

УДК 656.7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ОСНОВЕ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Припадчев А.Д.

ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,  
e-mail: aleksejj-pripadchev@rambler.ru

В статье рассмотрены отдельные множества параметров, входящие в структуру математической модели процесса пассажирских перевозок гражданской авиации РФ. Проведено обоснование и сформулирован метод определения необходимого типа воздушного судна для конкретного маршрута из имеющегося множества при моделировании структуры парка воздушных судов. Метод основан на разработанном алгоритме с применением метода линейного масштабирования. Техническое описание процесса пассажирских перевозок представляет собой определенную закономерность. При формировании математической модели возможно использование различных методов исследования.

**Ключевые слова:** воздушное судно, параметрический ряд, линейное масштабирование, экономическая эффективность

## MODELING OF FLYING STOCK ON THE BASIS OF FLIGHT PERFORMANCES AND EXPLOITATIONS REGIMES ONES

Pripadchev A.D.

Orenburg state university, Orenburg, e-mail: aleksejj-pripadchev@rambler.ru

Parameters separate sets included in mathematical model structure process transportations in civil aviation in Russian Federation are examined in the article. Basis and method for determination of needful aircraft type for a concrete route from the available ones when flying stock structure modeling are carried out. The method is based on the developed algorithm using the linear scaling method. The technological description of the passenger traffic process has certain laws. While constructing a mathematical model antipodal research methods can be used such.

**Keywords:** aircraft, parametric a number, linear scaling, economic effectiveness

В настоящее время авиапредприятия остро нуждаются в современных воздушных судах (ВС). Устаревший парк и новые требования к летно-техническим характеристикам являются основанием для моделирования структуры необходимого парка ВС с использованием методов системного анализа и линейного масштабирования.

Задача заключается в том, чтобы определить необходимое количество ВС, обеспечивающих выполнение объемов пассажирских перевозок в установленные сроки, а также экономически выгодный тип ВС для каждого маршрута. Решение ее даст ответ на вопросы: какой тип ВС экономически эффективен на конкретном маршруте в процессе пассажирских перевозок (под ним понимается транспортировка пассажиров, выполняемая авиапредприятием на ВС за установленную плату в соответствии с условиями договора), а также сколько необходимо ВС для перевозки пассажиров на конкретном маршруте.

Сущность и особенность предлагаемого метода определения структуры необходимого парка ВС на основе критерия производственных расходов ВС заключается в следующем.

Методологическая и программная реализация модели позволяет определить необходимую структуру парка ВС при перевоз-

ке из определенного пункта  $A$  пассажиров по  $n$  маршрутам. Методология учитывает построение модели, учитывающей закономерности влияния летно-технических характеристик и характеристик режимов эксплуатации на эффективность ВС. Структура математической модели процесса пассажирских перевозок содержит формирование отдельных характеристик ВС с учетом требований по обеспечению эффективности их эксплуатации. Выделяем отдельно:

1. Модель режимных характеристик (РХ) воздушного сообщения – скорость, высота, дальность [1].

2. Модель конструктивно-геометрических характеристик (КГХ) – удлинение (фюзеляжа, крыла), относительная толщина крыла, удельное давление на крыло [2].

3. Модель массовых характеристик (МХ) – взлетная масса и все компоненты [3].

4. Модель энергетических характеристик (ЭХ) – расход топлива, тяга двигателя, удельный вес двигателя, диаметр двигателя [4].

5. Модель технологических характеристик (ТХ) – параметр оценки воздушной линии (годовая продукция воздушной линии и годовые расходы), параметр оценки пассажирского ВС ( $Y$  – расходы на одну тонну-километра) (рис. 1) [5].

Задача формирования структуры необходимого парка ВС авиапредприятия в по-

становке, когда требуется минимизировать производственные расходы для максимизации экономической эффективности ВС (под экономической эффективностью ВС понимаем результативность эксплуатации ВС, выражающуюся в отношении полезных конечных результатов его функционирования к затраченным ресурсам) в процессе пасса-

жирских перевозок, которая обеспечивает выполнение заданного плана воздушных перевозок

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{npij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $c_{ij}$  – производственные расходы на  $i$ -м маршруте  $j$ -го типа;  $X_{ij}$  – величина исследования.

