

Шварц Л.С.

## МЕТОДЫ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АЭРОПОРТА

Обычно прогнозирование спроса на воздушные перевозки выполняли на макроэкономическом уровне, рассматривая спрос как некоторую функцию средних значений ряда переменных, не учитывая детально влияние каждой из переменных в отдельности. Эти очень простые методы были довольно успешно использованы на местном, национальном и интернациональном уровнях, где темы роста и перевозок оставались практически постоянными во времени. Используемые методы включали приближенные оценки, прогнозирование на основе экспертных оценок, прогнозирование тенденции и основной метод прогнозирования.

*Метод приближенных оценок.* В условиях ограниченного роста перевозок эффективным методом прогнозирования является метод приближенной оценки, обычно выполняемой с помощью прогнозиста, знающего проблему и способного обобщить и взвесить все факторы, влияющие на объем перевозок. Успех данного метода уменьшается, когда повышается сложность ситуации и превалирует необходимость в долгосрочных прогнозах. Применение оценок сводится к логическому прогнозированию – методу, который является неприемлемым для прогнозиста-аналитика.

*Прогнозирование на основе экспертных оценок.* Этот метод не очень широко распространен и базируется на изучении мнений специалистов отрасли, занимающих высокие служебные посты, позволяющие им оценить будущие тенденции. Подбирая в качестве опрашиваемых широкий круг заинтересованных лиц, прогнозист надеется выявить сбалансированное мнение.

Более точным методом, который находит все более широкое применение в общем транспортном планировании, является дельфийский метод – получение перспективной оценки повторением процедуры предварительной оценки. Согласно этому методу эксперты делают прогнозы, а затем получают обратный поток информации от целой группы прогнозистов. После каждого повторения разброс ответов сужается и в окончательном виде ответы могут совпадать. Метод прогнозирования на основе экспертных оценок более пригоден для агрегированных (общих) прогнозов на региональном или национальном уровне, чем для получения отдельных оценок на уровне аэропорта.

### Прогнозирование тенденции. В основе получившего широкое распространение метода

прогнозирования тенденций лежит простой принцип экстраполяции специалистом оценок, характеризующих изменение процесса роста в прошлом. Этот метод является сравнительно надежным при краткосрочном планировании, когда процедуру экстраполяции выполняют с учетом модифицированных темпов роста в целях учета краткосрочных возмущающих воздействий на долгосрочные тенденции. При долгосрочном прогнозировании метод экстраполяции, вероятно, будет самым ненадежным, и теоретически его подтвердить трудно. Прогнозы, сделанные ранее, представляли собой методы прямолинейных экстраполяций, которые в период быстрого роста перевозок 50-х начала 60-х годов почти всегда давали заниженные результаты. Прогнозы, сделанные в конце 60-х годов были экспоненциальными. В настоящее время взгляд на изменение тенденции является более умеренным, отражающим мнение, что кривая роста вероятно носит логистический характер (рисунок 1).

*Основной метод прогнозирования.* В практике широко распространенным методом прогнозирования воздушных перевозок является основной метод прогнозирования, который предполагает, что для любого аэропорта доля перевозок в процентах от общего ежегодного национального объема пассажирских перевозок остается относительно постоянной во времени

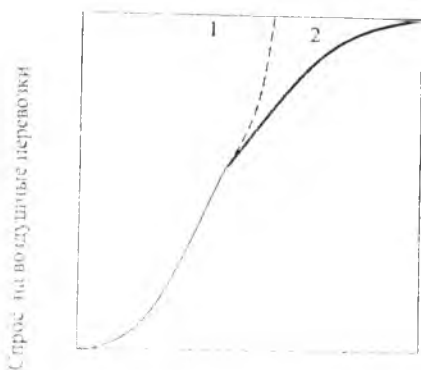


Рисунок 1. Изменение спроса на воздушные перевозки во времени

1 - экспоненциальная кривая, 2 - логистическая кривая

Прогнозы аэропорта получают умножением национальных прогнозов (показателей) на соответствующий процент. Этому методу присущи два серьезных недостатка:

— доля перевозок в процентах от национальных показателей всегда остается постоянной, быстро развивающиеся районы привлекают большое количество транспорта, тогда как в районах со сложившимися отраслями экономики спрос на перевозки может существенно не измениться;

— как отмечалось ранее, национальные прогнозы были исторически неправильными.

