

УДК 629.735.015:681.3

МОДЕЛЬ ПРИОРИТЕТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АЭРОДРОМНЫХ ОПЕРАЦИЙ

А.К. МИТРОФАНОВ, М.А. ПЕТРОВ, Л.Е. РУДЕЛЬСОН

Обсуждается модель процесса приоритетного обслуживания операций вылета и прилета. Приоритеты оперативно назначаются диспетчерским персоналом в соответствии с требованиями документов гражданской авиации и обстановкой, складывающейся на земле и в воздухе в районе аэродрома. Получены выражения для оценки характеристик обслуживания рейсов.

Ключевые слова: организация воздушного движения, аэродромные операции, приоритетное обслуживание, равновесное состояние.

ВВЕДЕНИЕ

Отношение общества к роли технических систем в повседневной жизни время от времени пересматривается. Причина кроется в противоречии между растущим потоком материальных благ и услуг, на которые нацелены достижения техники, и непоправимым ущербом среде обитания, в которой эти блага потребляются людьми. Ставятся задачи, не попадавшие в поле зрения инженеров еще два десятилетия назад: замедлить истощение природных ресурсов, уменьшить вредное влияние промышленных отходов на экологию, на здоровье и целевые установки человека. На глазах одного поколения изменились представления о системном анализе и проектировании, выдвинуты новые требования к техногенной сфере, новые ограничения на нежелательные показатели ее функционирования. Наглядным примером служат системы организации воздушного движения (ОрВД).

В 60-90-е годы прошедшего столетия рост интенсивности полетов привел к развертыванию автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД), предназначенных для поддержки деятельности диспетчеров. Целевым критерием эффективности служил допустимый уровень безопасности воздушных перевозок (задаваемый как вероятность летного события) при ограничениях на экономичность (высокая рентабельность авиатранспорта) и регулярность (точное выполнение расписания) полетов. Техническое задание на разработку содержало в основном требования к тактико-техническим (в первую очередь функциональным) характеристикам изделия, хотя эргономические ограничения в документах обозначались в виде санитарных и сопутствующих норм безопасности. Роль и место системы в поддержании динамического равновесия природы, техники и общества не обсуждалась.

На рубеже веков в обществе возобладало мнение, что спонтанный характер индустриального развития губительно сказывается на условиях жизни людей и ведет к экологической катастрофе. В русле нового подхода к проектированию больших технических систем ведущие авиационные державы признали первостепенную важность, наряду с функциональными показателями, следующих критериев эффективности авиатранспортной системы [1].

Критерии, имеющие социальное значение:

- минимально возможный ущерб состоянию окружающей среды;
- социальная выгода авиатранспорта для всех слоев и групп населения;
- экономическая эффективность для народного хозяйства и госбюджета;
- прибыль для потребителей услуг перевозок (пассажиров и владельцев грузов).

Для поддержания высокого уровня социальных критериев система ОрВД должна обеспечивать надлежащие показатели безопасности полетов (оценка риска и его последствий); технической надежности воздушных судов (ВС); авиационной безопасности (противодействие незаконным вмешательствам в действия экипажа); охраны и контроля состояния воздушной среды (уменьшение загрязнения атмосферы и воздействия шума) и т.д.

Критерии, значимые для эксплуатации (использования воздушного пространства):

- высокие финансовые результаты эксплуатационной деятельности авиакомпаний;
- высокая пропускная способность воздушного пространства (ВП), удовлетворяющая интересы и запросы всех его пользователей;
- группа показателей, оценивающих расходы авиакомпаний и системы ОрВД на поддержание эксплуатационной деятельности, такие как:
 - ✓ эффективность полетов – степень совпадения плановой и фактической траектории по времени вылета и продолжительности, близость расчетного и фактического расхода топлива, минимальный ущерб от ограничений ВП военно-воздушными силами и т.д.;
 - ✓ гибкость системы ОрВД – способность оперативно реагировать на внезапные изменения спроса и пропускной способности: изменения схем движения в ВП и плановых траекторий ВС; уведомления о рейсах, метеоусловиях, кризисных ситуациях и т.д.;
 - ✓ предсказуемость – способность системы ОрВД обеспечивать надежное выполнение полета по 4-мерной плановой траектории, исключение возможности «цепной реакции» (когда задержки рейсов приводят к опозданиям на пересадки по составным маршрутам).

