

УДК 629.7.351

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В СИСТЕМЕ УВД*

А.Н. ТУРКОВ, И.А. ЧЕХОВ, Е.Е. НЕЧАЕВ

Рассматривается метод, связанный с определением максимального количества воздушных судов (ВС), находящихся одновременно на связи у диспетчера, с учетом обеспечения требуемого уровня безопасности полетов.

Ключевые слова: загруженность диспетчера, нормативно-пропускная способность, интенсивность воздушного движения.

Эффективность функционирования системы ОрВД характеризуется множеством важных критериев, одним из которых является пропускная способность самой системы. Пропускная способность в системы ОрВД - это максимально допустимое количество ВС, которое может быть обслужено с сохранением условий безопасности, регулярности и экономичности выполнения полета в течение определенного периода времени [1], [2], [5], [7]. С целью определения пропускной способности конкретного района, сектора или элемента системы ОрВД необходимо рассчитывать предельно допустимую пропускную способность, принимая во внимание те факторы и особенности, которые учитываются при расчете практической пропускной способности:

- существующая организация ВП и ОВД анализируемого объекта;
- технические возможности используемого оборудования объекта;
- принятая система обмена информацией по линии «пилот - диспетчер»;
- наличие особенностей ОВД;
- рабочая нагрузка на диспетчера, включая выполняемые задачи, координацию и другие любые элементы [4].

Нормативы пропускной способности (НПС) влияют на значение плотности воздушного движения (ВД), которая, в свою очередь, определяет коэффициент загрузки (Кз) авиадиспетчера на выполнение процедур ОВД. За НПС принимается интенсивность ВД или плотность ВД, при которых $0,1 \leq K_z \leq 0,55$. Расчет НПС должен проводиться с учетом национальных особенностей и местных условий организации ОВД, а также рекомендаций и положений документов ИКАО, исходя из максимального значения Кз [6].

КОМПОНЕНТЫ МОДЕЛИ РАБОЧЕЙ ЗАГРУЗКИ СЕКТОРА УВД

Модель использует четыре типа задач: фоновые, транзитные, повторяющиеся и конфликтные.

Фоновые задачи не учитывают количество самолетов в секторе. Задачи решаются со средней скоростью λ_6 и требуют среднее время τ_6 для завершения. Фоновые задачи включают в себя рутинные виды деятельности, такие как настройка дисплея, согласование с диспетчерами и руководителями, проверка эксплуатационных характеристик оборудования и изучения прогнозов погоды. Эти задачи занимают небольшую постоянную долю времени диспетчера:

$$G_B = \tau_6 \lambda_6. \quad (1)$$

* Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

Транзитные задачи возникают каждый раз, когда ВС проходит через сектор. Они включают в себя такие задачи, как передача управления, ознакомление с информацией плана полета и первоначального планирования маршрута. Среднее время решения переходных задач τ_T происходит со средней скоростью λ_T . Скорость возникновения переходных задач равна среднему числу самолетов в секторе $E[N]$, деленному на среднее время транзита (T) через сектор

$$\lambda_T = E[N] / T. \quad (2)$$

Повторяющиеся задачи возникают повторно для каждого ВС, проходящего через сектор. Эти задачи также могут быть объединены, им требуется среднее время τ_R для завершения. Они повторяются со средней скоростью λ_R , где

$$\lambda_R = E[N] / P, \quad (3)$$

здесь P - средний период повторения задач для каждого ВС. Повторяющиеся задачи включают в себя такие мероприятия, как: проверка трафика, ограничений воздушного пространства и учёт опасных явлений погоды, изменений плана полета и обновления статуса. Повторяющиеся задачи тоже включают мероприятия, направленные на предупреждение конфликтов, таких, как мониторинг соответствия и планирования.

Конфликтные задачи появляются при возникновении конфликтов между двумя ВС. Конфликтные задачи включают в себя такие виды деятельности, как: обнаружение конфликтов, принятие мер для разрешения конфликтов и постконфликтного восстановления маршрута. Среднее время τ_C для разрешения конфликта проводится со средней скоростью λ_C . Для сектора с переменным количеством самолетов (N_C) скорость конфликта изменяется пропорционально квадрату N_C , деленному на объем сектора (Q):

$$\lambda_C = BN_C^2 / Q. \quad (4)$$

В этом уравнении B является физической постоянной скорости сближения воздушных судов при минимальных интервалах эшелонирования

$$B = 2M_h M_v E[V_{12}], \quad (5)$$

где M_h и M_v являются горизонтальными и вертикальными расстояниями, которые определяют нарушение норм эшелонирования, а $E[V_{12}]$ – скорость сближения.

