

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАК ИСТОЧНИК ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АЭРОПОРТА

Совокупность математических методов анализа и оптимизации технологических процессов обслуживания перевозок аэропорта предполагает использование статистических данных, описывающих эти процессы. Внедрение в аэропортах автоматизированных информационных систем (ИС) управления производственной деятельностью позволяет избежать длительных и трудоёмких процедур «вручного» сбора статистики путём использования материалов, накапливаемых в базах данных (БД).

Наличие некоторой доли некорректных наблюдений, по разным причинам неизбежно фиксируемых в БД ИС, делает необходимым проведение оценки погрешности, вызванной использованием данных БД, и самой возможности их использования. В идеальном случае, когда имеются две выборки достаточного объёма, характеризующие один и тот же технологический процесс, одна из которых содержит статистику, полученную «вручную», а вторая – данные, накопленные ИС, может быть проведено прямое сравнение этих выборок, позволяющее выявить ошибочные данные. Однако такое сравнение на практике часто оказывается невозможным или малоэффективным вследствие отсутствия или недостаточного объёма одной из выборок. С другой стороны, в БД содержится разнообразная статистика, отражающая взаимные связи между характеристиками аэропортового технологического процесса, параметрами потоков пассажиров и самолётов и другими факторами. Зная характер и параметры этих связей, а также располагая вероятностными распределениями взаимосвязанных величин, можно провести проверку статистики на наличие ошибок. Надёжность такой проверки существенно возрастает, если для её выполнения привлечь статистику, собранную «вручную», т. е. в результате наблюдений. Учитывая сложный характер связей, выразить его аналитически не представляется возможным, однако проверка может быть осуществлена с помощью имитационного моделирования.

Для верификации статистических данных используем метод имитационного моделирования. Предполагается, что имеется вероятностное распределение  $F_T$  случайной величины  $T$ , представляющей собой, например, временную продолжительность выбранной технологической операции. Эта величина, как правило, является суперпозицией целого ряда других случайных величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Зная их законы распределения

и характер влияния на  $T$ , можно в результате моделирования установить её теоретический закон распределения  $F_{T_i}$ . Если параметры исходного и теоретического распределений окажутся достаточно близкими, то с большой долей вероятности можно считать, что корректен не только исходный закон распределения  $F_T$ , но и законы случайных величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

Ниже в качестве объекта моделирования рассматривается работа системы обслуживания пассажиров Международного аэропорта Курумоч в ходе выполнения регистрации и оформления багажа. Исследование ограничено внутрироссийскими рейсами, выполняемыми на самолётах Ту-154. Технологическая схема – порейсовая с выделением для обслуживания каждого рейса от 1 до 3 стоек регистрации. Рассматриваются перевозки двух видов – рейсовые («регулярные») и вахтовые.

Принципиальная блок-схема моделирующего алгоритма приведена на рис. 1. Алгоритм реализует два вложенных цикла, внешний из которых соответствует множеству исследуемых рейсов, а внутренний (обозначен на рис. 1 двойной рамкой) – прибывающим для обслуживания требованиям.



Рис. 1. Блок-схема моделирующего алгоритма

Для каждого ( $i$ -го) рейса определяется число пассажиров, являющееся случайной величиной –  $N_{pi}$ . С целью определения её закона распределения были исследованы статистические данные, характеризующие 470 регулярных и 190 вахтовых вылетающих рейсов, обслуженных в аэропорту в 2007-2008 гг. В первом случае выявить простой теоретический закон не удалось, поэтому в модели используется эмпирическое распределение с величиной математического ожидания 74,5 пассажира. Во втором случае проверка с применением критерия Пирсона позволила сделать вывод о близости рас-

пределения к гамма-закону с параметрами  $\tau = 0$ ,  $\alpha = 1,3$ ,  $\beta = 15,4$ , где  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  – соответственно параметры формы, масштаба и положения распределения. Здесь используется случайная величина  $(N - N_p)$ , где  $N$  – наибольшее из зафиксированных число пассажиров одного рейса. Для регулярных рейсов  $N = 170$  пассажиров, для вахтовых –  $N = 167$  пассажиров.

Групповой характер потоков прибывающих на регистрацию пассажиров учитывает такой параметр, как средняя доля пассажиров, проходящих при регистрации непосредственное обслуживание. Для регулярных рейсов она составляет около 78%. В потоке вахтовых пассажиров число групп незначительно, каждый пассажир следует со своим багажом и самостоятельно проходит регистрацию.

Следующим шагом алгоритма является розыгрыш числа стоек регистрации, выделяемых для обслуживания пассажиров рассматриваемого рейса –  $n_i$ . Это число является дискретной случайной величиной, не превышающей 3. Как показал анализ статистики, её вероятности зависят от числа пассажиров рейса, т. е.  $P_k = f_k(N_p)$ , где  $k = 1, 2, 3$ . Для удобства моделирования эмпирические зависимости аппроксимированы алгебраическими функциями.