Критерии, обеспечивающие реализацию деятельности, не вызывают прямого интереса у пассажиров, они имеют значение на стадии планирования полетов. Сюда относятся:

- доступ (права на использование воздушного пространства, а также на всю полноту информации о его структуре) и равенство (правила установления приоритетов рейсов);
- участие сообщества ОрВД (информирование сообщества, обратная связь и консультации, коллективные решения и достижение консенсуса на всех этапах жизненного цикла системы: проектирования, развертывания, эксплуатации и усовершенствования);
- глобальная функциональная совместимость – обеспечение однородности и отсутствие дискриминации потоков рейсов на международном и региональном уровнях, техническая и эксплуатационная совместимость ВС и систем ОрВД.

Столь представительный набор взаимосвязанных требований к перспективным техническим изделиям никогда ранее не предлагался разработчикам и является следствием современных подходов к развитию системного анализа и проектирования в области авиации.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

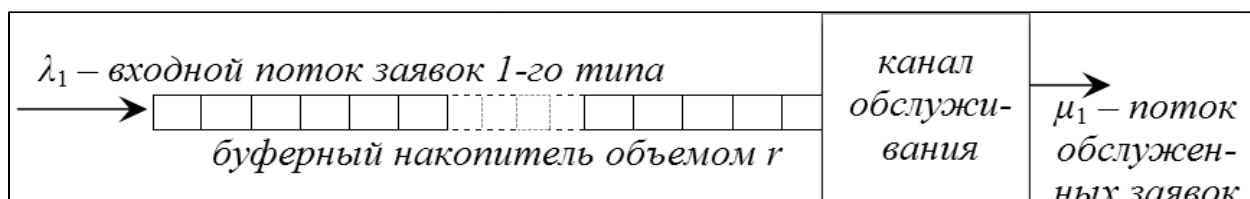
По перечисленным критериям проблемными элементами авиатранспортной системы остаются аэропорты [2] (таблица). Недостатки нередко связаны с работой служб ОрВД аэропорта. Район аэродрома – сложный элемент структуры ВП, здесь одновременно набирают высоту вылетающие ВС, снижаются приземляющиеся и горизонтально движутся транзитные рейсы. В ожидании разрешения на взлет или на посадку «впустую» сжигаются сотни тысяч тонн горючего ежегодно [3]. Эмпирически в обиход диспетчерских служб введены процедуры АМАН (менеджер посадки) и ДЕМАН (менеджер вылета), однако теоретические исследования в этом направлении пока ограничиваются весьма общими результатами. Поставим задачу исследования аэродромных операций с учетом приоритетов выполняемых рейсов.

Отправным пунктом служит предположение о правомерности замены случайной величины длины очереди заявок в системе ее наиболее вероятным значением [4]. Рассмотрим области изменения параметров модели, в которых использование предлагаемых методов не связано с высокой погрешностью расчетов. Состояние очереди заявок в общем буферном накопителе (БН) можно пояснить простыми рассуждениями (рис. 1). Согласно правилам обслуживания, все ресурсы системы предпочтительно предоставлены заявкам высокого приоритета (ЗВП). Они обрабатываются в порядке поступления, принимаются в БН, а если в системе нет свободных мест для ожидания, тогда поступившая ЗВП вытесняет из очереди заявку низкого приоритета (ЗНП) и занимает ее место. Гипотеза равновесного состояния говорит о том, что процесс обслуживания ЗВП описывается марковской цепью, что заявки менее высоких приоритетов в

штатных условиях не оказывают на него существенного влияния, и характеристики работы можно рассчитать по классическим формулам.