Применение этого метода оправдано тогда, когда зона влияния аэропорта может быть довольно точно установлена. В небольших странах, таких, как страны Западной Европы, где зоны влияния определяют с меньшей точностью, применение данного метода менее эффективно. Типичным примером применения этого метода является модель, использованная в исследовании:

$$E_i = M_{ij} M_{is} M_{sis} E_{is}, \quad (1)$$

где  $E_i$  — объем внутренних пассажирских перевозок в аэропорту  $i$ ;

$M_{ij}$  — рыночная доля  $i$ -го аэропорта в объеме внутренних воздушных перевозок по расписанию в  $j$ -м регионе, %;

$M_{is}$  — рыночная доля  $j$ -го региона от общего объема перевозок (рынка) штата  $s$ , %;

$M_{sis}$  — рыночная доля региона  $s$  в общем рынке (объем перевозок) РФ, %;

$E_{is}$  — суммарный объем пассажирских перевозок на внутренних линиях РФ, осуществляемых полетами по расписанию.

Аналитические методы прогнозирования спроса на воздушные перевозки являются основой современного их планирования. Рассмотрим особенности этих методов.

Метод прогнозирования тенденции является упрощенным, если рассматривать с позиций накопленного со временем опыта, и представляет собой попытку распространить историческую закономерность изменения спроса в свете общих прогнозов на всеохватывающие условия. Для определения тенденций развития в прошлом и уточнения этой макроэкономической модели используют данные о подъемах и спадах в общей экономике государства.

В прошлом воздушный транспорт большинства стран развивался по экспоненциальному закону при среднем темпе роста пассажирских перевозок в течение 50-х и 60-х годов примерно 10% в год. Очевидно, экспоненциальный характер роста перевозок может продолжаться в течение ограниченного периода, но в долгосрочной перспективе более целесообразно полагать, что закономерность роста отрасли в большей мере будет следовать логистической кривой, которая представляет собой обычную традиционную кривую, характеризующую изменение спроса на новую технологию

Применение экспоненциальной кривой довольно быстро ведет к получению недостижимых уровней спроса. Логистическая кривая более реально отражает очень быстрое изменение спроса в точке внедрения новой технологии, где предельные издержки производства быстро падают с окончательным насыщением рынка. Таким образом, если метод прогнозирования тенденции применяют на начальном участке кривой, он дает абсурдно высокие долгосрочные прогнозы изменения функций спроса, которые в действительности следуют логистической кривой.

Аналитические методы позволяют исключить грубые ошибки, свойственные методу прогнозирования тенденции при его использовании для прогнозирования поездок. Использование аналитических методов предполагает известную зависимость объема перевозок от изменений величин ряда случайных и тесно с ним связанных неслучайных факторов. Установлено, что число поездок, совершаемых отдельным человеком, зависит не только от ряда социально-экономических факторов, таких, как прибыль, тип занятия, структура семьи, но также факторов, связанных с самой воздушно-транспортной системой, включая интенсивность полетов и уровень обслуживания, в том числе скорость полета. Варьируя уровень этих переменных в исследуемой области, можно предсказать изменения уровней спроса. Эти методы прогнозирования позволяют отразить реалистические изменения спроса во времени с такой надежностью, о которой нельзя мечтать при использовании метода прогнозирования тенденции.

Обычно процедура аналитического моделирования спроса на перевозки разделяется на четыре отдельных последовательных этапа: генерация → распределение → выбор транспорта → назначение.

Генерирующая модель позволяет установить, сколько поездок возникает или заканчивается в конкретном районе. Эти модели часто базируются на использовании социально-экономических характеристик района и характера транспортной системы.

На этапе «распределение» моделируют обмен поездками между конкретными парами пунктов отправления и назначений, обычно используя некоторый вид равновесной модели, в которой время и дистанция являются факторами, сдерживающими поездку.

Модель выбора вида транспорта распределяет обмен поездками по конкретным видам транспорта, выбор обычно зависит от структуры и характера транспортной системы, а также социально-экономического положения совершающего поездку.

Назначающие модели указывают, какой маршрут выбран отдельным пассажиром из всех имеющихся для выбора маршрутов. Назначающая модель в большинстве случаев мало пригодна для использования в сфере воздушного транспорта, где альтернативные маршруты, как правило, отсутствуют. Более подробно описание структуры моделей, применяемых на транспорте, приведено в работе [1,2].

Применительно к воздушному транспорту схему модели часто значительно упрощали до следующего конкретного вида: генерация полетов → распределение полетов.

Эта упрощенная модель является неадекватной, так как исходит из предпосылки о том, что генерирование воздушных полетов является особой самостоятельной моделью, не связанной с выбором вида транспорта, зависящего от характера конкурирующих видов транспортных средств.

