

УДК 656.7.072 (045)

О.Н.Цуриков, Альгабри Табит Махди Яхья

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДНОСТЬЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАДЕРЖАННЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Рассмотрена математическая модель управления очередностью обслуживания задержанных в аэропорту воздушных судов вследствие нарушения регулярности полетов. Обосновано применение экономического критерия оптимизации управления, предложен математический аппарат оптимизации очередности отправки задержанных рейсов.

В гражданской авиации одной из важных задач, решаемых авиационными компаниями, является обеспечение регулярности выполнения рейсов. Анализ причин нарушения регулярности отправления воздушных судов (ВС) свидетельствует о том, что, в основном, это связано с метеоусловиями [1]. Авиационным компаниям устранить нарушение расписания рейсов по метеоусловиям практически невозможно. Однако, если задержка вылетов существует, возникает задача минимизации ущерба авиакомпании вследствие этой задержки.

Последствия нарушения расписания рейсов характеризуются нарушением баланса между суточным планом полетов и наличием дополнительных (недостающих) ВС. В этом случае образуется скопление S_K ВС или их нехватка S_H . Под скоплением ВС будем понимать состояние, когда количество ВС, требующих подготовки к рейсу, больше числа бригад, обслуживающих эти ВС. Под нехваткой ВС будем понимать состояние, когда хотя бы один рейс не обеспечен ВС. При этом в любой заданный момент времени аэропорт может быть как открытым для вылетов A_0 , так и закрытым A_3 .

Допустим, что аэропорт открыт (закрыт) для посадки ВС и одновременно открыт (закрыт) для вылетов. Таким образом, последствием нарушения расписания рейсов по метеоусловиям могут быть скопление или нехватка ВС при открытом A_0 или закрытом A_3 состоянии аэропорта. Следовательно, для восстановления движения ВС по расписанию необходимо решать определенные задачи [1]:

- задачу управления очередностью обслуживания и выпуска задержанных ВС на отрезке $[t_0, t_0 + \tau]$, где t_0 – момент открытия аэропорта, τ – отрезок времени, на котором происходит восстановление движения ВС по расписанию;

- задачу управления очередностью назначения ВС на рейсы на отрезке $[t_0, t_0 + \tau]$,

- задачу максимизации готовности рейсов к вылету на отрезке $[t_0, t_0 + \theta]$, где θ – ожидаемая продолжительность закрытого состояния аэропорта после момента t_0 .

Рассмотрим управление очередностью обслуживания и выпуска задержанных ВС с позиций системного анализа [2].

Система управления очередностью обслуживания и выпуска задержанных ВС как единая система управления обладает следующими свойствами: целостностью, наличием подсистем (элементов), взаимосвязью подсистем, наличием среды и структуры. По своему характеру система управления очередностью ВС на обслуживание и выпуск является системой с ожиданием. В этих системах ВС, попавшие на обслуживание в момент, когда все места технического обслуживания заняты, становятся в очередь и ожидают столько времени, сколько потребуется.

Кроме того, система управления очередностью обслуживания обладает всеми признаками, позволяющими отнести ее к классу кибернетических систем [2]. Рассмотрим основные признаки.

Целенаправленность или наличие цели функционирования. Конечная цель функционирования системы – восстановить движение ВС по расписанию. С точки зрения эффективности функционирования система назначения очереди ВС на техническое обслуживание является системой длительного действия. Характерной особенностью таких систем является то, что для выполнения операций функционирования необходим интервал времени $[t, t+\theta]$. Очевидно, что в этом случае качество функционирования, или выходной эффект, будет зависеть от того, какова траектория x $[t, t+\theta]$ процесса движения системы в этом интервале.

Наличие управляющих и управляемых частей. Управляющей частью системы является алгоритм управления, управляемой – место задержанного ВС в очереди на обслуживание.

Использование информации для выработки управляющих воздействий. Основой для выработки управляющих воздействий является информация о характеристиках аэропорта и задержанных ВС.

Наличие между управляющими и управляемыми элементами прямых и обратных связей. Прямой связью является информация о месте задержанного ВС в очереди на обслуживание и его выпуске, обратной - информация о изменении очереди задержанных ВС после управляющего воздействия, которая должна учитываться при последующем управлении.

Наличие выхода (характеристик управления). Под выходом понимаются показатели качества функционирования системы.