Таблица

Роль аэропорта в авиатранспортной системе		
Вид	Наименование критерия	Оценка значимости аэропорта по данному критерию
Социальная значимость	Социальная выгода населения	Удобства поездок пассажиров и перевозки грузов на большие расстояния; для местного населения – обеспечение занятости
	Экономическая эффективность	Недостатки ОрВД в службах аэропорта приводят к убыткам авиакомпаний и к ущербу воздушной среде
	Прибыль для потребителей	Потребители (пассажиры и владельцы грузов) добиваются личного и корпоративного успеха благодаря услугам авиаперевозок. Недостатки ОрВД приводят к срыву намеченных планов
	Безопасность полетов	Наиболее уязвимый по безопасности полетов элемент ВП, примерно 40% летных событий происходят в зоне аэродрома
	Авиационная безопасность	Предотвращение и смягчение последствий незаконного вмешательства в деятельность экипажей и утечки информации ОрВД
	Охрана окружающей среды	Аэропорт – самый экологически загрязненный и зашумленный элемент авиатранспортной системы
Эксплуатационные критерии	Финансовые результаты эксплуатации	Связь затрат на предоставление услуг ОрВД с доходом от количества обслуженных пассажиров и тонн грузов и выполненных аэродромных операций
	Пропускная способность	Определяется числом выполняемых взлетов и посадок с учетом ограничивающих факторов на ВПП, в воздухе и на земле.
	Эффективность полетов	Отклонения от времени руления, вылета и полета, от оптимального расхода топлива, потери на обход зон ограничений
	Гибкость ОрВД	Способность системы ОрВД выполнять запросы пользователей на корректировки исходного плана (от простого переноса времени до полного изменения расчетной траектории и т.д.)
	Предсказуемость	Степень соответствия сводного плана использования воздушного пространства его фактическому выполнению
Взаимодействие	Доступ и равенство	Оценивается сложность получения доступа к использованию ВП и к аэронавигационной информации, а также ранжирование пользователей по приоритетам оказания услуг ОрВД
	Участие сообщества ОрВД	Взаимное представление информации между членами сообщества, консультации и коллективное принятие решений
	Глобальная функциональная совместимость	Показатель однородности и отсутствия дискриминации потоков рейсов на международном и региональном уровнях, техническая и эксплуатационная совместимость ВС и систем ОрВД



Обозначения: λ_i – параметр i -го потока, μ_i – параметр обслуживания, r – длина очереди заявок

Рис. 1. Гипотеза равновесного состояния системы

Далее, согласно аргументам теории выбросов [5], нештатные условия, когда выдвинутая гипотеза неправомерна, вызываются ситуациями, при которых в процессе обслуживания заявок низшего приоритета происходит переполнение БН заявками первого типа. Тогда и возникают потери заявок высшего приоритета, не анализируемые известными формулами. Их необходимо учесть в выдвигаемой гипотезе с помощью вероятностных характеристик выбросов и количественной оценки ущерба, наносимого ими приоритетному потоку.

Для такого учета исследуем характеристики обслуживания потока ЗНП. В штатных условиях ему предоставлена часть БН, свободная от ЗВП, т.е. известное количество r мест для ожидания за вычетом случайной величины длины L_1 очереди заявок первого типа. Нужно научиться рассчитывать эту величину. Далее, ЗНП назначаются на обслуживание только при отсутствии ЗВП. Нужно научиться рассчитывать либо время, в течение которого система массового обслуживания (СМО) свободна от ЗВП, либо оперировать параметром создаваемой ими загрузки ρ_i , чтобы оценить ресурсы, оставленные ЗНП. Тогда можно представить марковской цепью и процесс обслуживания второго потока, чтобы найти количественные соотношения, связывающие с параметрами СМО вероятность π_i потери заявки i -го типа и время ожидания. В дополнение к штатному режиму, как и при анализе условий обслуживания ЗВП, следует учесть ситуации, при которых БН переполняется заявками второго типа, и в системе возникает поток отказов в их обслуживании, не учтенный известными формулами.

