



- б) быстрый поиск методик испытаний и программ тестирования уже существующих изделий в базе данных текстов программ тестирования;
- 7) отслеживание истории изменений в файлах тестовых программ с документированием причин внесения изменений;
- 8) создание шаблонов некоторых часто используемых функций тестирования;
- 9) создание и ведение БД результатов испытаний, анализ данных которой позволит выявить слабые места, вероятность обнаружить брак в которых является особо высокой;
- 10) оперативная обратная связь с производственным участком.

Разрабатываемая АИС позволяет автоматизировать процесс передачи документов между отделами внутри предприятия, осуществляет взаимодействие с единым хранилищем тестовых программ, автоматизирует процессы внесения изменений в тестовые программы, снижая трудоемкость процесса тестирования кабельных изделий, что обеспечивает повышение эффективности деятельности предприятия авиационной промышленности.

Литература

1. Холдин Р.С., Анищенко Ю.А. Проблемы и тенденции развития авиационной промышленности России // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. №8 С.78-79.
2. Павлов Павел Владимирович Перспективы и стратегические направления развития авиационной отрасли промышленности России // Вестник ТИУиЭ. 2010. №2 С.6-9.

А.Н. Соколова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ САМОЛЕТОВ УЗЛОВОГО АЭРОПОРТА ПО КРИТЕРИЮ ЭКОНОМИЧНОСТИ

(Самарский университет)

В последние годы перегруженность стала проблемой в некоторых элементах системы управления воздушным движением. Перегруженность часто вызывается тем, что система управления воздушным движением зависит от аэропортов и их пропускной способности непостоянно. Изменения в пропускных способностях аэропорта могут быть очень высокими. В этой статье предлагается модель математического программирования для оптимизации управления потоками воздушных судов (ВС) в узловом аэропорте. Под узловым аэропортом понимается аэропорт со значительной долей трансферных перевозок. Характерной особенностью узлового аэропорта является наличие ярко выраженных пиков интенсивности потоков прилетающих и вылетающих ВС. Таким образом, актуальной задачей является определение численности ВС, которые мо-



гут быть приняты и выпущены аэродромом в течение заданных промежутков времени. Используется подход, предложенный Гильбо Е.П. [1]. Оригинальность работы состоит в том, что модель может быть применена к любому узловому аэропорту с большой интенсивностью прилетающих и вылетающих ВС.

Проблема сводится к задаче математического программирования, решаемой известными методами [2]. Рассматривается период времени T в течение которого наблюдаются вылеты и прилеты. Период времени T делится на интервалы времени N длина которых Δ . Считается заданным число заявок на прилетающие и вылетающие ВС.

Вводятся следующие обозначения:

T - временной интервал из N промежутков времени;

I - ряд временных интервалов; $I \in [1..N]$;

a_i - интенсивность прибывающих ВС в i -тое время;

d_i - интенсивность вылетающих ВС в i -тое время;

X_i - очередь из прибывающих ВС i -того промежутка времени, где $i=1..N+1$;

Y_i - очередь из вылетающих ВС i -того промежутка времени, где $i=1..N+2$;

Φ - совокупность кривых пропускных способностей, которые представляют все конфигурации ВПП аэропорта при всех погодных условиях;

$\varphi_i(u_i)$ - зависимость пропускных способностей, обслуживающих вылетающие ВС, которая определяет пропускную способность аэропорта в i -тый период времени,

u_i - пропускная способность, обслуживающая прибывающие ВС в аэропорту в i -тый слот времени, $i \in I$;

v_i - пропускная способность, обслуживающая вылетающие ВС в аэропорту в i -тый слот времени, $i \in I$;

α - коэффициент, учитывающий приоритет прилетающих ВС над вылетающими;

γ_i - коэффициент, учитывающий приоритет ценности временного интервала;

V - пропускная способность аэродрома, учитывающая только прилетающие ВС;

D - пропускная способность аэродрома, учитывающая только вылетающие ВС;

N - количество временных интервалов;

Δ - длина временного интервала.