Взаимодействие с внешней средой. Для рассматриваемого процесса внешней средой являются условия эксплуатации ВС, количество бригад технического обслуживания ВС, количество взлетно-посадочных полос, необходимое оборудование, квалификация персонала. Вследствие этого система управления очередностью обслуживания задержанных ВС является открытой.

Количество связей между самими элементами и между системой и средой. Количество таких связей может быть большим.

В процессе эксплуатации кибернетических систем одной из основных задач является задача научного прогнозирования их состояния и разработка с помощью специальных моделей и математических методов анализа и синтеза этих моделей рекомендаций по организации их эксплуатации. Система управления очередностью обслуживания и выпуском задержанных ВС является сложной кибернетической системой, поэтому разработка рекомендаций должна базироваться на методиках исследования таких систем. При решении поставленной задачи возникает необходимость учета целого ряда факторов. Причем влияние разных факторов на решение этой задачи часто носит противоположный характер. К таким факторам относятся характеристики аэропорта, конструктивно-технологические особенности задержанных ВС, экономические характеристики системы технического обслуживания, характеристики задержанных рейсов, влияние задержек рейсов на безопасность полетов и т.д. Научно обоснованная очередность обслуживания и выпуска задержанных ВС должна в полной мере отражать действие каждого из этих факторов, обеспечить требуемый уровень безопасности полетов и эффективность эксплуатации. Противоречивость действия этих факторов позволяет задачу управления очередностью задержанных ВС отнести к классу оптимизационных задач.

Оптимизация – определение таких управляющих воздействий, которые обеспечивают оптимальные характеристики исследуемого процесса с учетом ограничений, накладываемых на объект оптимизации [2]. Методика оптимизации включает в себя:

- количественную оценку значащих факторов;
- требования к проводимым мероприятиям;

- оценку эффективности мероприятий;
- алгоритм оптимального распределения ресурсов.

Любая задача построения оптимальной системы сводится к выбору наилучшего варианта из большого числа альтернативных вариантов. Каждый вариант задается набором параметров и характеристик управления. Допустимые варианты выделяются ограничениями или логическими соотношениями, связывающими параметры или характеристики управления. Качество варианта определяется показателем качества решения – численной характеристикой, устанавливающей соответствие выбранного варианта цели, ради достижения которой решается задача.

Основой постановки задачи оптимизации и определения методов ее решения являются математические модели исследуемых систем, определение функций систем управления, методов их реализации, информации для их реализации, средств и процедур выполнения функций.

Математическая модель представляет собой систему соотношений, связывающих характеристики процесса и исходные показатели объекта с его выходными параметрами [2]. Для сложной системы в зависимости от цели исследования можно получить большое количество различных моделей. Общая математическая модель исследуемой системы определяется ее содержанием и структурой. Богатство содержания и структуры находится в прямой зависимости от сложности системы, а конкретные выражения этих обобщенных характеристик могут с той или другой степенью соответствия определить ее. Указанная степень соответствия модели зависит от степени детализации раскрытия ее содержания и структуры. Давая различную детализацию, можно получить семейство моделей с различной степенью подробности.

Схематически общую модель системы можно представить в виде:

$$M=f(C, S),$$

где C – категория, определяющая содержание системы; S – категория, определяющая структуру системы.

Процесс построения модели системы сводится к последовательному раскрытию ее структуры S и содержания C . Обе эти категории непрерывно связаны между собой, и их следует рассматривать в единстве, где содержание является определяющим. Под структурированием будем понимать выявление взаимосвязей между элементами системы и разработку спецификации, которая представляет собой серию функций, предназначенных для построения рабочих зависимостей и области существования.

Адекватность модели зависит как от метода ее реализации на ЭВМ, так и от характера изменения параметров моделируемой системы. Последнее представляет собой проблему идентификации, связанную с определением и уточнением изменения параметров системы в процессе ее функционирования.

Построение математической модели задачи оптимизации очередности задержанных вылетов проведем с использованием методики [2]. Заданы множество X и функция $f(x)$, определенная на X , требуется найти точки минимума или максимума функции f на X :

$$f(x) \rightarrow \min, x \in X, \quad (1)$$

где f – целевая функция; x – допустимая точка решения задачи; X – допустимое множество.

Различают точки глобального и локального минимумов и выделяют два класса задач оптимизации:

- безусловной оптимизации (глобальный минимум находится внутри допустимого множества);
- условной оптимизации (глобальный минимум может быть достигнут на границе допустимого множества).