На основе аналогичных рассуждений нетрудно сформулировать гипотезу равновесного состояния для системы с общим БН и с приоритетным приемом заявок произвольного количества m входящих потоков, упорядоченных шкалой относительных приоритетов (рис. 2).

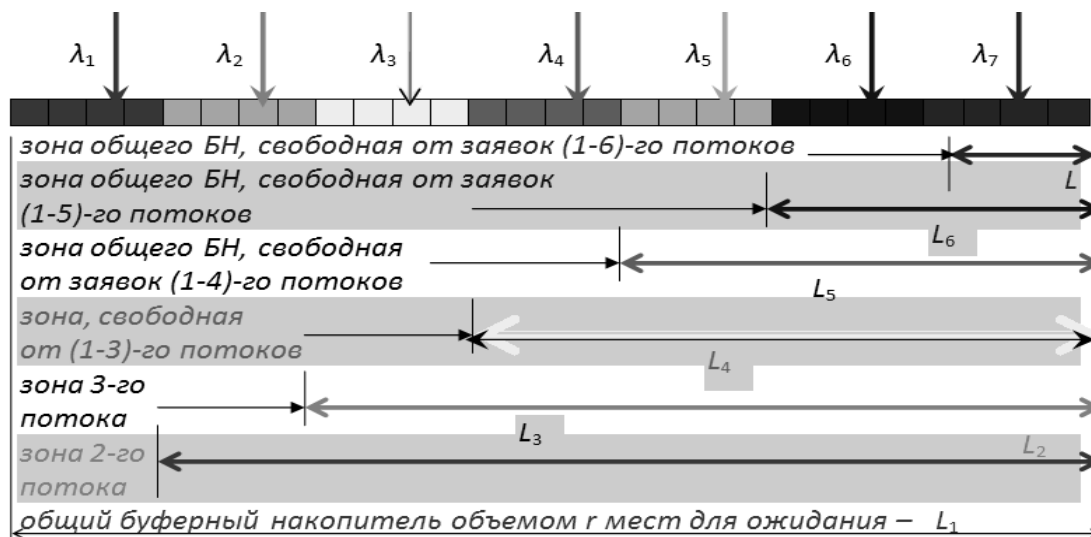


Рис. 2. Гипотеза равновесного состояния для m потоков

Выдвигаемая гипотеза состоит в том, что равновесное состояние СМО с относительными приоритетами и приоритетным приемом заявок m потоков в общий БН емкостью r мест для ожидания может быть представлено композицией m моделей с однородными входящими потоками. Отношения предпочтения реализуются упорядочением номеров i и свободными зонами БН. Для каждой i -й составляющей, описывающей условия обслуживания i -го потока, должно вычисляться собственное значение количества r_i' мест для ожидания и создаваемая всеми более приоритетными потоками загрузка ρ_i канала. Нужно учесть дополнительные потери в условиях выбросов, когда ЗВП переполняют ограниченный БН и теряются в сеансах обслуживания неприоритетных заявок. В такой постановке удастся формализовать задачу и получить аналитические выражения для оценки вероятностей отказа в обслуживании по каждому входному потоку. Расчетные формулы распространены на случай произвольного количества каналов СМО и проверены методом статистического моделирования (рис. 3).