При попытке разработать прогноз специалист должен установить. При долгосрочном прогнозировании необходимо учитывать природу факторов, определяющих величину спроса. Там, где необходимо выполнить полный анализ спроса, методика прогнозирования должна включать следующие этапы:

- изучение тенденций, имевших место в прошлом;
- определение внешних факторов, которые действуют как заменители основных факторов, вызывая изменение уровня спроса на воздушные перевозки;
- сбор исходных данных, характеризующих социально-экономическое положение населения, характер района и его развитие;
- установление формы связи между ожидаемыми переменными и уровнями спроса на воздушные перевозки, в том числе и изменениями этих уровней;
- прогнозирование ожидаемых уровней внешних факторов в проектном году;
- прогнозирование перспективных уровней спроса на перевозки при установленных уровнях внешних факторов.

перечень и уровень варьирования переменных, которые, вероятно, окажут влияние на уровень спроса. Ранее учитывали следующие переменные: демографические факторы, включая размеры застройки города и плотность населения; близость других крупных городов; экономическое положение города; активность органов власти, включая стимулирующую и правовую политику, субсидирование конкурирующих видов транспорта, экономию энергетических ресурсов и политику платежного баланса; стоимость проезда (тарифы); уровень развития конкурирующих видов транспорта; технологические тенденции в авиационной промышленности; достаточность инфраструктурного обеспечения и конкурирующих с ним ви-

дов транспорта; характер городского и регионального развития; другие второстепенные факторы, такие, как социально-культурные изменения в характере работы и культурного отдыха, изменения технических средств связи и постоянные изменения в образе жизни.

В процессе генерации поездок специалист моделирует непосредственно число окончаний поездок или пунктов отправлений и назначений. Масштаб (шкала) генерационной модели может изменяться: можно получать описания макромоделей и прогнозировать общие уровни поездок в национальном масштабе или частные модели, относящиеся к отдельным аэропортам и различным целям поездок. Для проведения анализа были использованы два основных метода: рыночный анализ и многофакторный регрессионный анализ.

*Рыночный анализ.* При рыночном анализе обычно полагают, что доля авиаперевозок среди перевозок другими видами транспорта остается постоянной во времени. Общие суммарные национальные спросы на перевозки определяют на заданный срок, используя метод прямолинейного прогнозирования тенденции или метод перекрестной классификации (метод деления по категориям). При краткосрочном прогнозировании допущение о том, что общая рыночная доля является постоянной величиной, можно считать вполне обоснованной. Однако при изменениях экономических и демографических условий аналитик может быть менее оптимистичен в отношении точности этой предпосылки.

Анализ тенденции общего национального спроса может быть выполнен способом, аналогичным изложенному выше. Альтернативно может быть использован метод перекрестной классификации, который предполагает, что люди с различным социальным и экономическим положением и демографическими характеристиками проявляют различное предсказуемое отношение к воздушному транспорту, которое является постоянным во времени. Основываясь на анализе исходной информации, спрос на перевозки распределяют между отдельными группами, составляющими все население. При определении групп учитывают ряд параметров, включая прибыль, возраст, род занятий, структуру семьи и образование. Темпы увеличения спроса вычисляют для каждого уровня прогнозируемых переменных, установленных на заданный год. Далее установленные значения темпов роста поездок применяют для прогнозирования национальных перевозок населения, разделенного на составляющие группы, в соответствии с уровнем ожидаемых переменных. Суммирование составляющих спроса позволит определить общий прогнозируемый спрос на перспективу для всего населения.

*Регрессионный анализ.* Его широко используют при прогнозировании развития городского пассажирского транспорта. В случае применения метода регрессионного анализа к воз-

душному транспорту устанавливают статистическую взаимосвязь между темпом роста генерации воздушных полетов (зависимая переменная) и рядом прогнозируемых независимых переменных. Регрессионный анализ обычно выполняют, используя исходные данные, характеризующие генерацию воздушных полетов, и статистические данные об уровнях спроса и их изменения в зависимости от социально-экономических данных района и физических характеристик общей воздушно-наземной системы транспорта на участке пункт отправления – пункт назначения. Применяя методы корреляционного анализа, факторного анализа или другие многофакторные статистические методы, выбирают подходящее значение переменных, которые наилучшим образом отвечают моделированию генерации воздушных полетов. Затем могут быть построены регрессионные модели для описания формы связи между зависимой и независимыми переменными. Эти модели используют для прогнозирования генераций воздушных полетов на перспективу.

Обычно математическую модель записывают в следующем виде

$$T = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n, \quad (2)$$

где  $T$  – прогнозируемое число генерированных воздушных полетов (функция отклика);

$a_0, \dots, a_n$  – коэффициенты регрессии;

$x_1, \dots, x_n$  – независимые переменные или факторы, оказывающие воздействие на исследуемую функцию отклика.

