распределение количества мест багажа пассажиров в группе

Число пассажиров в группе	1	2	3	4
Среднее число мест зарегистрированного багажа на одного пассажира	0,25	0,6	0,45	0,375
Среднее число мест незарегистрированного багажа на одного пассажира	0,81	0,75	0,6	0,75
Среднее общее число мест багажа на одного пассажира	1,06	1,35	1,05	1,125

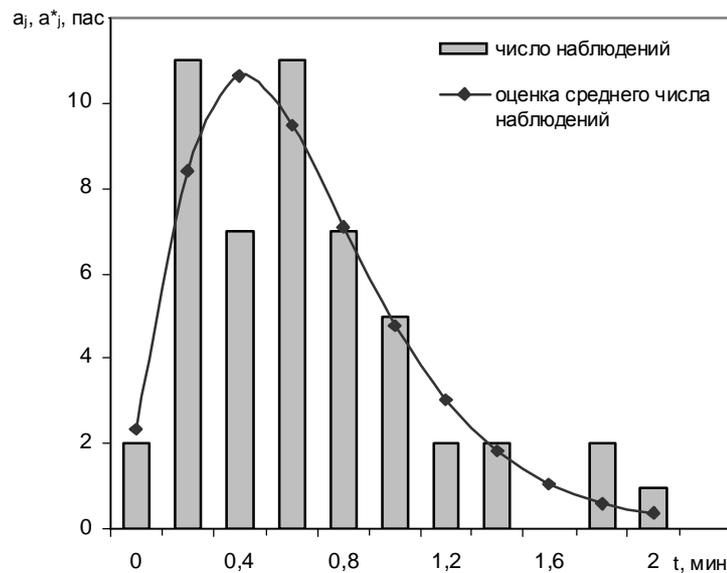


Рис. 3. Распределение продолжительности предварительного досмотра

лом ($l = 1, 2, \dots$). Проверка статистической гипотезы подтвердила ее. График оценок среднего числа наблюдений для полученных значений параметров распределения Эрланга ($l = 3; \xi = 3,99$) приведен на рис. 3.

2. Продолжительность предполетного досмотра пассажиров и багажа.

В Международном аэропорту Курумоч личный досмотр вылетающих пассажиров и досмотр их багажа производится перед процедурой регистрации. Распределение времени предполетного досмотра подчиняется распределению Эрланга (рис. 4). В качестве независимой переменной распределения ис-

пользуется параметр t_2 , связанный с продолжительностью досмотра пассажира t (мин) соотношением $t_2 = 0,6 - t$. Определены параметры распределения Эрланга: $l = 3; \xi = 2,93$. Выборочное среднее равно 1,62 мин.

3. Продолжительность регистрации и оформления багажа.

Продолжительность регистрации определялась хронометрированием для 89 пассажиров ряда внутрироссийских рейсов. Интенсивность потока пассажиров, непосредственно проходящих обслуживание у стойки регистрации, несколько отличается от интен-