Для регулярных рейсов:

$$P_1 = -2,82 \cdot 10^{-7} N_p^3 + 1,26 \cdot 10^{-4} N_p^2 - 1,93 \cdot 10^{-2} N_p + 1,05;$$

$$P_3 = \begin{cases} 0, & \text{если } N_p \leq 75; \\ -2,52 \cdot 10^{-8} N_p^3 + 1,62 \cdot 10^{-5} N_p^2 - 2,15 \cdot 10^{-3} N_p + 8,05 \cdot 10^{-2}, & \text{если } N_p > 75; \end{cases}$$

$$P_2 = 1 - (P_1 + P_3).$$

Для вахтовых рейсов:

$$P_1 = \begin{cases} -5,55 \cdot 10^{-5} N_p^2 + 1,67 \cdot 10^{-2} N_p + 6,25 \cdot 10^{-2}, & \text{если } N_p \leq 75; \\ 0, & \text{если } N_p > 75; \end{cases}$$

$$P_3 = \begin{cases} 0, & \text{если } N_p \leq 105; \\ 3,00 \cdot 10^{-4} N_p + 3,50 \cdot 10^{-2}, & \text{если } N_p > 105; \end{cases}$$

$$P_2 = 1 - (P_1 + P_3)$$

На продолжительность регистрации влияет момент времени её начала, который на практике обычно не совпадает с требованиями технологического графика. Статистический анализ данных ИС аэропорта Курумоч показал, что для регулярных рейсов величина интервала времени  $t_{i, \text{сп}}$  от начала регистрации до вылета  $i$ -го рейса подчиняется логарифмически нормальному распределению с параметрами  $\tau = 70,0$ ,  $\alpha = 3,2$ ,

$\beta = 0,4$ . Переход к натуральному времени начала регистрации, с учётом обозначения  $t_{\max} = 480$  мин., выполняется по формуле:  $t_{\text{пр}i} = t_{\max} - t_{\text{пр}i}$ . Для вахтовых рейсов интервал от начала регистрации до вылета подчинён закону Вейбулла с  $\tau = 50,0$ ,  $\alpha = 9,0$ ,  $\beta = 74,2$ .

Для имитации входа пассажиров в операционный зал должны быть известны моменты времени их прибытия в аэровокзал. Результаты исследований, проведённых в аэропорту Курумоч в 2005-2007 гг., свидетельствуют о том, что интервал времени  $\tau_{\text{пр}}$  от момента прибытия пассажира (или группы пассажиров) в аэровокзал до вылета рейса является случайной величиной, распределённой по гамма-закону [2] с параметрами  $\tau = 38,9$ ,  $\alpha = 2,1$ ,  $\beta = 29,7$ . Переход к натуральному времени прибытия в аэровокзал  $j$ -го пассажира, вылетающего  $i$ -м рейсом, выполняется по формуле  $t_{\text{пр}ij} = t_{\text{пр}i} - \tau_{\text{пр}ij}$ .

Длительность обслуживания одного требования  $t_{\text{ре}ij}$  подчинено логнормальному закону распределения с параметрами  $\tau = 0,1$ ,  $\mu = -0,3$ ,  $\sigma = 0,7$ , что устанавливает проверка в соответствии с алгоритмом критерия Пирсона. Исходными данными для анализа распределений времени прибытия пассажиров и длительности их обслуживания послужили статистические данные, собранные в аэропорту в результате опроса и наблюдений за обслуживанием около 200 пассажиров.

Таким образом, при проведении моделирования операции регистрации учитывались вероятностные распределения следующих факторов:

1. Число вылетающих пассажиров рейсов.
2. Число стоек регистрации, выделенных для обслуживания одного рейса.
3. Интервал времени от начала регистрации до вылета.
4. Распределение пассажиров по группам.
5. Интервал времени от прибытия пассажира в аэровокзал для прохождения предполётных формальностей до вылета.
6. Длительность проведения регистрации пассажира (или их группы).

Источником статистической информации для первых трёх факторов явилась БД ИС, для остальных трёх факторов – непосредственные наблюдения и опросы пассажиров в аэровокзале.

В качестве инструментальных средств реализации описанного выше алгоритма была выбрана система имитационного моделирования GPSS World. В ходе моделирования фиксировалась величина продолжительности регистрации каждого рейса  $T_{\text{рег}i}$ ,

под которой понимался интервал времени от начала работы стоек регистрации до окончания обслуживания всех пассажиров рассматриваемого рейса. Результатами явились полигоны распределений продолжительности регистрации пассажиров регулярных (рис. 2, а) и вахтовых (рис. 2, б) рейсов.

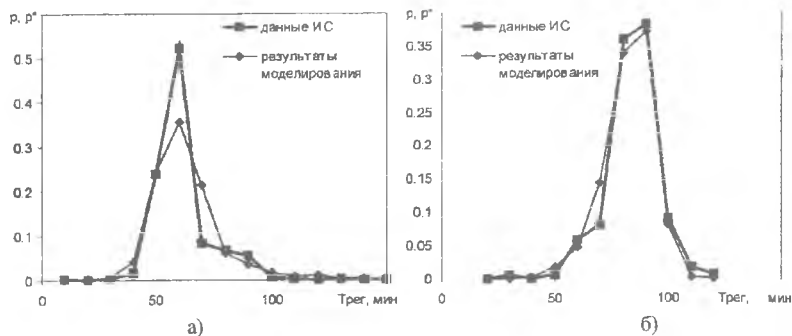


Рис. 2. Распределение продолжительности регистрации  
а) регулярные рейсы, б) вахтовые рейсы

Сравнение результатов моделирования с данными ИС, приведёнными на рис. 2, позволяют судить об их близости. Различия математических ожиданий результатов моделирования и данных ИС в случае регулярных рейсов не превышает 2%, а для вахтовых рейсов – 3%. Близость наблюдаемых и модельных распределений позволяет сделать вывод о возможности и правомерности использования данных ИС аэропорта для решения задач моделирования и оптимизации его параметров.

#### Библиографический список

1. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика Для инженеров и научных работников [Текст]/ А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
2. Романенко, В.А. Исследование процессов обслуживания пассажиров в Международном аэропорту Курумоч [Текст]/ В.А. Романенко. // Вестник СГАУ. – 2006. – №3 (11) – С. 35–43.