Модели подобного вида пригодны для прогнозирования как в локальном, так и национальном масштабе. При определении объема транспортных перевозок общепринято наиболее часто учитывать следующие факторы: количество населения, материальное положение, род занятий и удобство подъезда пассажиров в аэропорт.

Важно, чтобы математическая модель отражала не только корреляционную связь между зависимой и независимыми переменными, но также логическую или подразумеваемую причинную связь между ними. При этом наиболее важным требованием является отсутствие корреляционной связи между независимыми переменными. В качестве примера ниже приведена математическая модель для прогнозирования общего количества генерации полетов:

$$\ln \frac{E_i}{P_i} = 10,8 - 0,172F_i + 1,41 \ln I_i, \quad (3)$$

где  $E_i$  – ожидаемое количество перевезенных пассажиров в  $i$ -м аэропорту;

$P_i$  – численность населения в  $i$ -м районе;

$F_i$  – средняя стоимость платы за 1 км полета;

$I_i$  – прибыль на душу населения в  $i$ -м районе.

Модели распределения полетов позволяют прогнозировать обмен полетами между конкретной парой аэропортов. Наибольшее распространение при решении подобной транспортной задачи получила весовая модель. Применение весовой модели позволяет определить число посадок между парой конкретных городов в соответствии с величиной их привлекательности с учетом таких сдерживающих факторов, как стоимость проезда, время и др.

В [1] была доказана правомерность использования весовой модели для прогнозирования обмена воздушными полетами между городами.

Модель имела следующий вид:

$$T_{ij} = \frac{k P_i P_j}{d_{ij}^\alpha} \quad (4)$$

где  $T_{ij}$  – количество пассажиров, путешествующих по воздуху между городами  $i$  и  $j$ ;

$k$  – коэффициент пропорциональности;

$P_i$  – численность населения города отправления;

$P_j$  – численность населения города назначения;

$d_{ij}$  – расстояние между городами  $i$  и  $j$ ;

$\alpha$  – постоянный коэффициент.

При использовании в качестве сдерживающего фактора стоимости полета получена следующая модель:

$$T_{ij} = \frac{k T_i T_j}{C_{ij}^\alpha} \quad (5)$$

где  $T_i$  – общее количество воздушных полетов, генерированных в  $i$ -м городе;

$k$  – коэффициент пропорциональности;

$T_j$  – общее количество воздушных полетов, генерированных в  $j$ -м городе;

$C_{ij}$  – стоимость полета между городами  $i$  и  $j$ ;

$\alpha$  – постоянный коэффициент.

В исследовании воздушных перевозок авиакомпаниями, выполняемых в пределах региона, было установлено, что эта модель может быть использована только в том случае, когда расстояние между парами городов меньше 1280 км. При больших расстояниях между городами объем перевозок не зависит от стоимости дальности проезда, а зависит только от уровня генераций поездок в каждом узле. При воздушных полетах на большие расстояния форма модели может иметь вид

$$T_{ij} = k C_{ij}^{-1} T_i T_j \quad (6)$$



где  $p$  — постоянный параметр.

Аналитические методы прогнозирования часто применяют для определения объема авиаперевозок пассажиров, разделенных на отдельные группы. Более рациональным является такой подход, при котором сначала определяют общий объем междугородных перевозок с учетом возможностей имеющегося транспорта, а затем устанавливают объемы перевозок отдельными видами транспорта, используя модели выбора.

На выбор типа транспортных средств влияет ряд таких факторов, как удобство, комфорт и безопасность. Их оценка часто связана с определенными трудностями. Наиболее просто их можно учесть с помощью математической модели, параметры которой отражают случайный характер выбора типа транспорта отдельными пассажирами и неоднородность пассажиров. В общем случае пассажир выберет тот вид транспорта, который требует наименьшей оплаты за проезд. При этом все же существует некоторая вероятность того, что будет выбран другой вид транспорта. Ниже приведена модель, которая учитывает эту вероятность:

$$\frac{T_{ijk}}{T_{ij}} = \frac{\exp(-\alpha C_{ijk})}{\sum_{r=1}^n \exp(-\alpha C_{ijr})}, \quad (7)$$

где  $T_{ijk}$  — объем перевозок, выполняемый  $k$ -м видом транспорта между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$T_{ij}$  — суммарный объем перевозок между пунктами  $i$  и  $j$ , выполняемый всеми видами транспорта;

$\alpha$  — постоянный коэффициент;

$C_{ijk}$  — обобщенная стоимость проезда  $k$ -м видом транспорта;

$n$  — количество имеющихся видов транспорта.

