

УДК 629.7.08

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИИ «ЗАПРАВКА ВОЗДУШНОГО СУДНА ТОПЛИВОМ»

©2013 Б. А. Титов, С. А. Кропивенцева

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Определён диапазон допустимых значений на длительность операции по заправке самолёта топливом с учётом обеспечения регулярности вылета воздушного судна из аэропорта. Полученный диапазон является областью компромиссных решений между авиаперевозчиком и топливозаправочной компанией.

Заправка топливом, уровень качества, среднее квадратическое отклонение, технологические операции, статистические данные.

В связи с демонополизацией аэропортовых услуг наземное обслуживание воздушных перевозок осуществляется различными хозяйствующими структурами, для которых выполнение отдельных операций является бизнесом. Главный оператор аэропорта (далее – аэропорт) осуществляет общий контроль процесса наземной подготовки в интересах обеспечения конкурентоспособности аэропортового обслуживания, определяя при этом порядок и правила участия сторонних обслуживающих компаний в производственных процессах. Важнейшим условием конкурентоспособности является обеспечение регулярности самолёто-вылетов.

Регулярность полётов воздушных судов (ВС) по расписанию зависит от правильной организации работы всех структур и подразделений, выполняющих комплекс технологических операций по наземному обслуживанию. Показателями регулярности полётов является регулярность отправлений ВС из аэропортов и регулярность выполнения рейсов по воздушным линиям. Отправление считается регулярным, если ВС начинает движение от перрона после запуска двигателей в установленное расписанием движения время или с отклонением от времени отправления, установленного расписанием, при котором время взлёта по расписанию было выдержано или задержка относительно этого времени не превысила 5 мин

(за время взлёта по расписанию принимается время отправления, установленное расписанием, плюс время на руление) [1].

Проблема с наземным обслуживанием является второй после технических неисправностей причиной нарушения регулярности вылета. Нарушение регулярности отправлений ВС для авиаперевозчика оборачивается убытками из-за штрафных санкций за нарушение слотов в аэропорту назначения, из-за выплат компенсаций пассажирам, а также потери доверия реальных и потенциальных пассажиров.

Нарушение регулярности отправлений ВС для аэропорта потребует дополнительных материальных затрат для обслуживания перевозок вне установленного графика. Ввиду краткосрочности периода наземного обслуживания ВС длительность выполнения операций и своевременность окончания работ имеют существенное значение, так как влияют на регулярность отправления. Для управления технологическим процессом требуется определить нормы качества услуг, предоставляемых независимыми обслуживающими компаниями – участницами процесса наземной подготовки ВС.

ИАТА разработаны рекомендации АНМ 803 «Меморандум о взаимопонимании по стандартам оказываемых услуг». На большинство операций указанным документом заданы показатели качества об-

служивания, которые характеризуются временными параметрами [2].

В работе предложен способ расчёта качества выполнения операций по наземному обслуживанию воздушных перевозок. Получим диапазон допустимых значений на отклонение длительности операции, удовлетворяющих обязательному условию – выпуск ВС по расписанию.

Рассмотрим технологический график обслуживания ВС и выполним расчёт технологического процесса на точность. За показатель точности примем среднее квадратическое отклонение случайной величины – длительности выполнения операции. Строго заданная последовательность выполнения операций по наземному обслуживанию представляет собой временную цепь. Время окончания обслуживания является случайной величиной с допустимым отклонением в 5 минут и нормальным распределением. Требуется определить допустимое отклонение на каждую случайную величину, входящую в систему.

Общая длительность временной цепи представляет собой систему случайных зависимых величин. Дисперсия системы случайных зависимых величин определяется по формуле [3]

$$D(T) = \sum_{i=1}^n D(t_i) + 2 \cdot \sum_{i<j} (k_{ij}), \quad (1)$$

где $D(t_i)$ – дисперсия случайной величины t_i ; k_{ij} – корреляционный момент случайных величин i, j .

Условимся, что на каждую операцию временной цепи установлена одинаковая точность исполнения, то есть все операции временной цепи равнозначны по важности. Заменим в (1) дисперсию на среднее квадратическое отклонение и выразим S :

$$S = \sqrt{\frac{S_T^2 - 2 \sum_{i<j} k_{ij}}{n}},$$

где S_T – среднее квадратическое отклонение на суммарную длительность временной цепи.