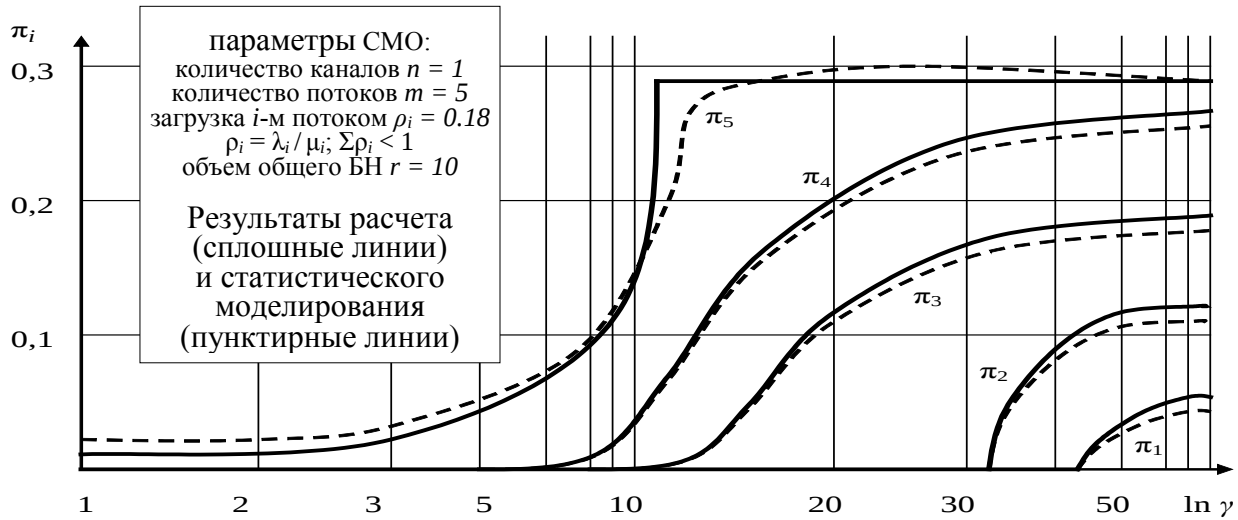


Рис. 3. Кривые $\pi_i = f(\gamma)$ для СМО с общим буферным накопителем

2. ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА ОТ ОБСЛУЖИВАНИЯ (ПОВТОРНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ)

Вероятность π_k отказа от обслуживания (потери заявки) для произвольного k -го потока:

$$\pi_k = \frac{\left(\sum_{i=1}^k \rho_i \right)^{r - (1+g^2)\gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right)} \left(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i \right)}{1 - \left(\sum_{i=1}^k \rho_i \right)^{r - (1+g^2)\gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right) + 1}},$$

если $(1+g^2)\gamma_k \sum_{i=1}^k \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right) \leq r$, где $\gamma_i = \mu_1 / \mu_i$ – соотношение параметров обслуживания или обратных им величин среднего времени T_i хранения заявки в БН $\gamma_i = T_i / T_1$.

$$\pi_k = \frac{\left(\sum_{i=1}^k \rho_i \right)^{r - (1+g^2)\gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right)} \left(1 - \sum_{i=1}^k \rho_i \right)}{1 - \left(\sum_{i=1}^k \rho_i \right)^{r - (1+g^2)\gamma_k \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right) + 1}} + \sum_{j=k}^m \delta_{jk} \rho_j \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^k \rho_i} \left\{ 1 - \frac{\gamma_k \left[r - (1+g^2) \gamma_j \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right) \right]}{(1+g^2) \gamma_j \rho_k} \right\},$$

если $(1+g^2)\gamma_j \sum_{i=1}^k \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right) \leq r < (1+g^2)\gamma_j \sum_{i=1}^k \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right)$, где δ_{jk} – символ Кронекера; $j, k = \{1, \overline{m}\}$,

m – количество входных потоков.

$$\pi_k = \frac{\sum_{i=1}^k \rho_i}{1 + \sum_{i=1}^k \rho_i}, \text{ если } (1+g^2)\gamma_j \sum_{i=1}^k \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right) > r.$$