Количество ВС (N) в секторе является случайной величиной, а λ_C пропорциональна значению $[N^2]$. Если N рассчитывается по закону распределения Пуассона [3], то

$$E[N^2] = (E[N])^2 + E[N]. \quad (6)$$

При локальной плотности объема трафика κ ($\kappa Q = E[N]$) можно рассчитать среднюю скорость развития конфликта

$$\lambda_C = B\kappa (\kappa Q + 1). \quad (7)$$

Суммарная интенсивность G определяет долю рабочего времени диспетчера, которое связано с решением всех указанных четырех типов задач:

$$G = \tau_6 \lambda_6 + \tau_T \lambda_T + \tau_R \lambda_R + \tau_C \lambda_C. \quad (8)$$

G можно преобразовать к следующему виду:

$$G = G_B + \tau_T \kappa Q / T + \tau_R \kappa Q / P + \tau_c B \kappa (\kappa Q + 1). \quad (9)$$

Значения κ , T , B , и Q вычисляются непосредственно из геометрии сектора и параметров движения. Значения G_B , τ_T , τ_R , P , τ_c носят эмпирический характер.

При решении задачи значения τ_c , τ_R , τ_T определялись с помощью моделирования.

Таблица 1

		Переменные (кроме B)	Перевод в СИ	N – кол- во ВС	K – плотность вероятности	G – вероятность события
Подготовка к работе на рабочем месте	G_B	0,1		1	0,00029	0,16446
Длительность конфликта	τ_c , сек	50	0,0139	2	0,00058	0,215488
Согласование	τ_R , сек	2	0,000556	3	0,00088	0,293061
Анализ плановой информации	τ_T , сек	15	0,00417	4	0,00117	0,367185
Радиосвязь с экипажами	P , сек	300	0,0833	5	0,00146	0,437861
Время нахождения ВС в секторе	T , сек	480	0,133	6	0,00175	0,525089
Минимальный безопасный интервал по горизонтали между ВС, км	M_h , км	10	5,555555556	7	0,00205	0,608869
Минимальный горизонтальный интервал, футы	M_v , фут	1000	0,165	8	0,00234	0,69920
Скорость сближения, узлов	$E [V_{21}]$, узлов	440	440	9	0,00263	0,796084
Объем сектора, км ³	Q , км ³	20000	3420	10	0,00292	0,91951971
	B	806,6666667				

Коэффициент загруженности.	0,55
-------------------------------	------

РАСЧЕТ НПС ДЛЯ СЕКТОРА МОСКВА-ПОДХОД 5

С помощью эмпирических данных, полученных на основе анализа переговоров пилот-диспетчер в секторе Москва-подход 5, были получены: G_B , τ_c , τ_T и τ_R . По формуле (9) рассчитана суммарная интенсивность G . Зная коэффициент максимальной загруженности $K_z = 0.55$ было найдено максимальное количество ВС, находящихся на связи у диспетчера без уменьшения уровня безопасности полетов (табл. 1).

С помощью закона Пуассона (10) можно определить вероятность нахождения m ВС в секторе управления при определенной НПС:

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, (m = 0, 1, \dots), \quad (11)$$

$$a = \frac{tk}{60}, \quad (12)$$

где k – количество ВС за 1 час (НПС); m – количество ВС одновременно на связи у диспетчера; t – средневзвешенное время.

Средневзвешенное время нахождения воздушного судна в зоне ответственности ($t_{\text{ср.взв.}}$) можно определить по формуле:

$$t_{\text{ср.взв.}} = (m_1 * t_1 + m_2 * t_2 + \dots + m_i * t_i) / 100 \text{ мин.}, \quad (13)$$

где $m_1, m_2, \dots, m_i$ – относительное количество полетов воздушных судов по типам (%); $t_1, t_2, \dots, t_i$ – среднее время нахождения ВС 1-го, 2-го, ... i -го типа в зоне обслуживания воздушного движения (мин.); i – количество типов ВС [1].

Полученные результаты приведены на графике (рисунок), на котором видно, что наибольшая вероятность того, что на связи у диспетчера будет не более 6-и ВС равна значению НПС=38 ВС в час, хотя существует вероятность того, что на связи окажется более 6-и ВС, вероятность чего составляет 5%.

