

## ФОРМИРОВАНИЕ СЕТИ УЗЛОВЫХ АЭРОПОРТОВ – ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РФ

Узловой аэропорт представляет собой крупный стыковочный транспортный узел, ориентированный на эффективное обслуживание большого объема трансферных перевозок. Формирование системы узловых аэропортов позволяет авиакомпаниям-перевозчикам повысить рентабельность транспортной работы, снизить уровень авиатарифов и сроков доставки пассажиров и грузов, увеличить количество направлений, а также мощность пассажиро- и грузопотоков. Все это, в свою очередь, приводит к повышению привлекательности воздушного транспорта. В экономически развитых странах совершенствованию системы узловых аэропортов и повышению ее эффективности уделяется пристальное внимание. Задача формирования сети узловых аэропортов как основы авиатранспортной системы РФ была сформулирована на правительственном уровне в 2005 году. Как указано в Транспортной стратегии РФ на период до 2020 г.: «Сеть аэропортов России должна быть в перспективе перестроена на основе создания базовых аэропортов: крупных пересадочных узлов (хабов) и региональных аэропортов».

Предлагается возможный подход к формированию оптимальной сети узловых аэропортов с использованием экономико-математических методов и моделей.

Рассматривается система, состоящая из ряда аэропортов федерального, регионального и местного уровней, обслуживающих сколько-нибудь заметный пассажиропоток. По имеющимся статистическим данным таких аэропортов в современной России около ста. Обозначив все аэропорты через  $\alpha = 1, 2, \dots, A$ , где  $A$  – число аэропортов, сформируем их множество:

$$\alpha = \{1, 2, \dots, A\}.$$

Разделим  $\alpha$  на два подмножества, одно из которых будет включать узловые аэропорты (хабы), а другое – все остальные (условно назовем их «региональными аэропортами»). Введем обозначения:  $H, R$  – число хабов и региональных аэропортов, соответственно;  $h = 1, 2, \dots, H$ ,  $r = 1, 2, \dots, R$  – номера хабов и региональных аэропортов, соответственно;  $\gamma = \{1, 2, \dots, H\}$ ,  $\rho = \{1, 2, \dots, R\}$  – множества хабов и региональных аэропортов, соответственно. Справедливы соотношения:

$$\gamma \subset \alpha, \rho \subset \alpha, \gamma \cup \rho = \alpha, \gamma \cap \rho = 0, H + R = A.$$

На множестве  $\alpha$  определяются отдельные транспортные связи – упорядоченные пары аэропортов, в которых первый элемент означает пункт отправления, второй – назначения. Каждую связь можно описать парой цифр  $(a_1, a_2)$ , первая из которых – номер пункта отправления, вторая – назначения:  $a_1, a_2 \in \alpha$ .

Транспортные связи будем характеризовать величинами протяженности и пассажиропотока. Обозначим протяженность воздушной трассы, обслуживающей связь  $(a_1, a_2)$ , через  $d_{a_1 a_2}$ ; а число пассажиров, перевезенных из  $a_1$  в  $a_2$  через  $p_{a_1 a_2}$ . Совокупности всех величин протяженности и пассажиропотока трасс образуют квадратные матрицы  $D = (d_{a_i a_j})$ ,  $P = (p_{a_i a_j})$  размерностью  $A \times A$  с нулевыми значениями на главной диагонали. Следует отметить, что в общем случае  $d_{a_1 a_2} \neq d_{a_2 a_1}$ . Между значительной частью пар аэропортов пассажиропоток отсутствует ( $p_{a_1 a_2} = p_{a_2 a_1} = 0$ ). В случаях, когда пассажиропоток наблюдается, число пассажиров, перевезенных в направлении «туда», практически никогда не совпадает с числом пассажиров в направлении «обратно» ( $p_{a_1 a_2} \neq p_{a_2 a_1}$ ).

Целью решения рассматриваемой задачи является рациональное формирование множества  $\gamma$ . При этом необходимо определить число его элементов и его состав. Очевидно, не любой член множества  $\alpha$  может рассматриваться в качестве возможного члена множества  $\gamma$ . Как правило, решающими для создания на базе аэропорта трансферного узла условиями являются следующие:

1. наличие мощностей для обслуживания значительных пиковых потоков воздушных судов, пассажиров, багажа, грузов;
2. наличие значительных внутренних и международных пассажиропотоков;
3. выгодное географическое положение;
4. базирование крупной авиакомпании.