Примем, что для верхней границы качества обслуживания среднее квадратическое отклонение на длительность обслуживания отсутствует: $S_{\min} = 0$. Общая длительность T соответствует математическому ожиданию суммы случайных величин – длительностей выполнения операций, составляющих временную цепь:

$$T = M(T) = \sum_{i=1}^n M(t_i).$$

Нижняя граница качества обслуживания определяется из условия, что окончание обслуживания может быть задержано на 5 мин, общая длительность временной цепи равна $T = \sum_{i=1}^n M(t_i) + 3S_T$.

Среднее квадратическое отклонение на длительность обслуживания отлично от нуля и равно

$$S = \sqrt{\frac{\left(\frac{5}{3}\right)^2 - 2 \sum_{i<j} k_{ij}}{n}}.$$

Определим ещё одно значение среднего квадратического отклонения на длительность обслуживания: $S_{\text{критич}}$ – максимально допустимое отклонение длительности i -й операции при условии, что все остальные операции из временной цепи выполняются с нулевым отклонением:

$$S_{\text{критич}} = \frac{5}{3} \approx 1,667.$$

При задержке окончания i -й операции на 5 мин ещё возможна отправка ВС с обеспечением регулярности вылетов, но для этого потребуются привлечение дополнительных ресурсов подразделений, ответственных за выполнение других операций, составляющих временную цепь.

Общий цикл наземной подготовки рейса представляет собой перечень операций, выполняемых параллельно-последовательно, при этом часть операций является обязательной, а другая выполняется по требованию. Начало некоторых операций связано с окончанием выполнения ряда других операций. Поэтому при включении операций во временную цепь требуется детальный анализ технологического графика подготовки рейса.

Полученный в результате расчётов диапазон допустимых значений является областью компромисса для поиска оптимального значения среднего квадратического отклонения на длительность операции.

Определение диапазона значений среднего квадратического отклонения длительности операции «заправка ВС топливом». Для определения допустимой величины отклонения длительности операции «заправка ВС топливом» при минимальном и максимальном уровнях качества выполнения операции определим перечень и общую длительность выполнения комплекса операций, которые по технологическому графику обслуживания ВС заданы строго последовательно. Временная цепь состоит из следующих хэндлинговых операций: «подготовка к заправке», «заправка ВС топливом», «посадка пассажиров в ВС», «подъезд тягача, подцепка водила», «буксировка и запуск».

Количественные значения минимального и максимального уровней качества выполнения заправки ВС топливом

прямого рейса Самара – Когалым, выполняемого на ВС Воиенг–737, рассчитаны с использованием статистических данных. За период с 1 июля 2005 по 30 ноября 2008 гг. системой ИС Аэропорт зафиксировано 55 технологических циклов предполётной подготовки ВС, в расчётах использованы данные по 35 комплексам технологических операций [4].

Рассчитаем по формулам [3] несмещённую оценку математического ожидания

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

дисперсию

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m})^2}{n-1}$$

и среднее квадратическое отклонение

$$S_{\tilde{D}} = \sqrt{\tilde{D}}.$$

В табл. 1 приведены результаты расчётов оценок для числовых характеристик на операции временной цепи.

Так как временную цепь составляют зависимые случайные величины, необходимо рассчитать корреляционные моменты [3]:

$$k_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ki} - \overline{m_{x_k}}) \cdot (x_{li} - \overline{m_{x_l}})}{n-1}.$$

В табл. 2 приведены результаты расчётов коэффициентов корреляции.

Таблица 1. Результаты расчётов статистических оценок для числовых характеристик на операции – составляющие временной цепи

Операция	Несмещённая оценка математического ожидания \tilde{m} , мин	Дисперсия \tilde{D} , мин ²	$S_{\tilde{D}}$, мин
Подготовка к заправке	19,857	3,656	1,912
Заправка керосином	20,886	14,222	3,771
Посадка пассажиров	12,114	10,104	3,179
Подцепка водила, подъезд тягача	10,171	22,323	4,725
Буксировка и запуск	9,714	1,857	1,363
Сумма	72,748	39,432	6,280

Таблица 2. Статистические корреляционные моменты между операциями временной цепи

Операция	Подготовка к заправке	Заправка керосином	Посадка пассажиров	Подцепка водила, подъезд тягача	Буксировка и запуск
Подготовка к заправке	1	-1,046	-1,748	2,525	-0,042
Заправка керосином	-1,046	1	-0,692	3,980	1,437
Посадка пассажиров	-1,748	-0,692	1	-2,961	0,298
Подцепка водила, подъезд тягача	2,525	3,980	-2,961	1	-0,156
Буксировка и запуск	-0,042	1,437	0,298	-0,156	1

В результате расчётов получено значение максимального отклонения на длительность операции по заправке ВС топливом, при котором обеспечивается регулярность вылетов из аэропорта $S_{\max} = 0,72$ мин.