Оптимизацию системы очередности обслуживания задержанных ВС следует рассматривать как условную оптимизацию по причине ограничения допустимого множества состояний системы, для которого глобальный минимум может оказаться на его границе. Математическим описанием задач условной оптимизации с учетом выражения (1) может быть следующее [2]:

- динамика системы задается системой дифференциальных уравнений

$$x' = f(x, u, t); \quad (2)$$

- ограничения, накладываемые на управление

$$u(t) \in U(t); \quad t \in [t_0, T]; \quad (3)$$

- вектор управлений задается как функция времени:

$$u = u(t); \quad (4)$$

- начальные условия:

$$x(t_0) \in S_0(t_0); \quad (5)$$

- конечные условия:

$$x(t) \in S(t); \quad (6)$$

- фазовые ограничения на фазовые координаты $x(t)$:

$$x(t) \in X(t); \quad t \in [t_0, T]. \quad (7)$$

В уравнениях (1) – (7) $[t_0, T]$ – отрезок времени, на котором происходит управление системой (1), а $S_0(t_0)$, $S(T)$, $X(t)$, $U(t)$ – заданные множества из пространства соответствующих размерностей.

Целевой функционал принимает вид:

$$J(u) = \int_{t_0}^T f(x(t), u(t), t) dt + \Phi(x(T), T).$$

Важнейшим этапом оптимизации очередности обслуживания и выпуска задержанных ВС является определение критериев оптимизации. Как показывает анализ работ [1; 2], под критерием оптимизации понимают комплекс, состоящий из критериев оптимизации и ограничений.

В рассматриваемом случае критерием оптимизации выступают суммарные издержки U_c , связанные с устранением последствий задержек рейсов. Причем учитывают только те издержки, которые изменяются при изменении очередности вылетов задержанных ВС. Таким образом, критерий оптимизации имеет следующий вид:

$$U_c \rightarrow \min.$$

Задачу определения очередности обслуживания и выпуска задержанных ВС удается свести к однокритериальной оптимизации. В то же время при решении этой задачи необходимо учесть ограничения, накладываемые требованиями безопасности полетов.

При принятии экономического критерия определение абсолютного размера издержки не следует учитывать. Интересно лишь поведение всей системы при изменении параметров управления очередностью, поэтому при решении задачи достаточно знания относительных величин. Это позволяет обойтись в оперативном управлении учетом только наиболее значимых факторов. Таким образом, в математической постановке задача определения оптимальной очередности выпуска задержанных рейсов при скоплении ВС принимает следующий вид: имея множество задержанных рейсов

$$M = \{S_1 \dots S_i \dots S_m\},$$

необходимо минимизировать целевую функцию

$$\sum_{i=1}^m U_i(m, z_i) \rightarrow \min \quad (8)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \tau_i \leq \tau_{\text{норм}}, \\ Q_j \leq Q_{\text{норм}}, \end{cases} \quad (9)$$

$$t_{\text{выл } s} = t_{\text{расп } s}, \quad \forall S \in M, \quad (10)$$

где m – общее число задержанных ВС на момент открытия аэропорта; $U_i(z_i)$ – издержки, вследствие задержек z_i i -го ВС; z_i – задержка i -го рейса: $z_i = t_{\text{выл } i} - t_{\text{расп } i}$; $t_{\text{выл } i}$ – фактическое время вылета ВС; $t_{\text{расп } i}$ – время вылета ВС по расписанию; $\tau_{\text{норм}}$ – нормативное время предполетного обслуживания ВС; τ_i – фактическое время предполетного обслуживания i -го рейса; Q_j – пропускная способность аэропорта в любой из j -х моментов выпуска задержанных рейсов; $Q_{\text{норм}}$ – нормативная пропускная способность данного аэропорта.

Для прогнозирования потерь необходимо иметь аналитическую зависимость издержек от продолжительности задержки, поскольку каждому варианту очереди обслуживания и выпуска ВС соответствует своя продолжительность задержки.

Для получения зависимости издержек от продолжительности задержки необходимо проанализировать слагаемые издержек при задержке каждого рейса. Наиболее значимыми слагаемыми издержек являются:

- стоимость простоя ВС;
- стоимость возмещения ущерба пассажирам,
- возврат билетов;
- потери эксплуатанта из-за последующего позднего возвращения ВС, вызванного задержкой вылета.

