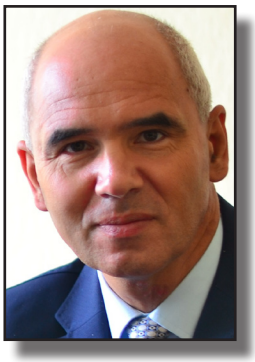
УДК 656.7.022.5

Влияние интенсивности воздушного движения на задержки рейсов

Борис ЕЛИСЕЕВ
Boris P. ELISEEV



Вадим ВОРОБЬЕВ
Vadim V. VOROBYEV

Андрей ХАРЛАМОВ
Andrey S. KHARLAMOV

Елисеев Борис Петрович *– доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), Москва, Россия.*
Воробьев Вадим Вадимович *– доктор технических наук, профессор МГТУ ГА, Москва, Россия.*
Харламов Андрей Сергеевич *– ведущий инженер Внуковского центра обслуживания воздушного движения, Москва, Россия.*

Influence of Air Traffic on Flight Delays
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 173)

Одним из условий безопасности полётов является ограничение по интенсивности потока воздушных судов, поступающих в сектор обслуживания воздушного движения, на участке маршрута, в точке пересечения маршрутов, на аэродроме. Для оценки пропускной способности и определения периодов максимальной загруженности в ходе исследования анализировались статистические данные значений интенсивности движения в течение 14 суток. Сбор данных проводился в аэропорту Внуково в августе 2015 года. Полученная информация по количеству вылетающих, прилетающих и задержанных рейсов с почасовыми интервалами систематизирована по целому ряду критериев, составлена сводная таблица по интенсивности и регулярности воздушного движения. Предложены меры для «сглаживания пиков», основанные на совокупной международной практике.

Ключевые слова: гражданская авиация, аэродром, воздушное пространство, пропускная способность, интенсивность воздушного движения, регулярность полётов, задержка рейсов.

Норматив допустимой интенсивности воздушных судов для каждого из элементов системы обслуживания воздушного движения (ОВД) задается значением пропускной способности. Под пропускной способностью понимают граничную (предельную) величину интенсивности воздушного движения, которую способен обслужить орган ОВД без нарушения заданных ограничений по безопасности полётов [1]. Пропускная способность для диспетчерских пунктов (секторов) выражается количеством воздушных судов в час (ВС/ч), которые обслуживаются в воздушном пространстве. При оценке (расчёте) пропускной способности учитываются следующие факторы:

• сложность структуры диспетчерского района, диспетчерского пункта (сектора);

• рабочая нагрузка на диспетчера, включая выполняемые задачи по обслужи-

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-08-05424.

ванию воздушного движения и координации;

• типы используемых систем связи, навигации и наблюдения, степень их технической надёжности и готовности, а также готовности резервных систем;

• наличие автоматизированных систем и комплексов ОВД, а также функций предупреждения;

• любой другой фактор или элемент, обуславливающий рабочую нагрузку на диспетчера (например, установленные нормы эшелонирования ВС; скорости движения ВС; размеры обслуживаемых зон).

Количество ВС, обслуживаемых органом ОВД, не должно превышать числа ВС, управление полётом которых может безопасно обеспечиваться в превалирующих условиях [2]. При этом особое внимание следует обратить на функционирование элементов системы в условиях максимальной загруженности. Так как значениям интенсивности на суточном интервале свойственна значительная изменчивость, то выполнение ограничения контролируется, как правило, для так называемых часов-пик, т.е. часов, когда наблюдается наибольшая загруженность системы ОВД.