Уточним понятие «отказ в обслуживании» в приложении к аэродромным операциям. Здесь отказ означает не прекращение деятельности, а постановку в очередь на дообслуживание, т.е. либо задержку вылета, либо кружение в зоне ожидания, либо уход на второй круг при по-

садке. В такой постановке отказ СМО – это и есть выброс, нарушение равновесного процесса. Аэродромные диспетчеры понимают, что каждый борт должен быть обслужен, но в реальной системе достичь стопроцентной вероятности невозможно. Инструкции пилотам и диспетчерам предусматривают четкий порядок действий в случаях задержки в выполнении операции. Как следствие, не обслуженных рейсов практически не бывает, но если система организована плохо, то она сама себя перегружает потоком перенаправления ВС на запасной аэродром, повторных попыток приземления, ожидания в очередях на вылет и посадку. При этом снижается комфорт пассажиров, нерационально сжигается топливо, диспетчеры и пилоты работают в условиях стресса. И задача состоит в том, чтобы так организовать аэродромные операции, чтобы вероятности постановки на дообслуживание стремились к минимуму и были упорядочены по приоритетам (рис. 3).

Графики рис. 3 показывают, что расчетные данные в области справа от точек излома кривых $\pi_i = f(\gamma)$ в меньшей степени согласуются с результатами моделирования, что нетрудно объяснить рассуждениями следующего раздела.

3. ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ

В равновесном состоянии системы, слева от точки излома кривых $\pi_k = f(\gamma)$, среднее значение T_o времени ожидания обслуживания нетрудно определить как произведение количества J бортов в очередях (на земле и в воздухе) на суммарную длительность аэродромных операций T_j каждого из них, зависящую от типов ВС и ряда других условий, т.е. $T_o = \sum_{j=1}^J T_j$.

Подчеркнем, что J в данном случае индексирует не уровень государственного приоритета рейса, а тип самолета, выполняющего взлет или приземление. Более того, зачастую очередность выполнения аэродромной операции устанавливается диспетчером не в последовательности, заданной государственными приоритетами рейсов, а динамически, в соответствии с развитием воздушной обстановки. Первоочередное внимание уделяется ВС, терпящим бедствие или испытывающим дефицит топлива. Предпочтение в очереди могут отдавать легким самолетам, имеющим низкую категорию спутной турбулентности и занимающим взлетно-посадочную полосу меньше времени, чем тяжелые, что позволяет быстрее «разгрузить» очередь аэродромных операций.

Ситуация осложняется при нарушении свойства стационарности процесса обслуживания, в условиях выброса, т.е. справа от точки излома кривой $(1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma \leq r$, когда для оценки показателей деятельности следует переходить от средних к наиболее вероятным значениям характеристик системы. По этой причине необходимо уточнить формулы раздела 1 на основе результатов статистического моделирования.

Вероятность потери заявки справа от точки излома определена физическим смыслом модели и ее особенностей: при невыполнении неравенства $(1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma \leq r$ весь БН предоставлен потоку ЗВП. Заявки второго типа, даже если они ожидают в очереди, вытесняются из системы и, следовательно, их обслуживание осуществляется справа по оси γ от точки $(1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma = r$ по правилам для СМО без БН ($r = 0$). Вероятность их потерь в такой модели:

$$\pi_2 = \frac{\rho_\Sigma(1 - \rho_\Sigma)}{1 - \rho_\Sigma^2} = \frac{\rho_\Sigma}{1 + \rho_\Sigma}, \text{ если } (1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma > r.$$

Суммирование загрузки по обоим потокам $\rho_\Sigma = \rho_1 + \rho_2$ подчеркивает тот факт, что обслуживание ЗНП производится лишь при отсутствии ЗВП. Вероятность P_2 обслуживания ЗНП в

условиях приоритетной записи справа от точки $(1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma = r$ по оси γ вычисляется как дополнение π_2 до единицы:

$$P_2 = 1 - \pi_2 = 1 - \frac{\rho_\Sigma}{1 + \rho_\Sigma} = \frac{1}{1 + \rho_\Sigma}, \text{ если } (1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma > r.$$