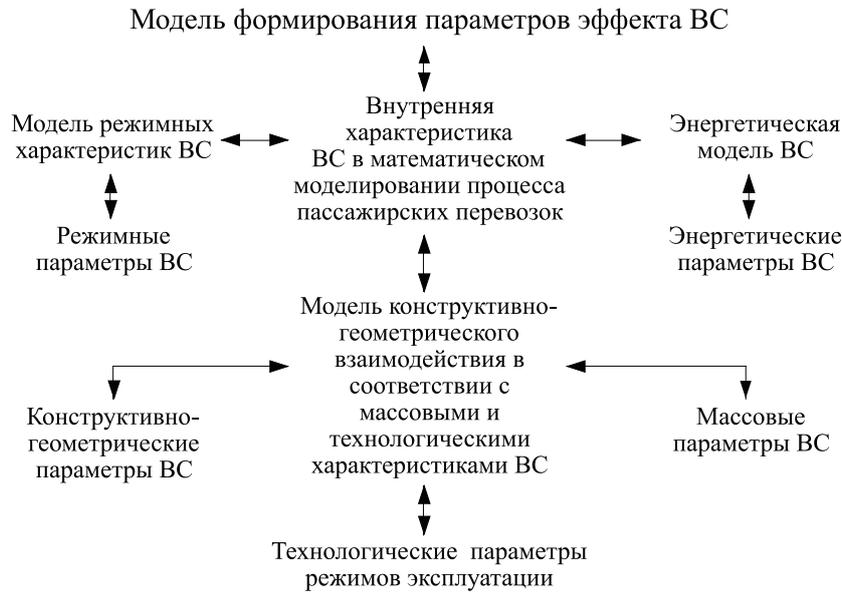


Рис. 1. Структура математической модели процесса пассажирских перевозок ГА

Ограничениями выступают КГХ, МХ, ЭХ:

$$X_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 0,71 \leq V_{ij} \leq 0,9; 9,5 \leq H_{ij} \leq 14; 630 \leq L_{ij} \leq 10308. \\ 1,7 \leq \lambda_{крj} \leq 2,5; 0,4 \leq \bar{c}_j \leq 0,9; 0,3 \leq y_{спj}(x, z) \leq 1,1; 825 \leq W_j \leq 2200; 37,1 \leq l_{\phi j} \leq 58,8; \\ 2,9 \leq d_{\phi j} \leq 5,64; 3,5 \leq S_{мфj} \leq 14,13; 6 \leq \lambda_{\phi j} \leq 12,8; 1,2 \leq \lambda_{нчj} \leq 2,5; 2 \leq \lambda_{хв.чj} \leq 4; 0,4 \leq A_{гоj} \leq 0,55; \\ 0,04 \leq A_{воj} \leq 0,12. \\ 45 \leq m_{0ij} \leq 240. \\ 2,2 \leq C_{чacj} \leq 8; 0,1 \leq \gamma_{двj} \leq 0,19; 963 \leq D_j \leq 1900. \end{array} \right.$$

Переменными выступают ТХ:

$$\{1,8 \cdot 10^6 \leq Ц_{ij} \leq 3,7 \cdot 10^6; 0 \leq c_{npij} \leq 1,77 \cdot 10^8; 2169,3 \leq Y_j \leq 15277,8\}.$$

Максимальная выручка за период в авиапредприятии  $\mathcal{G}_{ij}^{nl}$  зависит от эксплуатации  $j$ -го типа ВС на  $i$ -м маршруте с минимальными производственными расходами

$$c_{npij}^* = \arg \min_{\{x_{ij}\}} \sum_{j=1}^m c_{npij} X_{ij} = c_{npij}^*(\mathcal{G}_{ij}) \quad (2)$$

Поэтому необходимая структура парка ВС в авиапредприятии зависит от экономической эффективности  $j$ -го типа ВС на  $i$ -м маршруте. Для того чтобы эта зависимость была однозначной, будем полагать, что выручка за период в авиапредприятии может

меняться при сохранении структуры перевозок, задаваемой отношениями:

$$\frac{\mathcal{G}_{ij}^{nl}}{\mathcal{G}_{ij+1}^{nl}} = I_{ij}; \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Из этого многообразия характеристик выделяем одну величину, внутреннюю характеристику системы, которая в полном объеме раскрывает множество характерных отличительных параметров ВС во взаимосвязи в процессе эксплуатации ВС. На основании выведенных взаимосвязей формируется комплекс параметров