Пропускная способность прибытий аэропорта в i -том временном интервале u_i и пропускная способность вылетов аэропорта в i -том временном интервале v_i взаимозависимы. Предположено, что зависимость пропускных способностей, обслуживающих вылетающие ВС от пропускных способностей, обслуживающих прилетающие ВС будет иметь вид близкий к эллипсу. Тогда уравнение, выражающее эту зависимость будет иметь следующий вид:



$$\frac{u_i^z}{B^z} + \frac{v_i^z}{D^z} = 1. \quad (1)$$

Предположено, что в какой-то момент времени число вылетающих ВС v_i и прилетающих ВС u_i будет совпадать. Тогда из теоремы Пифагора получаем следующее выражение:

$$c^2 + c^2 = n^p, \quad (2)$$

где c – пропускная способность, учитывающая одинаковое количество прилетающих/вылетающих ВС,

n^p – средняя пропускная способность, учитывающая количество вылетающих и прилетающих ВС одновременно.

Путем алгебраических преобразований найдена неизвестная c . Предварительно определена расчетная пропускная способность аэродрома. При подстановке в уравнение 1 чисел v_i и u_i равных, получено уравнение с одной неизвестной z , которое решено графически (рисунок 1).

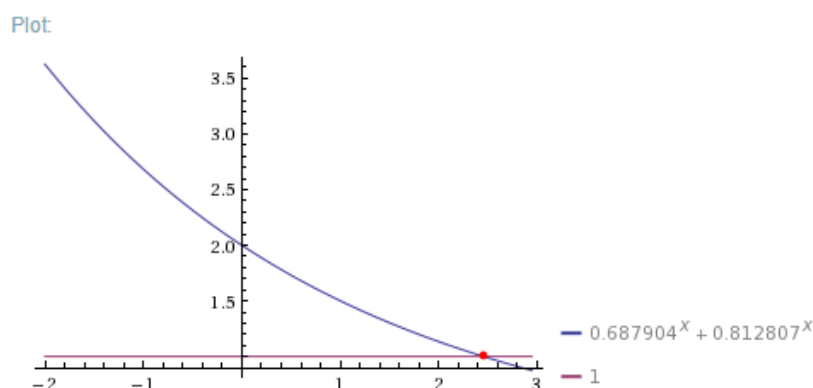


Рисунок 1 – Графическое решение уравнения 1

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов пропускных способностей

B,	2
BC/ч	6,969
D	3
, BC/ч	1,865
n^p	3
,BC/ч	1,338
c ,	2
BC/ч	2,159
z	2
	,4562

Таким образом, получена точная зависимость пропускных способностей, обслуживающих вылетающие ВС от пропускных способностей, обслуживающих прилетающие ВС (рисунок 2).

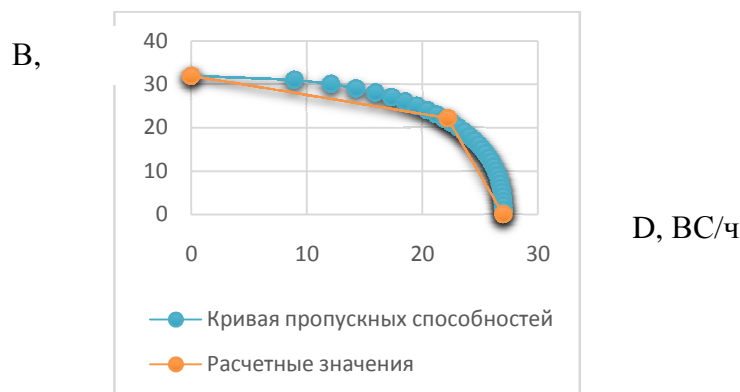


Рисунок 2. Зависимость пропускных способностей, обслуживающих вылетающие ВС от пропускных способностей, обслуживающих прилетающие ВС

Зависимость позволяет построить достоверную математическую модель в качестве критерия оптимальности которой выступает минимальная величина суммарных убытков авиапредприятия, вызванных ожиданием ВС команды «на взлет» или «на посадку»:

$$\min_u \sum_{i=1}^N \gamma_i (\alpha_i X_{i+1} + (1 - \alpha) Y_{i+1}), \quad 1 \geq \alpha \geq 0 \quad (3)$$

Очередь из прилетающих ВС либо отсутствует, либо равна сумме из очереди на предыдущем временном интервале и интенсивности прилетающих ВС с вычетом пропускной способности, обслуживающей прибывающие ВС в аэропорту в i -тый слот времени. Для очереди из вылетающих ВС определение аналогично. Очереди из прилетающих и вылетающих ВС определены по следующим формулам:

$$X_{i+1} = \max(0, X_i + a_i - u), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

$$Y_{i+1} = \max(0, Y_i + a_i - v), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

