

## РАСЧЕТ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ

В статье рассмотрены отдельные множества параметров, входящие в структуру математической модели процесса пассажирских перевозок гражданской авиации РФ. В соответствии со структурой математической модели более подробно рассмотрена модель режимных и конструктивно-геометрических параметров.

**Ключевые слова:** воздушное судно, воздушное сообщение, математическая модель, режимные параметры, конструктивно-геометрические параметры, скорость воздушного судна, высота полета, дальность полета.

В настоящее время решение, затрагивающее управление деятельностью авиапредприятия, будь то распределение ресурсов, изучение рыночной конъюнктуры, прогнозирование, планирование и т. п., в том числе и управление парком воздушных судов (ВС), следует осуществлять с предварительным математическим исследованием процесса.

Для построения математической модели необходимо иметь четкое представление о цели функционирования исследуемой системы и располагать информацией об ограничениях, которые определяют область допустимых значений переменных [1].

На первом этапе задача исследования заключается в идентификации проблемы, в связи с чем выделяем следующие основные стадии:

- 1) формулировка задачи или цели исследования;
- 2) выявление возможных альтернатив решения применительно к исследуемой проблемной ситуации;
- 3) определение присущих структуре парка ВС ограничений.

Второй этап исследования связан с построением модели. На этом этапе, учитывая особенности постановки задачи, вырабатываем модель, наиболее подходящую для адекватного описания исследуемой структуры парка ВС. При построении такой модели должны быть установлены количественные соотношения для выражения целевой функции и ограничений.

На третьем этапе исследования осуществляется решение сформулированной задачи. При использовании математической модели решение получаем с помощью оптимизационных методов, т. е. приводим модель к оптимальному

решению или проводим анализ модели на чувствительность.

Четвертый этап исследования заключается в проверке адекватности модели. Модель можно считать адекватной, если некоторые неточности отображения парка ВС-оригинала способствуют обеспечению достаточно надежного предсказания поведения структуры. Общий метод проверки адекватности модели состоит в сопоставлении получаемых результатов с характеристиками структуры парка ВС, которые при тех же исходных условиях имели место в прошлом. Если при аналогичных входных параметрах модель достаточно точно воспроизводит поведение структуры, то она считается адекватной.

Сложность реальных систем затрудняет представление цели и ограничений, поэтому важно уменьшить «размерность» решаемой задачи, чтобы обеспечить возможность построения подходящей модели. Несмотря на слишком большое число переменных и ограничений, которые необходимо учитывать при анализе реальной ситуации, лишь небольшая их часть оказывается существенной для описания поведения исследуемого процесса пассажирских перевозок и структуры парка ВС. При описании реального процесса прежде всего необходимо идентифицировать доминирующие переменные и ограничения. В этой связи предлагаем математическую модель для оптимизации структуры парка ВС на основе внутренней характеристики системы в соответствии с рисунком 1.

Данная методика основана на формировании отдельных параметров, которые воздействуют наиболее существенно на процесс пассажирских перевозок, в связи с чем выделяем:

- 1) модель режимных параметров (РП) воздушного сообщения – скорость, высота, дальность;
- 2) модель конструктивно-геометрических параметров (КГП) – удлинение, относительная толщина, удельное давление;
- 3) инерционно-массовые параметры (ИМП) – взлетная масса и все компоненты;
- 4) физико-механические параметры (ФМП) – расход топлива, тяга двигателя, удельный вес двигателя, диаметр двигателя;
- 5) технологические параметры (ТП) – параметр оценки воздушной линии, параметр оценки пассажирского ВС.

В реальной модели процесса пассажирских перевозок невозможно исследовать одновременно в совокупности все отдельные вышеперечисленные множества параметров. Поэтому подробнее остановимся на модели режимных и конструктивно-геометрических параметров [5].

Режимные параметры. Основными РП являются: 1) скорость полета  $V$  – это скорость движения ВС (его центра масс) относительно воздушной среды, не возмущенной самим ВС.

Наиболее обобщенной является рейсовая скорость ВС или скорость полета по расписанию, которая учитывает потери времени на запуск и прогрев двигателей, рулежку до ВПП

перед взлетом и после посадки, взлет и набор высоты, маневрирование в воздухе после взлета и перед посадкой, снижение и посадку, в километрах на час, вычисляемую по формуле

$$V = \frac{L \cdot V_{крейс}}{L - L_{в.п} + (t_{в.п} + \Delta t_m) \cdot V_{крейс}}, \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние между аэропортами взлета и посадки, км;

$t_{в.п}$  – время, затрачиваемое на взлет, набор высоты, снижение и посадку, ч.;

$L_{в.п}$  – горизонтальная проекция пути, проходящая ВС за время  $t_{в.п}$ , км;

$V_{крейс}$  – крейсерская скорость полета, км/ч;

$\Delta t_m$  – время, затрачиваемое на запуск и прогрев двигателей, на рулежку и маневрирование после взлета и перед посадкой, ч.