Тогда формула для оценки вероятности π_1 потери ЗВП при произвольных соотношениях L_1 и r приобретает вид:

$$\pi_1 = \frac{\rho_1^{r+1}(1 - \rho_1)}{1 - \rho_1^{r+2}} + \delta \frac{\rho_\Sigma}{1 + \rho_\Sigma} \left[1 - \frac{r}{(1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma} \right],$$

$$\text{где, } \delta = \begin{cases} 0, & \text{если } (1 + \vartheta^2)\rho_1 \gamma \leq r, \\ 1 & \text{в противном случае} \end{cases}, \text{ остальные символы определены выше.}$$

Однако из рис. 3 нетрудно видеть, что справа от точки излома имеет место резкий рост величины вероятности π_1 потери ЗВП, и реальная загрузка СМО потоком высокого приоритета ρ_{1r} соответственно снижается до $\rho_{1r} = (1 - \pi_1)\rho_1$. Для преодоления этого затруднения следует использовать итеративную процедуру уточнения расчета, состоящую из следующих шагов [6].

1. Вычислить значения вероятностей π_k потери заявки по формулам раздела 1.
2. Для каждой расчетной точки вычислить величины реальной загрузки ρ_{ir} и найти суммарную загрузку ρ_Σ потоками высоких приоритетов.
3. Рассчитать новые значения π_k справа от точки излома кривой $\pi_k = f(\gamma)$.

Выход из процедуры производится по достижении заданной замыслом задачи разности между результатами предыдущей и последующей итерации.

С учетом сказанного, получаем следующее выражение для наиболее вероятного значения $T_{ож\ j}$ времени ожидания аэродромной операции:

$$T_{ож\ j} = (1 + \vartheta^2) \sum_{i=1}^m \delta_{ij} (T_i) = (1 + \vartheta^2) \cdot T_j \cdot \gamma_j \cdot \sum_{i=1}^m \delta_{ij} \left(\frac{\rho_i}{\gamma_i} \right),$$

где T_j – среднее значение времени обслуживания j -го ВС, $j = \overline{1, J}$, – индекс ВС в очереди ожидания, остальные символы определены выше. Иными словами, время ожидания обслуживания j -м ВС рассчитывается как сумма времен обслуживания (определенных для каждого i -го типа ВС, $i = \overline{1, m}$) всех бортов, расположенных ранее j -го ВС в очереди. Для удобства вычислений формула преобразуется к зависимости наиболее вероятного значения времени ожидания $T_{ож\ j}$ от параметров загрузки ρ_i и соотношения γ_i длительностей обслуживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье исследована модель процесса выполнения операций вылета и прилета в условиях высокой загрузки района аэродрома, когда спрос на услуги воздушных перевозок превышает его заявленную пропускную способность, и в зоне ожидания образуется очередь на посадку, а на площади аэродрома – на взлет. Пиковые ситуации рассматриваются как выбросы, или нарушения равновесного (стационарного) состояния. Предложено (и обосновано методом статистического моделирования) использовать для анализа критических режимов вместо средних вели-

чин наиболее вероятные значения показателей. Получены оценки вероятности выбросов, времени ожидания обслуживания и длины очередей на вылет и посадку.