ОЦЕНКА ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА

Для количественной оценки процессов в системе ОВД важной характеристикой является темп поступления воздушных судов на обслуживание (интенсивность воздушного движения – число ВС, поступивших в данную зону за единицу времени). Значение средней интенсивности определяется как первая производная от среднего значения плотности воздушного движения по времени [3]:

$$\lambda(t)=\frac{dP(t)}{dt},$$

где $P(t)=\frac{N(t)}{V}$ – плотность воздушного движения, являющаяся отношением среднего количества ВС, находящихся одновременно в зоне обслуживания N(t), к объему этой зоны V. На практике интенсивность считается по упрощенным выражениям, относя общее количество ВС, поступивших в зону ОВД, к единице времени их поступления:

$$\lambda(t)=\frac{\Delta N(t)}{\Delta t},$$

где ΔN(t) – число ВС, находящихся в рассматриваемый период времени на управлении; Δt – отрезок времени, в который подсчитывается число.

Для оценки показателей регулярности воздушного движения использовалась следующая методическая последовательность. Значение ΔN(t) было получено наблюдением за воздушной обстановкой в аэропорту Внуково (за основу бралось суточное расписание, которое является результатом предтактического планирования [4], и его фактическое выполнение). Период наблюдения длительностью 14 дней был выбран в августе 2015 года, так как этот месяц отличается наивысшей интенсивностью воздушного движения. Таким образом, за период наблюдения $T_{набл}$ = 14 дней общее количество рейсов составило $N_{общ}$ = 6626, из них вылетающих $N_{выл}$ = 3327, прилетающих $N_{пр}$ = 3299. Для более детального анализа данные регистрировались каждый час и занесены в 14 таблиц (по одной на каждый день наблюдения). На рис. 2 представлена сводная таблица суммарной интенсивности воздушного движения за период наблюдения.

АНАЛИЗ РЕГУЛЯРНОСТИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Под регулярностью ВД понимают отношение числа рейсов, выполненных за период T в соответствии с расписанием, к общему числу выполненных рейсов в тот же период. Основной интерес для практики представляет анализ причин наименьшего значения регулярности min $\rho(t_k)$. Только такой анализ позволяет выработать перечень действенных мер, позволяющих улучшить ее значение. Очевидно, что ρ напрямую зависит от количества задержанных рейсов.

Анализ регулярности воздушного движения в аэропорту Внуково был проведен при следующих допущениях:

• Количество задержанных рейсов при вылете $N_{задерж}$ рассчитывалось в соответствии с алгоритмом, представленном на рис. 1. Задержанным считался рейс, у ко-

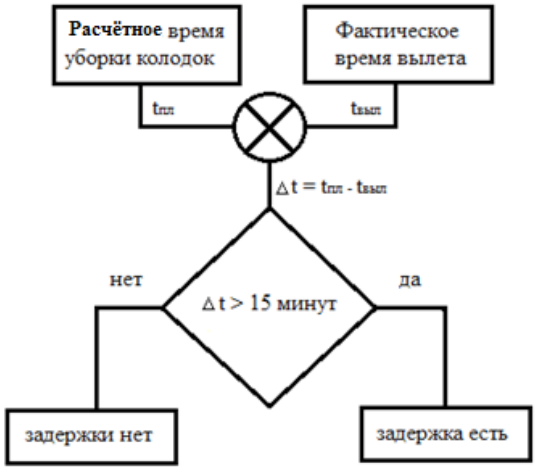


Рис. 1. Алгоритм регистрации задержанных рейсов.

Интенсивность воздушного движения												
время / кол-во рейсов	00.00–00.59	01.00–01.59	02.00–02.59	03.00–03.59	04.00–04.59	05.00–05.59	06.00–06.59	07.00–07.59	08.00–08.59	09.00–09.59	10.00–10.59	11.00–11.59
вылет	18	17	19	45	78	122	242	333	320	241	98	121
прилёт	23	34	33	67	189	204	190	57	102	73	141	170
задержанные при вылете	1	3	3	14	30	59	141	191	171	129	46	56

Регулярность воздушного движения												
время / кол-во рейсов	12.00–12.59	13.00–13.59	14.00–14.59	15.00–15.59	16.00–16.59	17.00–17.59	18.00–18.59	19.00–19.59	20.00–20.59	21.00–21.59	22.00–22.59	23.00–23.59
вылет	138	140	134	205	197	166	252	138	115	130	43	15
прилёт	138	186	235	285	244	157	193	111	148	146	99	74
задержанные при вылете	71	82	78	148	138	77	142	67	55	74	27	4

Рис. 2. Сводная таблица по интенсивности и регулярности ВД за период наблюдения.