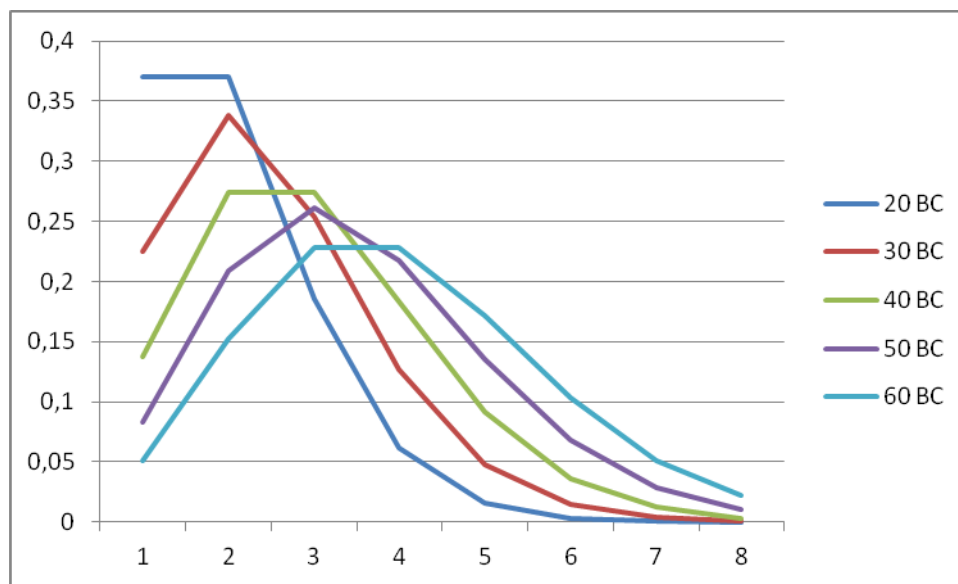


Рисунок. График значений вероятности нахождения m ВС на связи у диспетчера одновременно для различных НПС

Представленный метод расчета пропускной способности позволяет оценить нагрузку на диспетчера, что особенно важно в летние месяцы, в период отпусков, когда количество рейсов, выполняемых из московских аэропортов, значительно превышает средние годовые показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подольских В.В., Сосновский М.Ю. Организация воздушного движения. - М.: МГТУ ГА, 2007.

2. **Алешин В.И., Дарымов Ю.П., Крыжановский Г.А. и др.** Организация управления воздушным движением / под ред. Г.А. Крыжановского. - М.: Транспорт, 1988.
3. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. - М.: Сов. Радио, 1972.
4. **Малыгин В.Б.** Основные принципы совершенствования ОрВД в Московской зоне ЕС ОрВД // Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 136. С. 146-149.
5. Организация воздушного движения в Российской Федерации: Федеральные авиационные правила // Минтранс России. 2011. № 293.
6. Методика расчета НПС // Росавиация. 2012. № 757.
7. Воздушный кодекс Российской Федерации // ГД ФС РФ. 1997. № 60-ФЗ.

PROBABILISTIC METHOD DETERMINE THE CAPACITY OF THE ATC SYSTEM

Turkov A.N., Chekhov I.A., Nechaev E.E.

The article offers method of estimating airport capacity which helps the controller to define work-load in summer months in particular, on holidays when the number of flights from Moscow airports increases drastically.

Key words: workload air traffic controller, regulatory capacity, the intensity of air traffic.

REFERENCES

1. **Podolsky V.V., Sosnowski M.Y.** Air traffic management. - М.: MGTU GA, 2007.
2. **Aleshin V.I., Darymov Y.P., Kryzhanovsky G.A. et al.** Organization of air traffic control / edited by G.A. Kryzhanovsky. - М.: Transport, 1988.
3. **Wentzel E.S.** Operations Research. - М.: Owls. Radio, 1972.
4. **Malygin V.B.** Basic principles of improving ATM in the Moscow area of the unified ATM system // Scientific Bulletin of MSTUCA. 2008. No. 136. P. 146-149.
5. Air traffic management in the Russian Federation: Federal aviation regulations // The Ministry of transport. 2011. No. 293.
6. The method of calculation PS // Rosaviatsia. 2012. No. 757.
7. The air code of the Russian Federation // the state Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. 1997. No. 60-FZ.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Турков Алексей Николаевич, 1989 г.р., окончил МГТУ ГА (2011), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов - аэронавигационное обслуживание и использование воздушного пространства.

Чехов Игорь Анатольевич, 1970 г.р., окончил Челябинское высшее военное авиационное училище штурманов (1993), ВВА им. Ю.А. Гагарина (2006), кандидат военных наук, доцент кафедры УВД МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов – воздушная навигация, управление воздушным движением.

Нечаев Евгений Евгеньевич, 1952 г.р., окончил НЭТИ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация, радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.