Пропускная способность v_i исходя из уравнения 1 рассчитана следующим образом:

$$v_i = D \cdot \sqrt[2]{\left(1 - \frac{u_i^z}{B^z}\right)} \quad (6)$$

На очереди из прилетающих и вылетающих ВС накладываются ограничения неотрицательности:

$$X_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N + 1 \quad (7)$$

$$Y_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N + 1 \quad (8)$$

На численности ВС, которые могут быть приняты или выпущены аэродромом в течение определенных промежутков времени, накладываются ограничения, обусловленные пропускной способностью аэропорта:

$$0 \leq v_i \leq \varphi_i(u_i), \quad \varphi_i(u_i) \in \Phi, \quad i \in I, \quad (9)$$

$$0 \leq u_i \leq B_i, \quad i \in I, \quad (10)$$

Задача решена на примере одного из иностранных аэропортов, функционирующего по схеме «хаба» с большой пропускной способностью. Расчетный



алгоритм реализован на базе табличного процессора Microsoft Excel с использованием надстройки «Поиск решения».

Интенсивности потоков прилетов и вылетов ВС для аэропорта города Мюнхен представлены на рисунке 3.

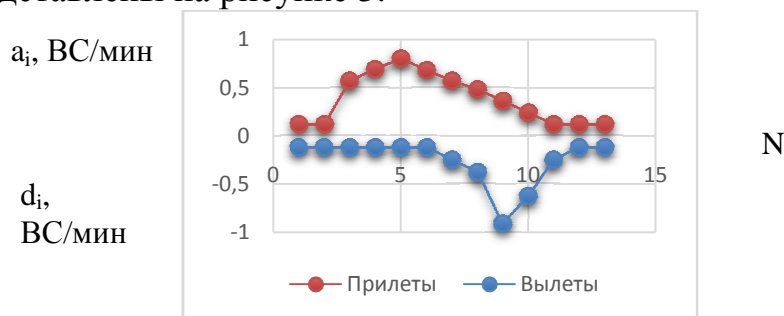


Рисунок 3. Интенсивности потоков прилетов и вылетов ВС для аэропорта города Мюнхен

Интенсивности потоков прилетов и вылетов ВС имеют характерные для узловых аэропортов пики, что говорит о большой загруженности в определенные слоты времени.

Графики для пропускных способностей аэропорта, обслуживающих вылетающие и прилетающие ВС с оптимизированными и неоптимизированными значениями представлены на рисунке 4.

Оптимизация управления потоками прилетающих и вылетающих ВС позволяет сократить длину очереди в 221%, а убытки – в 133%. Что подтверждает правомерность постановки задачи оптимизации и эффективность предложенного подхода решения.

Таким образом, решение данной задачи позволяет существенно улучшить характеристики обслуживания ВС для такой перспективной категории аэропортов, как «хабы».

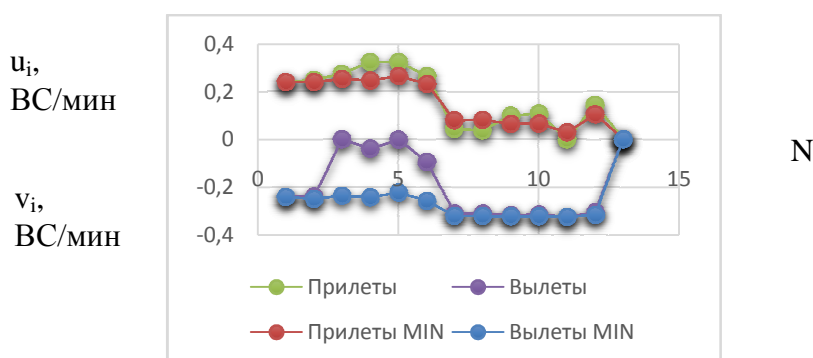


Рисунок 4. Пропускные способности для вылетающих и прилетающих ВС

Литература

1. Gilbo E. P. Airport Capacity: Representation, Estimation, Optimization // IEEE transactions on control systems technology. - 1993. - No. 3. - P. 144-154.
2. Gilbo, E. P., Optimizing Airport Capacity Utilization in Air Traffic Flow Management Subject to Constraints at Arrival and Departure Fixes // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 1997. - Vol. 5. - P. 490 – 503.