Выделим из  $\alpha$  подмножество «потенциальных хабов», т.е. аэропортов, обладающих перечисленными свойствами в достаточной степени. Введем обозначения:  $H'$  – число потенциальных хабов;  $h' = 1, 2, \dots, H'$  – номера потенциальных хабов;  $\gamma' = \{1, 2, \dots, H'\}$  – множество потенциальных хабов. Формирование системы узловых аэропортов происходит путем отбора «полноценных» хабов ( $\gamma$ ) из множества «потенциальных» ( $\gamma'$ ):  $\gamma \subset \gamma'$ ,  $H \leq H'$ .

С целью упрощения математической модели транспортной сети вводятся два допущения:

1) прямые связи установлены между всеми аэропортами – элементами множества  $\gamma$ ;

2) прямые связи отсутствуют между аэропортами – элементами множества  $\rho$ .

Практически это означает, что пассажиры, следующие из одного регионального аэропорта в другой региональный аэропорт, обязательно вынуждены совершать от одной до двух пересадок в одном или двух узловых аэропортах.

Введение допущений позволяет разбить множество региональных аэропортов  $\rho$  на ряд непересекающихся подмножеств по числу хабов в соответствии с признаком принадлежности к области тяготения того или иного хаба.

Рассматриваемая задача состоит в определении оптимального числа узловых аэропортов и их состава, а также распределении региональных аэропортов по областям тяготения хабов. Примем в качестве критерия оптимальности минимум затрат на выполнение перевозок.

Размер расходов на перевозки на авиалинии определяется целым комплексом разнородных факторов, среди которых наиболее значимыми являются мощность пассажиропотока, дальность перевозки, частота рейсов, стоимость авиатоплива, уровень авиатранспортных сборов и др. Ключевую роль в определении величины большинства из этих факторов играет выбор типа самолета, выполняющего рейсы на авиалинии. Следовательно, задачи формирования сети узловых аэропортов и определения необходимого состава авиапарка перевозчиков должны решаться совместно. Введем обозначения:  $J$  – число типов самолетов,  $n_j$  – число самолетов  $j$ -го типа ( $j = 1, \dots, J$ ). С их учетом математическая формулировка задачи запишется в виде:

$$(H, \gamma, J, n_j) = \arg \min \sum_{a_1 a_2} C_{a_1 a_2}, \quad a_1 = 1, 2, \dots, A, \quad a_2 = 1, 2, \dots, A, \quad a_1 \neq a_2,$$

где  $C_{a_1 a_2}$  – себестоимость перевозок пассажиров на линии  $a_1 a_2$  в единицу времени (например, год).

Некоторые результаты решения сформулированной задачи приводятся ниже. Величины затрат на перевозку пассажиров для ряда сочетаний хабов, отнесенные к минимальному значению, отображены на рис. 1. Минимум суммарным затратам на перевозку обеспечивает сеть, включающая четыре хаба – Москву, Екатеринбург, Красноярск, Хабаровск (аэропорты Московского аэроузла рассматриваются как единый хаб, что является известным упрощением).

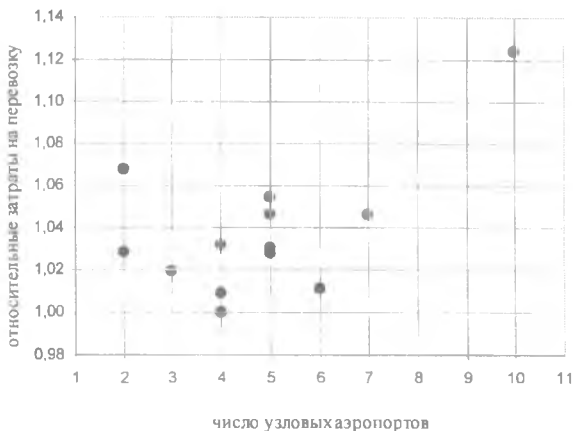


Рис. 1

Следует подчеркнуть, что приведенные результаты носят иллюстративный характер, поскольку получены на базе упрощенной модели. Их значение заключается в том, что они показывают правомерность данной постановки задачи.

Дальнейшее развитие модели может идти по следующим направлениям:

- реализация более детального учета временных и стоимостных составляющих;
- учет возможности прямых связей между крупными региональными аэропортами;
- учет обновления парка самолетов;
- прогнозирование изменения уровня пассажиропотоков и затрат на их перевозку по линиям и т.д.

Важнейший шаг в дальнейшей эволюции модели – переход к решению задачи в многокритериальной постановке. В качестве критериев должны выступать, наряду со стоимостными, временные характеристики транспортной операции, в частности, время доставки пассажира воздушным транспортом.