Таким образом, получен диапазон допустимых значений на среднее квадратическое отклонение длительности операции «заправка ВС топливом»: $s \in [0; 0,720]$, представляющий собой область компромиссных решений при экономическом взаимодействии авиаперевозчика и топливозаправочной компании.

Для максимального уровня качества среднее квадратическое отклонение на длительность операции «заправка ВС топливом» равно нулю, длительность операции равна

$$t_{\min} = M(t_2) = 20,886 \text{ мин.}$$

Длительность операции по заправке ВС топливом с наименьшим уровнем качества будет превышена на 2 мин 10 с и составит

$$t_{\max} = M(t_2) + 3 \cdot S_{\max} = 20,886 + 3 \cdot 0,720 = 23,046 \text{ мин.}$$

В договоре о наземном обслуживании параметр качества обслуживания при выполнении операции «заправка ВС топливом» может быть зафиксирован так: «Длительность операции «заправка ВС топливом» не дольше 23 мин».

Рассчитаем длительность операции «заправка ВС топливом» при условии, что отклонение по срокам на все операции временной цепи отсутствует и весь «запас» по времени приходится на заправочную операцию:

$$t_{\text{критич}} = M(t_2) + 3 \cdot S_{\text{критич}} = 20,886 + 3 \cdot 1,667 = 25,887 \text{ мин.}$$

Если длительность других операций временной цепи соответствует рассчитанным значениям математического ожидания, то наибольшая длительность заправочной операции, при которой сохраняется регулярность вылета ВС, составит 26 мин.

Библиографический список

1. Руководство по обеспечению учёта регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации СССР РРП ГА 90 [Электронный ресурс] // URL: [http://www. http://airspot.ru/library/](http://www.airspot.ru/library/) (дата обращения 17.10.12).
2. АНМ 803 «Рекомендуемый текст–Меморандум о взаимопонимании по стандартам оказываемых услуг» // Airport Manual Handling, 2008. – 764 с.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст]/Е.С. Вентцель. – М.: Высш. школа, 1998. –576 с.
4. Статистические данные [Электронный ресурс]//ИС «Аэропорт»/ООО «Авиабит», 2010.

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE DURATION OF «AIRCRAFT REFUELING» OPERATION

© 2013 B. A. Titov, S. A. Kropiventseva

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper shows the range of acceptable values for the duration of the aircraft refueling operation with a view to ensuring the regularity of aircraft departure from the airport. The resulting range is the domain of trade-offs between the air carrier and the fuel-supply company.

Fueling, the level of quality, standard deviation, process operations, statistical data.

Информация об авторах

Титов Борис Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации и управления перевозками на транспорте, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: proftitov@mail.ru. Область научных интересов: разработка методологических основ моделирования и оптимизации мультимодальных транспортных процессов.

Кропивенцева Светлана Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры организации и управления перевозками на транспорте, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kropivenceva@gmail.com. Область научных интересов: моделирование экономического взаимодействия авиаперевозчика и аэропортовых структур.

Titov Boris Alexandrovich, doctor of technical science, professor, head of the department of traffic organization and management in transport, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: proftitov@mail.ru. Area of research: development of methodological principles of modeling and optimization of multimodal transport processes.

Kropiventseva Svetlana Anatolyevna, candidate of economics, assistant professor, the department of traffic organization and management in transport, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: kropivenceva@gmail.com. Area of research: modeling economic cooperation of an airline and airport structures.