торого разница между расчётным временем уборки колодок $t_{пл}$ и фактическим временем вылета $t_{выл}$ превышает 15 минут [5].

• Не учитывались рейсы, прилетевшие с задержкой по времени от запланированного в расписании, так как их количество незначительно (прилетающие рейсы имеют приоритет над вылетающими и основная причина их опоздания – задержка в аэропорту вылета).

Для анализа влияния интенсивности воздушного движения на регулярность количество задержанных рейсов регистрировалось с интервалами в 1 час в течение периода наблюдения, чтобы сопоставить с количеством рейсов по вылету и прилёту, зарегистрированных в аналогичные интервалы. Полученные данные были добавлены в каждую из 14 таблиц. На рис. 2 приведена сводная таблица за весь период наблюдения.

Для наглядного представления результатов анализа по данным из сводной таблицы был составлен график интенсивности и ре-

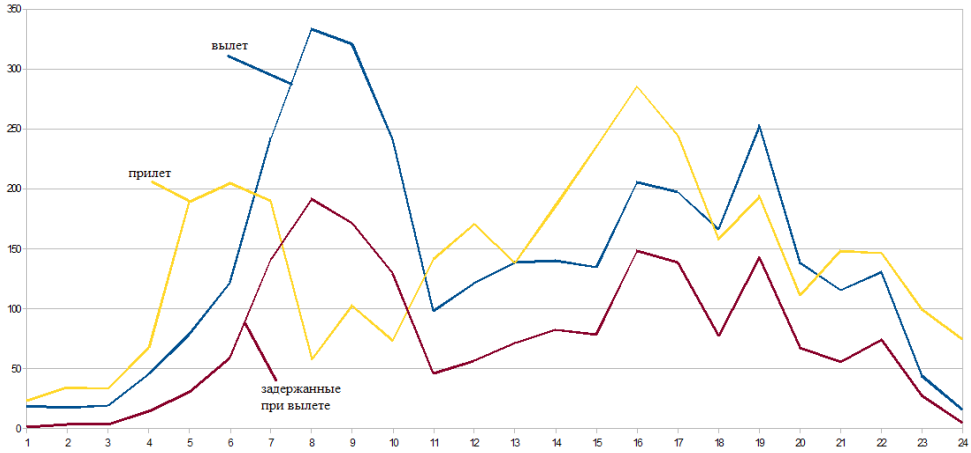


Рис. 3. График интенсивности и регулярности воздушного движения в аэропорту Внуково за период наблюдения.

время кол-во рейсов	00.00 00.59	01.00 01.59	02.00 02.59	.....	21.00 21.59	22.00 22.59	23.00 23.59
00–19							
20–39							
40–59							

Рис. 4. Таблица резервирования слотов.

гулярности воздушного движения в аэропорту Внуково за период наблюдения, представленный на рис. 3. В этом графике горизонтальной осью является суточная временная шкала, вертикальной – количество рейсов.

Из графика видно, что имеются два пика интенсивности воздушного движения в утренние и вечерние часы. На это же время приходятся и основные задержки вылетающих рейсов. Интерес авиакомпаний к выполнению полётов в утренние и вечерние часы объясняется большей коммерческой загруженностью (востребованностью) начала и конца дня в рабочем графике клиентов. Это распространяется, естественно, и на бизнес-авиацию. В случае опоздания по прилёту воздушные суда, находящиеся на земле и ожидающие вылета по расписанию, будут ожидать в очереди. Очевидно, что для уменьшения задержек требуется «сгладить пики». При текущей интенсивности воздушного движения этого можно

время кол-во рейсов	00.0000.59	01.0001.59	02.0002.59	03.0003.59	04.0004.59	05.0005.59	06.0006.59	07.0007.59	08.0008.59	09.0009.59	10.0010.59	11.0011.59
00–19												
20–39												
40–59												

время кол-во рейсов	12.00 12.59	13.00 13.59	14.00 14.59	15.00 15.59	16.00 16.59	17.00 17.59	18.00 18.59	19.00 19.59	20.00 20.59	21.00 21.59	22.00 22.59	23.00 23.59
00–19												
20–39												
40–59												

Рис. 5. Таблица резервирования слотов с учетом статистики.