Стоимость U_{ci} простоя ВС, запланированного на i -й рейс, можно определить по формуле

$$U_{ci} = C_{ci} Z_{ci}, \quad (11)$$

где C_{ci} – стоимость единицы времени простоя ВС данного типа, на котором выполняется i -й рейс [3].

Ущерб от потери времени пассажирами i -го рейса рассчитывают по формуле

$$U_{ni} = C_n N_i Z_i, \quad (12)$$

где C_n – средняя стоимость возмещения морального ущерба пассажирам за единицу времени простоя (в работе [4] предложено C_n принять равной 0.5 у.е./чел.-ч); N_i – количество пассажиров i -го рейса.

Потери, вызванные возвратом билетов, составляют

$$U_{oi} = \begin{cases} 0 & \text{при } z_i < z_{oi}, \\ C_{oi} N_i k_{oi} (z_i - z_{oi}) & \text{при } z_i > z_{oi}, \end{cases} \quad (13)$$

где z_{oi} – первоначальный период времени, в течение которого при задержке рейса возврата билетов не наблюдается [1]; C_{oi} – стоимость билета i -го рейса; k_{oi} – коэффициент, характеризующий интенсивность сдачи билетов.

Значение коэффициента k_{oi} обусловлено протяженностью воздушной линии, наличием и частотой движения конкурирующих видов транспорта до пункта назначения. Значения k_{oi} и z_{oi} могут быть определены путем накопления и обработки данных о моментах сдачи билетов на тот или иной рейс или методом экспертного опроса соответствующих специалистов аэропорта.

Величину экономических потерь вследствие последующего позднего возвращения ВС целесообразно рассчитывать только для тех ВС, которые еще раз будут задействованы в текущем суточном плане полетов. Экономические потери можно разложить на две составляющие:

- возмещение морального ущерба пассажирам последующего рейса данного ВС;
- возврат билетов этими пассажирами.

Величину экономических потерь вследствие последующего позднего возвращения ВС можно представить выражением

$$U_{\text{пр}} = \begin{cases} C_{ni} N'_i z'_i & \text{при } z'_i < z'_{0i}; \\ C_n N'_i z' + C_{bi} N'_i k'_{0i} (z_i - z_{0i}) & \text{при } z'_i > z'_{0i}, \end{cases} \quad (14)$$

где N'_i , z'_i , z'_{0i} , C_{bi} , k'_{0i} – соответствующие параметры последующего для данного ВС рейса.

Первоначально [1] была принята гипотеза о том, что задержка рейса приводит к увеличению продолжительности пребывания ВС в аэропорту выпуска.

В связи с этим среднюю продолжительность пребывания ВС θ в аэропорту назначения по прибытии с задержкой можно представить в виде

$$\theta = A(S)Z_n + B(S),$$

где $A(S)$ – коэффициент нарастания продолжительности подготовки ВС; S – продолжительность стоянки ВС в аэропорту назначения по расписанию; Z_n – задержка прибытия ВС в данный аэропорт; $B(S)$ – средняя продолжительность подготовки ВС при прибытии его без задержек.

Обработка статистических данных времени обслуживания ВС, прибывших с опозданием, методом наименьших квадратов позволила получить уравнения вида:

$$\begin{aligned} \theta &= 0,0066 Z_n + 78,6 \text{ мин при } S=70 \text{ мин;} \\ \theta &= 0,045 Z_n + 86,1 \text{ мин при } S=75 \text{ мин;} \\ \theta &= 0,046 Z_n + 83,4 \text{ мин при } S=80 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Коэффициент нарастания средней продолжительности подготовки ВС в зависимости от S – $A(S)$ имеет весьма незначительную величину. Учитывая величины временных допусков на вылет [3], можно сделать вывод о том, что продолжительность рейса, начавшегося с задержкой, будет практически равной продолжительности рейса, выполненного по расписанию [3]. В этом случае математическое ожидание задержки последующего по графику стыковки рейса будет равно:

$$z'_i = \begin{cases} z_i - T_{\text{пр}} & \text{при } z_i > T_{\text{пр}}; \\ 0 & \text{при } z_i < T_{\text{пр}}, \end{cases} \quad (15)$$

где $T_{\text{пр}}$ – плановый простой данного базового ВС между выполняемым и последующим рейсом согласно графику стыковки рейсов.