ВЕСТНИК
САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени академика С. П. КОРОЛЁВА
(национального исследовательского университета)

№ 2 (40)

2013

Корректоры: **Н. С. Куприянова, Т. К. Кретинина, Ю. Н. Литвинова**
Компьютерная вёрстка **Т. А. Ефимова**
Переводчик **Е. И. Безрукова**

Каталожная цена: 1000 руб.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 31,25.
Тираж 200. Заказ _____

Отпечатано в издательстве СГАУ
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

**Правила оформления статей для журнала
«Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета
имени академика С. П. Королёва
(национального исследовательского университета)»**

1. Статья представляется в двух экземплярах, распечатанных на лазерном принтере на одной стороне бумаги в режиме качественной печати, а также в электронном виде на отдельном носителе по адресу: 443086, Самара, Московское шоссе, 34, 212а – 3А, тел.: (846) 267 48 41, электронная почта: vest@ssau.ru.

2. Текст статьи представляется в формате Microsoft Word на дискетах, CD или DVD. Объём статьи – до 10 страниц формата А4. Имя файла определяется по фамилии первого автора: фамилия.doc. Поля – по 2,5 см с каждой стороны, текст – кегль 12, одинарный междустрочный интервал. Выравнивание: по ширине страницы. Шрифты – Times New Roman, Symbol. Отступ первой строки абзаца – 1 см. Страницы должны быть пронумерованы.

Замена буквы «ё» на букву «е» недопустима. Написание в тексте буквы «ё» является обязательным.

3. Допускается наличие рисунков, формул и таблиц по тексту.

Рисунки могут быть созданы средствами Microsoft Word/Excel или представлены в форматах JPEG, GIF, TIFF, PNG. Подпись к рисунку начинается со слова «Рис.» и номера по порядку, подпись располагается снизу, выравнивание – по центру. Для ссылки по тексту статьи на рисунок 1 следует использовать сокращение: рис. 1.

Для математических выражений и формул следует использовать Microsoft Equation 3.0 и буквы латинского (*Times New Roman, курсив, размер 12*) и греческого (*Symbol, курсив, размер 12*) алфавитов. Формулы, на которые в статье делаются ссылки, следует печатать с новой строки, при этом формулы нумеруются в порядке следования по тексту статьи. Номер формулы и ссылка на неё в тексте обозначается числом в круглых скобках: (1), (2), (3). Длина формулы на строке строго ограничена – до 80 мм (допускается перенос на следующие строки).

Заголовок таблицы начинается со слова «Таблица» и её номера по порядку, заголовок размещается сверху, выравнивание – по левому краю. Для ссылки по тексту статьи на таблицу 1 следует использовать сокращение: табл. 1.

4. Библиографический список оформляется отдельным разделом в конце статьи, при этом литературные источники располагаются в порядке их использования по тексту статьи в виде нумерованного списка, и оформляется в соответствии с действующим ГОСТ 7.1-2003.

5. К тексту статьи прилагается направление организации (если авторы не являются сотрудниками СГАУ), рецензия специалиста по научному направлению статьи (не являющегося сотрудником подразделения, где работают авторы), акт экспертизы, информация об авторах для опубликования в журнале. На отдельной странице указываются сведения об авторах для служебного пользования: фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание, должность, место работы, служебный и домашний адреса, телефон, электронная почта. Статья должна быть подписана всеми авторами.

6. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и сопроводительные документы не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

7. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Образец оформления:

УДК 536.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ЗАМКНУТОЙ СТРУКТУРЫ НА БОРТУ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

© 2011 Г. П. Аншаков¹, В. В. Бирюк², В. В. Васильев², В. В. Никонов², В. В. Салмин²

¹ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС»

²Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

(аннотация статьи 50...150 слов, кегль: 10)

(ключевые слова 8-12 слов, кегль: 10, начертание: курсив)

(текст статьи)

(библиографический список)

(информация об авторах для опубликования: фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание, должность, место работы, электронная почта, область научных интересов – до 10 слов)

THERMAL FIELDS SIMULATING OF COMPLEX CLOSED STRUCTURE ABOARD RESEARCH SPACE
LABORATORY

© 2011 G. P. Anshakov¹, V. V. Biruk², V. V. Vasiliev², V. V. Nikonov², V. V. Salmin²

¹FSUE SRPSRC "TsSKB-Progress"

²Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

(аннотация статьи – на английском языке)

(ключевые слова – на английском языке)

(библиографический список – на английском языке)

(информация об авторах для опубликования – на английском языке)