Теоретически величина общих издержек на проезд в денежном выражении учитывает все факторы, оказывающие влияние на поездку. При отсутствии данных о соотношении расходов на общественные нужды и других постоянных затрат концепция обобщенной стоимости имеет свои ограничения. В практике обобщенную стоимость проезда выражают в виде прямых денежных издержек и стоимости времени, затрачиваемого на проезд. В таком случае для выбора транспорта между двумя альтернативными видами  $p$  и  $q$  уравнение (7) принимает вид

$$\lg \left[ \frac{T_{ijp}}{T_{ijq}} \right] = -\alpha [(M_{ijp} - M_{ijq}) + \lambda(t_{ijp} - t_{ijq})], \quad (8)$$

где  $\alpha$ ,  $\lambda$  — постоянные коэффициенты;

$M_{ip} - M_{jq}$  — разность стоимости проезда между пунктами  $i$  и  $j$  соответственно видами транспорта  $p$  и  $q$ ;

$t_{ip} - t_{jq}$  — разность времени, затрачиваемого на проезд между пунктами  $i$  и  $j$  соответственно видами транспорта  $p$  и  $q$ .

В качестве модели «генерация — распределение» используются специфические модели. Обычно эти модели получают в результате регрессивного анализа, где в качестве независимых переменных рассматривают социально-экономические характеристики населения и экономические особенности самих городов.

Модель такого типа может быть записана в следующей форме:

$$T_{ij} = rP_i^s P_j^t d_{ij}^u l_i^v l_j^w, \quad (9)$$

где  $T_{ij}$  — объем пассажирских воздушных перевозок между городами  $i$  и  $j$ ;

$P_i, P_j$  — численность населения соответственно в городах  $i$  и  $j$ ;

$d_{ij}$  — расстояние между городами  $i$  и  $j$ ;

$l_i, l_j$  — доля населения, имеющая ежегодную прибыль свыше 10 000 дол соответственно в городах  $i$  и  $j$ ;

$r, s, t, u, v, w$  — статистические параметры регрессии.

В работе [2] предложена сложная эконометрическая модель, учитывающая объем воздушных перевозок между рассматриваемыми пунктами, долю валового национального продукта, связь районов, стоимость проезда и некоторые другие параметры.

В целях преодоления недостатков, присущих специфическим моделям, разработаны многотранспортные модели, позволяющие одновременно прогнозировать темпы роста генераций, их распределение и выбор пассажиром вида транспорта. Варьируя основные переменные, с помощью этой модели можно предсказать развитие существующих и перспективных видов транспорта.

При этом характеристики отдельных видов транспорта в абстрактной модели выражены в относительных величинах по отношению к лучшему виду транспорта. Эти относительные величины являются аргументами в уравнении для функции отклика. В качестве примера ниже приведен аналитический вид подобной модели:

$$T_{kj} = \alpha_0 P_i^{\alpha_1} P_j^{\alpha_2} Y_i^{\alpha_3} Y_j^{\alpha_4} M_i^{\alpha_5} M_j^{\alpha_6} N_j^{\alpha_7} f_1(H_{ij}, H_{kj}), f_2(C_{in}, C_{kn}), f_3(D_{ij}, D_{kj}), \dots, \quad (10)$$

где  $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_7$  — коэффициенты регрессии;

$P_i, P_j$  — численность населения соответственно в узлах  $i$  и  $j$ ;

$Y_i, Y_j$  – численность населения соответственно в узлах  $i$  и  $j$ ;

$M_i, M_j$  – индустриальные показатели соответственно для пунктов  $i$  и  $j$ ;

$N_i$  – количество видов транспорта, связывающих пункты  $i$  и  $j$ ;

$H_{ij}$  – наименьшее время, затрачиваемое в пути;

$H_{kj}$  – время, затрачиваемое в пути при использовании  $k$ -го вида транспорта;

$C_{ij}$  – наименьшая стоимость проезда между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$C_{kij}$  – стоимость проезда  $k$ -м видом транспорта;

$D_i$  – наибольшая частота отправления транспорта от пункта  $i$ ;

$D_{kj}$  – частота отправления  $k$ -го вида транспорта.

Преимущество абстрактной модели заключается в том, что с ее помощью можно прогнозировать перевозки перспективных видов транспорта, еще не нашедших применения, но для которых могут быть заданы характеристики.

Рассмотренные выше модели дают иерархическую картину прогнозирования воздушных перевозок в рамках региона с учетом параметров российского рынка.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мет Ж. Статистические решения и предвидения на предприятиях. – М., 1963.
2. Тейл Г. Прикладное экономическое прогнозирование. – М., 1970.