эффекта ВС – производственные расходы ( $C_{прj}$ ), в т.ч. часовой расход топлива ( $C_{час}$ ), производительность ВС ( $A_{ij}$ ), интенсивность движения на линии ( $N$ ), которые устанавливают взаимосвязь с внутренней характеристикой системы – индексом эф-

фективностью ВС ( $I_3$ ) (рис. 2). Внутренняя характеристика системы – это величина, раскрывающая множество характерных отличительных параметров ВС, действующих во взаимосвязи в процессе пассажирских перевозок.

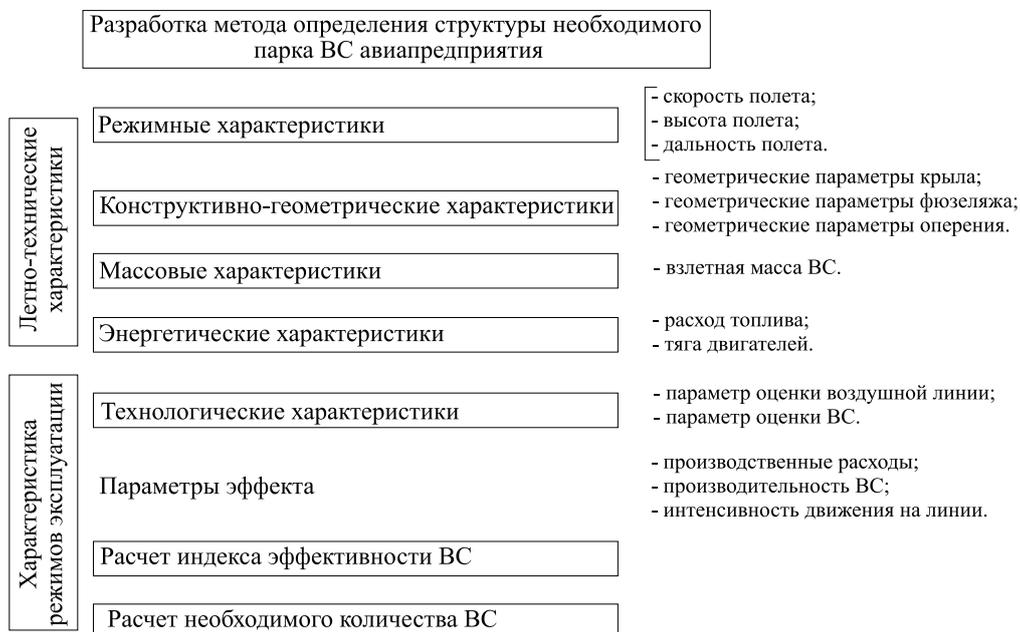


Рис. 2. Структурная схема первого метода

Базовым, основным показателем эффективности ВС является индекс эффективности ВС. Индекс эффективности ВС представляется необходимым с технологической точки зрения – как удобная величина при ее использовании в процессе формирования необходимой структуры парка ВС авиапредприятия. Индекс эффективности ВС является линейной функцией пяти характеристик, рассчитывается по формуле

$$I_3 = RD + CGD + MD + ED + TD, \quad (4)$$

$$CGD = k_{всi} \cdot \overline{l_{кр}} + k_{всi} \cdot \overline{l_{ф}} + k_{всi} \cdot \overline{d_{ф}} + k_{всi} \cdot \overline{\lambda_{ф}} + k_{всi} \cdot \overline{\lambda_{нч}}, \quad (6)$$

где  $\overline{l_{кр}}$  – длина крыла в относительных единицах;  $\overline{l_{ф}}$  – длина фюзеляжа в относительных единицах;  $\overline{d_{ф}}$  – диаметр фюзеляжа в относительных единицах;  $\overline{\lambda_{ф}}$  – удлинение фюзеляжа в относительных единицах;  $\overline{\lambda_{нч}}$  – удлинение носовой части в относительных единицах;  $MD$  – массовые характеристики, вычисляем по формуле

$$MD = k_{всi} \cdot \overline{m_0} + k_{всi} \cdot \overline{m_{пн}}, \quad (7)$$