Результаты легко распространить на любые задачи использования воздушного пространства в условиях перегрузки, когда на первый план выступает превышение спроса над предложением, когда ограниченность ресурсов вынуждает ранжировать обслуживаемые рейсы шкалой приоритетов. Уже сейчас в районах максимальной интенсивности полетов действуют сокращенные нормы вертикального эшелонирования, на очереди стоят вопросы о нормативной поддержке делегирования все большей самостоятельности пилотам, например, разрешение «свободных траекторий» и «самозшелонирования» в процессе производства полетов. Этот подход основан на возросших технических возможностях инструментального местоопределения целей, позволяющих обеспечить известный принцип «вижу, слышу, управляю» не только на воздушных трассах, оборудованных связью и радиомаяками и покрываемых сплошным радиолокационным полем, но и в любой точке планеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Этап определения проекта SESAR (Исследование организации воздушного движения в едином Европейском небе). Документ Евроконтроля DLM-0607-001-02-00, 2007.
2. Организация системы управления воздушным движением / учеб. пособие: сост. Стионов М.В., Казаков В.А. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2010.
3. **Böhme, D., Brucherseifer R., Christoffels L.** German Aerospace Center DLR, Institute of Flight Guidance / Braunschweig, Germany - EUROCONTROL. ASA.02.DMAN.TRS025/02, 2003.
4. **Башарин Г.П.** Об однолинейной системе с эрланговским распределением времени обслуживания для заявок различных видов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1966. № 3.
5. **Кузьмин В.П.** Метод оценки вероятностей больших выбросов случайных процессов // «Ученые записки ЦАГИ». 2003. Вып. № 3-4. Т. XXXIV.
6. **Глаговский К.А., Моисеев О.В., Рудельсон Л.Е.** Уточнение формул для дисциплины обслуживания с приоритетами по результатам моделирования // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 184.

MODEL OF PRIORITY SERVICE FOR AIRDROME'S OPERATIONS

Mitrofanov A.K., Petrov M.A., Rudel'son L.E.

The model of process of priority service of departure and arrival operations is discussed. Priorities are operatively appointed by the controllers personnel according to requirements of documents of the civil aviation authorities and a situation developing on the earth and in air around airfield. Expressions for an assessment of properties of service of flights are received.

Key words: air traffic management organization, airdrome operations, priority service, equilibrium state.

REFERENCES

1. The ATM. Target. Concept. D3. DLM-0607-001-02-00, 2007. SESAR Definition Phase - Deliverable 3. Issued by the EUROCONTROL SESAR Consortium or the SESAR Definition Phase Project - September 2007.
2. Organizatsiya systemy upravleniya vozdushnym dvizhsheniem / Tutorial. Compiled by Stionov M.V., Kazakov V.A. – Ul'yanovsk: UVAU GA, 2010.
3. **Böhme, D., Brucherseifer, R., Christoffels L.** German Aerospace Center DLR, Institute of Flight Guidance / Braunschweig, Germany - EUROCONTROL. ASA.02.DMAN.TRS025/02, 2003.

4. **Basharin G.P.** Ob odnolineynoy systeme s erlangovskim raspredeleniem vremeny obslyzhivaniya dlya zayavok razlichnykh vidov // Izvestiya AN SSSR, Tekhnicheskaya kibernetika. 1966. No. 3.

5. **Kuz'min V.P.** Method otsenky veroyatnostey bol'shikh vybrosov sluchaynykh protsessov // Uchyonye zapiski TSAGI. 2003. No. 3-4. Vol. XXXIV.

6. **Glagovskiy K.A., Moiseev O.V., Rudel'son L.E.** Utochneniye formul dlya distsypliny obslyzhivaniya s priopitetamy po rezul'tatam modelirovaniya // Nauchnyi vestnik MSTU CA, 2012. No. 184.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Митрофанов Артем Константинович, 1991 г.р., окончил МГТУ ГА (2014), диспетчер-стажер Московского центра автоматизации управления воздушным движением, автор 1 научной работы, область научных интересов – организация воздушного движения.

Петров Максим Александрович, 1992 г.р., окончил МГТУ ГА (2014), аспирант МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – программная обработка информации в автоматизированных системах организации воздушного движения.

Рудельсон Лев Ефимович, 1944 г.р., окончил МЭИ (1968), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 170 научных работ, область научных интересов – программное обеспечение автоматизированных систем организации воздушного движения.