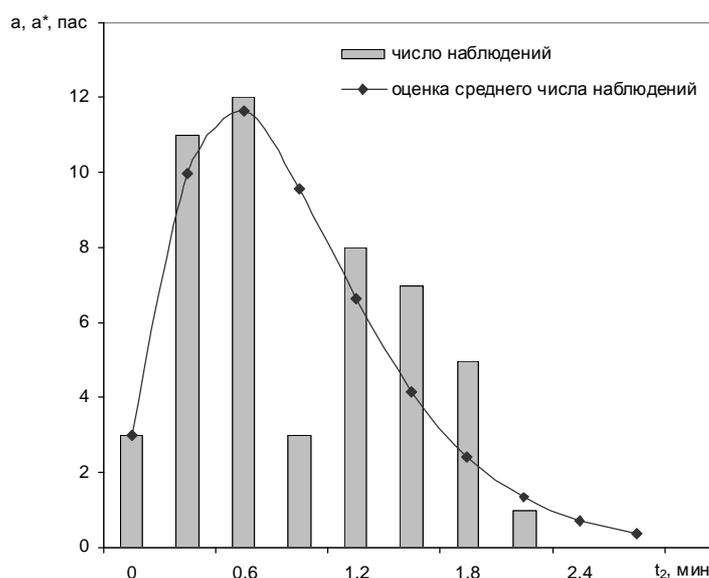


Рис. 4. Распределение продолжительности предполетного досмотра

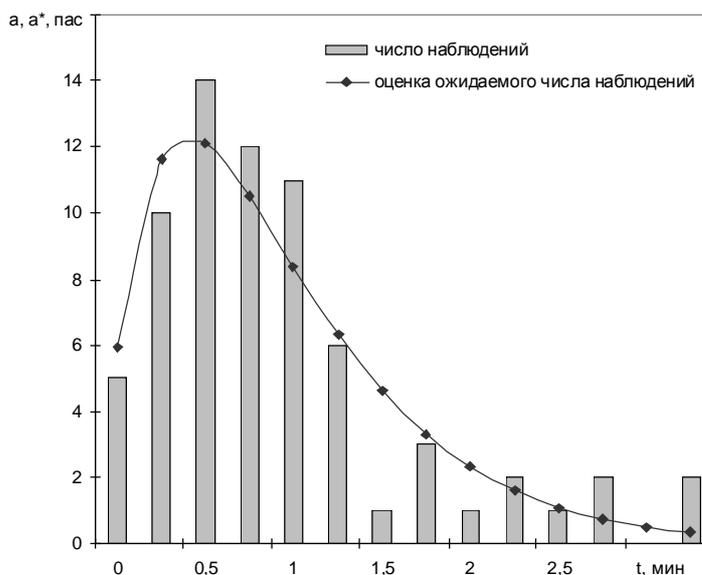


Рис. 5. Распределение продолжительности регистрации

сивности входящего потока вылетающих пассажиров, так как часть пассажиров следует совместно с членами семьи или группами. Средняя доля пассажиров, непосредственно производящих регистрацию билетов, для большинства аэропортов составляет величину порядка 80 % [5]. В Международном аэропорту Курумоч из 89 пассажиров непосредственно регистрацию прошли 70 человек. Следовательно, их доля составила 78,6 %, что близко к общероссийскому показателю. Величина выборочного среднего времени регистрации составила 1,04 мин. Объем выборки обеспечивает ошибку выборочного среднего 8 %.

Параметры распределения Эрланга, которому подчиняется продолжительность регистрации (рис. 5), имеют следующие значения: $l = 2$; $\xi = 1,927$.

Представляет интерес распределение проходящих регистрацию пассажиров по группам. Влияние численности группы на продолжительность регистрации для имеющейся выборки может быть оценено линейной зависимостью:

$$\bar{t}_{рег} = 0,57 + 0,24m,$$

где $\bar{t}_{рег}$ - среднее время регистрации, m – число пассажиров в группе.

Основные параметры распределения пассажиров по группам приведены в таблице 4.

Отметим, что для рассмотренных ранее случаев досмотра пассажиров учитывать их распределение по группам не нужно, так как пассажиры проходят эту процедуру поодиночке.

Таблица 4. Распределение по группам пассажиров, проходящих регистрацию

Число пассажиров в группе, m	1	2	3	4	Всего
Наблюдённое число групп (число процедур регистрации), j	57	8	4	1	70
Наблюдённое число пассажиров, прибывших в составе данной группы, $k_m = m \times j$	57	16	12	4	89
Групповая частота, $k_m / \sum_{i=1}^4 k_i$	0,640	0,180	0,135	0,045	1
Среднее наблюдаемое время регистрации, мин	0,742	1,233	1,083	1,583	

Представленные материалы могут быть использованы в качестве исходных для решения задач оптимизации параметров аэропорта, оценки эффективности его функционирования, имитационного моделирования технологических процессов аэропорта и др.

Автор выражает благодарность руководству Международного аэропорта Курумоч, коммерческому директору Павлову В. Г. и его сотрудникам за оказанную помощь в проведении исследования.

Список литературы

1. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. -

М.: Наука, 1987.

2. Шварц Г. Выборочный метод. - М.: «Статистика», 1978.

3. Андронов А. М., Хижняк А. Н. Математические методы планирования и управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятий гражданской авиации. - М.: Транспорт, 1977.

4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). - М.: Наука, 1973.

5. Русинов И. Я., Цеханович Л. А., Подшипков В. А. и др. Организация воздушных перевозок. - М.: Транспорт, 1976.

ANALYSIS OF SERVICING PASSENGERS IN THE INTERNATIONAL AIRPORT KURUMOTCH

© 2006 V. A. Romanenko

Samara State Aerospace University

The paper presents the results of analyzing the parameters of passenger and luggage flows as well as the properties of the servicing system at the terminal of the International Airport Kurumotch (Samara). The laws of distribution of random values which characterize the incoming flows and the servicing system at the airport. The results obtained can be used to deal with the tasks of airport parameters optimization, estimating the efficiency of its functioning and imitation modeling of the airport's technological processes.