Подставляя уравнения (15) в выражения (14), получаем

$$U_{\text{пр}} = \begin{cases} 0 & \text{при } z_i \leq T_{\text{пр}}; \\ C_n N'_i (z_i - T_{\text{пр}}) & \text{при } z_i > T_{\text{пр}}, z_i - T_{\text{пр}} \leq z_{0i}; \\ C_n N'_i (z_i - T_{\text{пр}}) + C_{bi} N'_i k'_{0i} (z_i - T_{\text{пр}} - z'_{0i}) & \text{при } z_i > T_{\text{пр}}, z_i - T_{\text{пр}} > z_{0i}. \end{cases} \quad (16)$$

При этом суммарные потери для базового ВС будут равны:

$$U_i = \begin{cases} U_{ci} + U_{ni} & \text{при } z_i \leq z_{0i}, z_i \leq T_{\text{пр}}, z_i - T_{\text{пр}} \leq z'_{0i}; \\ U_{ci} + U_{ni} + U_{bi} & \text{при } z_i > z_{0i}, z_i \leq T_{\text{пр}}, z_i - T_{\text{пр}} \leq z'_{0i}; \\ U_{ci} + U_{ni} + U_{bi} + U_{ni} & \text{при } z_i > z_{0i}, z_i > T_{\text{пр}}, z_i - T_{\text{пр}} \leq z'_{0i}; \\ U_{ci} + U_{ni} + U_{bi} + U_{nbi} & \text{при } z_i > z_{0i}, z_i > T_{\text{пр}}, z_i - T_{\text{пр}} > z'_{0i}. \end{cases} \quad (17)$$

Для транзитных ВС и ВС, совершивших посадку в данном аэропорту как в запасном, в формуле (17) будет отсутствовать слагаемое U_{nbi} , учитывающее потери в последующем рейсе.

Если графически изобразить экономические потери U_{nbi} как функции продолжительности задержки (см. рисунок), получим ломаную с тремя точками изгиба при $z_i = z_{0i}$, $z_i = T_{\text{пр}}$, $z_i - T_{\text{пр}} = z'_{0i}$. Первый изгиб обусловлен началом сдачи билетов пассажирами, второй – задержкой следующего по графику стыковки рейса в результате позднего возвращения на базу.

Последний изгиб обусловлен сдачей билетов пассажирами последующего рейса. Каждому рейсу будет соответствовать своя ломаная кривая.

Для определения очередности выпуска задержанных рейсов необходимо исходить из минимизации суммарных потерь от задержек в очереди на обслуживание.

Расчет общих потерь U_0 , по i -му рейсу необходимо вести с момента отправки его по расписанию, поскольку предприятие несет потери и при закрытом состоянии аэропорта.

В период, когда аэропорт закрыт и вылеты не осуществляются, потери $U_{нi}$, которые несет предприятие, являются неуправляемыми и неотвратимыми. Управление выпуском задержанных рейсов начинается с момента подготовки первого из задержанных рейсов. Обслуживание первого из задержанных рейсов может начаться раньше, позже или совпасть с моментом открытия аэропорта. Управляемые потери можно определить по формуле

$$U_i(z) = U_{0i}(z_i) - U_{ii}(z_i - \tau), \quad (18)$$

где $U_{нi}(z_i - \tau)$ – потери, нанесенные авиапредприятию от задержки i -го рейса на момент начала подготовки первого из рассматриваемых рейсов; z_i – момент выпуска первого из задержанных рейсов; τ – продолжительность обслуживания ВС данного типа.

Допустим, что продолжительность обслуживания одного ВС равна τ , а обслуживания всех m задержанных ВС – $m\tau$. Алгоритм определения очередности обслуживания задержанных ВС должен удовлетворять условию (8). Приращение экономических потерь от задержки i -го рейса на $(j+1)$ -м участке τ , т.е. за время $[j\tau, (j+1)\tau]$, определим следующим образом:

$$\Delta U_j = U_{i(j+1)} - U_{ij}. \quad (19)$$

Тогда функцию потерь любого i -го рейса за $j\tau$ время можно представить в виде:

$$U_i(j\tau) = \sum_{l=0}^{j-1} \Delta U_l \quad (20)$$

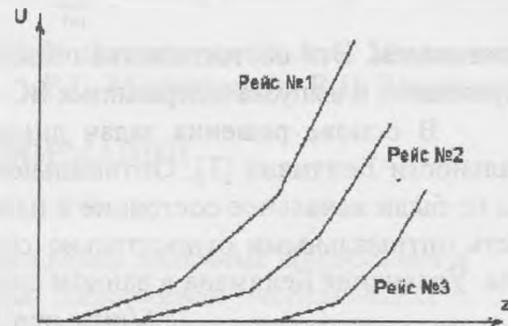
при условии, что

$$U_{i0} = 0. \quad (21)$$

Суммарные потери $\sum_{i=1}^m U_i$, по всем m рейсам, которые накопятся с начала обслуживания первого до конца обслуживания последнего m -го рейса, можно записать в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^m U_i = \sum_{i=1}^m \Delta U_{i0} + \sum_{i=1}^{m-1} \Delta U_{i1} + \dots + \sum_{i=1}^{m-j} \Delta U_{ij} + \dots + \Delta U_{i(m-1)}. \quad (22)$$