достичь, увеличивая пропускную способность элементов, ограничивающих интенсивность, и перераспределяя потоки вылетающих и прибывающих воздушных судов.

МИНИМИЗАЦИЯ ЗАДЕРЖЕК РЕЙСОВ

Одна из возможностей для сглаживания пиков – внедрение некоторых правил, направленных на равномерное распределение интенсивности воздушного движения. Например, в европейских аэропортах существует практика, когда пользователи воздушного пространства перед подачей плана полёта могут ознакомится с таблицей резервирования слотов. Под слотом понимается время, выделенное в аэропорту рейсу для выполнения воздушным судном операции прибытия или отправления в определенную дату или период. Пример такой таблицы представлен на рис. 4.

Здесь по горизонтали сутки разбиты на часы, а по вертикали час разбит на двадцатиминутные интервалы. В ячейки заполняются данные о пропускной способности, исходя из уже поданных планов полётов. То есть таблица информирует пользователя воздушного пространства о количестве оставшихся мест на то или иное время. В наиболее загруженных ячейках имеется большая вероятность задержки рейса, поэтому, заранее ознакомившись с подобной таблицей, пользователь воздушного пространства может подать план полёта на менее загруженную ячейку.

Проанализировав эту таблицу, приняв во внимание статистику интенсивности воздушного движения за определенный период, можно представить ее примерно так, как на рис. 5.

Серым цветом закрашены ячейки, соответствующие временным интервалам с наибольшими задержками и самой высокой интенсивностью по статистическим данным за период наблюдения. Статистические данные должны ежедневно обновляться и иметь возможность быть представленными в разных форматах: за две недели, месяц, периоды летней и зимней навигации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены количественные характеристики системы ОВД. Для их определения проводилось наблюдение за воздушной обстановкой в аэропорту Внуково в течение 14 суток. Период наблюдения был выбран в августе, так как в этом месяце наибольшая интенсивность воздушного движения.

Для анализа полученные данные заносились в таблицы, каждая из которых соответствовала суткам. Представлена сводная таблица результатов наблюдения. На основе результатов анализа был составлен график интенсивности и регулярности воздушного движения в аэропорту Внуково. По нему выявлены часы пиковой интенсивности, в которые регулярность воздушного движения имеет наихудшие показатели. Пики интенсивности объясняются большей коммерческой загруженностью авиалиний в это время.

Для «сглаживания» пиков интенсивности воздушного движения предлагается использовать международную практику, при которой пользователи воздушного пространства перед подачей плана полёта могут ознакомиться с таблицей резервирования слотов. Также предлагается добавить в эту таблицу обратную связь, которая учитывает статистику регулярности воздушного движения за некоторый предшествующий период, предоставляя пользователям воздушного пространства более подробную информацию для подачи плана полёта.

ЛИТЕРАТУРА

1. DOC4444-ATM/501. Организация воздушного движения.– Монреаль: ИКАО, 2007.

2. Организация воздушного движения в Российской Федерации: Федеральные авиационные правила // Минтранс России.– 2011.– № 293.

3. Дарымов Ю. П., Крыжановский Г. А., Затонский В. М. Управление воздушным движением: Учебник.– М.: Транспорт, 1989.– 327 с.

4. Организация планирования использования воздушного пространства Российской Федерации: Федеральные авиационные правила // Минтранс России.– 2012.– № 6.

5. ATFCM users manual. Eurocontrol. 2016.

Координаты авторов: **Елисеев Б. П.**– info@mstuca.aero, **Воробьев В. В.**– v.vorobjev@mstuca.aero, **Харламов А. С.**– anrik85@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.06.2016, принята к публикации 25.08.2016.