где  $\overline{m_0}$  – нормальная взлетная масса ВС в относительных единицах;  $\overline{m_{пн}}$  – масса полезной нагрузки ВС в относительных еди-

где  $RD$  – режимные характеристики, вычисляем по формуле

$$RD = k_{всi} \cdot \overline{M} + k_{всi} \cdot \overline{H}, \quad (5)$$

где  $k_{всi}$  – весовой коэффициент, закрепленный за  $i$ -м параметром;  $\overline{M}$  – скорость полета в относительных единицах;  $\overline{H}$  – высота полета в относительных единицах;  $CGD$  – конструктивно-геометрические характеристики, вычисляем по формуле

ницах;  $ED$  – энергетические характеристики, вычисляем по формуле

$$ED = k_{всi} \cdot \overline{C_{час}} + k_{всi} \cdot \overline{m} + k_{всi} \cdot \overline{\gamma_{дв}} + k_{всi} \cdot \overline{D}, \quad (8)$$

где  $\overline{C_{час}}$  – часовой расход топлива в относительных единицах;  $\overline{m}$  – степень двухконтурности двигателя в относительных единицах;  $\overline{\gamma_{дв}}$  – удельный вес двигателя в относительных единицах;  $\overline{D}$  – максимальный диаметр двигателя в относительных единицах;  $TD$  – технологические характеристики, вычисляем по формуле

$$TD = k_{всi} \cdot \overline{a_{пр}} + k_{всi} \cdot \overline{\Pi} + k_{всi} \cdot \overline{Y}, \quad (9)$$

где  $a_{пр}$  – производственные расходы в относительных единицах;  $\Pi$  – параметр оценки воздушной линии в относительных единицах;  $\bar{Y}$  – параметр оценки ВС в относительных единицах.

Все составляющие индекса имеют равные веса, т.к. в противном случае необходимо было бы использовать экспертные оценки. Все параметры прямо связаны с показателем эффективности ВС, в то время как некоторые показатели индекса имеют отрицательную связь с эффективностью ВС.

Для формирования индекса эффективности ВС необходимо привести его к некоторому сопоставимому виду. С этой целью используем метод линейного масштабирования. Его суть состоит в том, чтобы отобразить значение каждого параметра от 0 до 1, сохраняя все пропорции между отдельными значениями. Таким образом, сохраняются все структурные характеристики исходного параметра.

Масштабированное значение вычисляем по формуле

$$x_i^M = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (10)$$

где  $x_i$  – наблюдаемая величина;  $x_{\min}$  – минимальное значение рассматриваемого параметра;  $x_{\max}$  – максимальное значение рассматриваемого параметра.

В том случае, когда непосредственно измеряемый параметр отрицательно связан с эффективностью ВС, применяется обратное линейное масштабирование.

Параметры эффекта, выделенные для процесса пассажирских перевозок, вычисляем:

1. Производственные расходы на один рейс на  $i$ -м маршруте ВС  $j$ -го типа вычисляем по формуле

$$c_{прij} = a_{ij} + a_{\text{кап.вл}j}, \quad (11)$$

где  $a_{ij}$  – себестоимость перевозок;  $a_{\text{кап.вл}j}$  – капиталовложения.

2. Производительность на  $i$ -м маршруте ВС  $j$ -го типа вычисляем по формуле

$$A_{ij} = m_{\text{ком}j} / t_{ij}, \quad (12)$$

где  $m_{\text{ком}j}$  – коммерческая нагрузка, соответствующая данной дальности полета;  $t_{ij}$  – время полета.

3. Интенсивность движения на линии вычисляем по формуле

$$N = 100 \left( 1 - \left( \frac{1}{c_{\Delta}} \right) \sqrt{\left( \frac{1}{n} - 1 \right) \sum_{i=1}^n (c - c_i)^2} \right), \quad (13)$$

где  $n$  – количество отобранных ВС;  $c_i$  – количество контрольных ВС в  $i$ -серии;  $c_{\Delta}$  – среднеарифметическое значение контрольного ВС.