Задача оптимизации очередности обслуживания задержанных ВС представляет собой многошаговый процесс распределения ресурсов (комплексных бригад предполетной подготовки), где управляющим воздействием является назначение на обслуживание очередного ВС. Шагом, после которого вновь производится распределение бригад и определяется очередное обслуживаемое ВС, является длительность предполетного обслуживания τ . Состояние объекта управления на каждом шаге можно охарактеризовать числом оставшихся на обслуживании ВС в начальный момент m . Потери за время обслуживания всех ВС пред-



Зависимость экономических потерь от продолжительности задержек рейса:

U_i – экономические потери; z – продолжительность

ставляют собой сумму ущерба $\sum_{i=1} U_i(z_i)$ за все отдельные шаги, т.е. являются адаптивным показателем. Эти обстоятельства позволяют сделать вывод о том, что задача оптимизации обслуживания и выпуска задержанных ВС является задачей динамического программирования.

В основе решения задач динамического программирования лежит принцип оптимальности Беллмана [3]. Оптимальное поведение обладает следующим свойством: каковы бы не были начальное состояние и начальное управление, последующие управления должны быть оптимальными относительно состояния, являющегося результатом первого управления. Уравнение Беллмана в данном случае примет вид:

$$f_k(m) = \min[U(m, \delta) + f_{k-1}(m')], \quad (23)$$

где $f_k(m)$ – минимальное значение критерия качества управления k – шагового процесса; k – число шагов до конца процесса распределения; m' – число оставшихся не распределенными на обслуживание ВС после k -го шага; δ – управляющее воздействие – назначение порядкового номера ВС в очереди на обслуживание.

Поскольку конечное состояние известно (все задержанные рейсы должны быть обслужены и выпущены), решение задачи производится в обратном порядке, т.е. начинается с определения последнего обслуживаемого рейса. Среди m рейсов нужно отобрать тот рейс R_m , который связан с минимальным приращением $\Delta U_{(m-1)}$ на m -м участке τ . Это единственное наименьшее значение должно войти в качестве последнего слагаемого правой части уравнения (22). Таким образом определяется рейс, который должен обслуживаться последним. Предпоследняя группа состоит из двух слагаемых: одно – принадлежит тому рейсу R_m , который решено обслуживать последним, а второе слагаемое отбирается по тому же принципу минимума $\Delta U_{(m-1)}$ на $(m-1)$ -м участке τ , и ему соответствует рейс R_{m-1} , который должен обслуживаться предпоследним в очереди. Тем самым предпоследняя группа приобретает значение, равное минимально возможному. Процедура продолжается до определения рейса, который будет обслуживаться первым в очереди.

В связи с невозможностью определения точных значений параметров z_{0i} и k_{0i} (они могут изменяться в зависимости от расписания движения ВС, времени года и многих других факторов) алгоритм обеспечивает квазиоптимальное решение задачи.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие научные выводы.

Одной из важнейших задач управления производством в аэропорту при сбоях вследствие скопления задержанных воздушных судов является расчет оптимальной очередности обслуживания задержанных ВС.

Оптимизацию очередности обслуживания целесообразно проводить по экономическому критерию.

В качестве математической модели оптимизации очередности задержанных рейсов возможно применение выражений (8) - (23).

Список литературы

1. Анодина Т.Г., Кузнецов А.А. Автоматизация управления воздушным транспортом. – М.: Знание, 1984. – 64 с.
2. Иванюков Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. – М.: Наука, 1979. – 303 с.
3. Саркисян С.А. Теория прогнозирования и принятия решений. – М.: Высш. шк. 1977. – 350 с.
4. Coming to terms with D&C// Aircraft Technology Engineering & Maintenance. – Dec. 1998–Jan. 1999. – P. 38 – 42.

Стаття надійшла до редакції 11 липня 2000 року.