Необходимое количество ВС в парке авиапредприятия определяем из условия, что пассажирские перевозки осуществлены в полном объеме и в установленные сроки. Количество ВС ( $n_n$ ), необходимое авиапредприятию для выполнения пассажирских перевозок за период, вычисляем по формуле

$$n_n = Q_{ij} / (A_{ij} \cdot T_{ij}), \quad (14)$$

где  $Q_{ij}$  – объем выполняемых работ за период;  $T_{ij}$  – налет часов за период;  $A_{ij}$  – производительность ВС.

Результат определения структуры необходимого парка ВС для ФГУП «Оренбургские авиалинии» вышеуказанным методом представлен в таблице.

Необходимый парк ВС ФГУП «Оренбургские авиалинии»

Маршрут	Фактические ВС	Рекомендуемые ВС	Необходимое количество ВС
Оренбург-Москва-Оренбург	Б-737 Ту-154 Ту-134	Б-737	2,4 (2)
Оренбург-Санкт-Петербург-Оренбург	Б-737 Ту-134	Б-737	0,7 (1)
Оренбург-Сочи-Оренбург	Б-737	Б-737	0,5 (1)
Оренбург-Анапа-Оренбург	Ту-134	Ту-134	0,7 (1)
Оренбург-Дюссельдорф-Оренбург	Б-737	Б-737 (Ту-134)	0,3 (0)
Оренбург-Душанбе-Оренбург	Б-737 Ту-154	Ту-134	1,6 (2)
Оренбург-Худжанд-Оренбург	Б-737 Ту-154	Ту-154	0,5 (1)
Всего			6,8 (8)

Все вышеизложенное позволяет выделить следующие отличительные особенности рассмотренного метода, реализация которого предоставляет новые возможности при решении задачи по эксплуатации парка ВС авиапредприятий.

1. Главная особенность состоит в том, что структура математической модели (рис.1) соответствует реальному процессу пассажирских перевозок, в которой основополагающими характеристиками выступают РХ, КГХ, МХ, ЭХ и ТХ. Это означает, что для их раскрытия в полном объеме во взаимосвязи в процессе пассажирских перевозок необходимо выделить одну характеристику – индекс эффективности ВС;

2. Целевая функция (1) и выражение (4) позволяют определить индекс эффективности ВС, т.к. он является показателем наилучшего типа ВС из имеющихся на маршруте;

3. Выражение (14) позволяет сформировать необходимый парк ВС авиапредприятия из эффективных типов ВС.

Результаты работы по определению необходимой структуры парка ВС авиапредприятия отражены в научно-методических рекомендациях, утвержденных к применению Приволжским межрегиональным территориальным управлением воздушного транспорта, ФГУП «Оренбургские авиалинии», ОАО «ВПК «НПО машиностроение», КБ «Орион» [6].

#### Список литературы

1. Припадчев, А.Д. Летно-технические показатели воздушных судов и условия сопоставимости при экономической оценке: свидетельство о регистрации программного средства. Регистрационный номер: 504. Зарегистрировано в УФАП 07 июля 2009 г. / А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов, А.В. Чеховский. – Оренбург: ГОУ ОГУ УФАП, 2009. – 2 с.

2. Припадчев, А.Д. Программа для расчета конструктивно-геометрических параметров ЛА. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611603. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 февраля 2010 г./ А.Д. Припадчев, А.В. Чеховский. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2010. – 1 с.

3. Припадчев, А.Д. Программа для расчета массовых характеристик воздушного судна. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613830. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10 июня 2010 г. / А.Д. Припадчев. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2010. – 1 с.

4. Припадчев, А.Д. Программа для исследования параметров силовой установки ЛА. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611604. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 февраля 2010 г. / А.Д. Припадчев, А.В. Чеховский. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2010. – 1 с.

5. Припадчев, А.Д. Программа для расчета технико-экономической оценки воздушных судов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611241. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 февраля 2010 г. / А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов, А.В. Чеховский. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2010. – 1 с.

6. Припадчев, А.Д. Определение оптимального парка воздушных судов: моногр. / А.Д. Припадчев. – М.: Академия Естествознания, 2009. – 246 с.

#### Рецензенты:

Султанов Н.З., д.т.н., профессор, зав. кафедрой систем автоматизации производства Аэрокосмического института ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург;

Межуева Л.В., д.т.н., доцент, начальник патентного отдела ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург.

Работа поступила в редакцию 06.07.2011.