2) высота полета  $H$  – это расстояние по вертикали от находившегося в полете ВС до уровня поверхности, принятого за нулевой. Высота полета есть потолок ВС (это наибольшая высота, которую может набрать ВС при данном полетном весе). Расчет потолка при определении наибольшей высоты полета многомоторного ВС с ТРД, где  $H_{ном} > 11000$  м, при полете с частично остановленными двигателями или для ВС с ТРД [3, 4], имеющих малую тяго-



Рисунок 1. Структура математической модели процесса пассажирских перевозок

вооруженность, тягу в килограммах, вычисляем по формуле

$$P_{nom} = P_{11} / (p_{H_{nom}} / p_{11}), \quad (2)$$

где  $P_{11}$  – тяга на высоте 11000 м, кг;

$p_{11}$  – давление на высоте 11000 м, Па;

$p_{H_{11}}$  – давление при  $H_{nom} > 11000$  м, Па;

3) дальность полета  $L_{BC}$  – это расстояние, измеренное по земной поверхности, которое ВС пролетает от взлета до посадки при израсходовании определенного запаса топлива, а также включает расстояние, пройденное ВС при наборе высоты крейсерского полета в крейсерском режиме полета и при снижении.

Теперь перейдем к модели конструктивно-геометрических параметров, в соответствии с рисунком 1, и определим аналитически взаимосвязи между данными множествами параметров. Основные конструктивно-геометрические параметры ВС:

1) геометрические параметры крыла [2], такие как:

а) удлинение крыла. Геометрическое удлинение крыла является безразмерным геометрическим параметром, которое вычисляем по формуле

$$\lambda = l^2 / S, \quad (3)$$

где  $l$  – размах крыла, м;

$S$  – площадь крыла, м<sup>2</sup>;

б) средняя относительная толщина крыла. Среднюю относительную толщину крыла вычисляем по формуле

$$\bar{c} = S_{м.кр} / S = \bar{S}_{м.кр}, \quad (4)$$

где  $S_{м.кр}$  – площадь крыла при виде спереди (мидель), м<sup>2</sup>;

в) форма срединной поверхности. Форма срединной поверхности определяется как полусумма ординат верхней и нижней поверхностей крыла, образованных верхними и нижними обводами профилей, и вычисляется по формуле

$$y_{cp}(x, z) = 1/2 (y_e(x, z) + y_n(x, z)); \quad (5)$$

г) объем крыла. Объем крыла может быть использован для размещения топлива. Для крыльев с прямолинейными образующими по передней и задней кромкам максимальный теоретический объем всего крыла в кубических метрах вычисляем по формуле

$$W = k_{W \max} / [(\bar{c}_{cp} \cdot S^{3/2}) / \lambda^{1/2}]; \quad (6)$$

2) геометрические параметры фюзеляжа.

В качестве геометрических параметров фюзеляжа могут выступать его размеры: длина  $l_\phi$ , м; диаметр  $d_\phi$ , м; площадь миделевого (наибольшего) сечения  $S_{м.ф}$ , м<sup>2</sup>; удлинение фюзеляжа  $\lambda_\phi = l_\phi / d_\phi$ ; удлинение носовой части  $\lambda_{н.ч} = l_{н.ч} / d_\phi$ ; удлинение хвостовой части  $\lambda_{хв.ч} = l_{хв.ч} / d_\phi$ .

В случае некруглой формы поперечного сечения характерными размерами являются наибольшая ширина  $B$  и высота  $H$ , а также эквивалентный по площади миделя фюзеляжа диаметр, в метрах, вычисляемый по формуле

$$d_{\phi.э} = 2\sqrt{S_{м.ф} / \pi}; \quad (7)$$

3) геометрические характеристики оперения. Проектирование оперения должно обеспечивать получение необходимых характеристик устойчивости и управляемости ВС на всех возможных режимах полета, а также достаточную эффективность органов управления для вывода ВС в нормальный режим полета после непроизвольного повышения критических значений углов атаки, сваливания и попадания ВС в режим пикирования. Основными относительными параметрами оперения являются: статический момент площади горизонтального оперения  $A_{z.o}$ ; статический момент площади вертикального оперения  $A_{в.o}$ ; потребная эффективность рулевых поверхностей; относительная площадь горизонтального оперения. Вычисляем ее по формуле

$$\bar{S} = - \frac{m_z^{c_y} \cdot c_{yкк}^\alpha}{k_{z.o} \cdot c_{yз.o}^\alpha (1 - \epsilon^\alpha) (\bar{L}_{z.o.э} + m_z^{c_y})}, \quad (8)$$

где  $m_z^{c_y}$  – степень продольной статической устойчивости воздушного судна на крейсерском режиме;

$c_{yз.o}^\alpha$  – коэффициент подъемной силы горизонтального оперения по углу атаки.

Для формирования потребного парка ВС необходима структура математической модели, отличающаяся тем, что сформирована с учетом отдельных множеств параметров: конструктивно-геометрических, технологических, физико-механических, режимных и инерционно-массовых. В реальной модели процесса невозможно исследовать одновременно и в совокупности все вышеперечисленные множества параметров, в связи с чем каждый параметр рассмотрен отдельно с физической и математической точки

зрения, в данном случае более подробно рассмотрены режимные и конструктивно-геометрические параметры. В результате сформирована структура математической модели процесса пассажирских перевозок для формирования

потребного парка ВС. Полученные значения при реализации данной методики позволяют аналитически и графически определить область оптимального решения с учетом ограниченной целевой функции.

#### Список использованной литературы:

1. Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г.П. Свищев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 736 с.: ил.
2. Припадчев, А.Д. Прикладная программа учебного назначения «Оптимизация параметров крыла и его механизации»: свидетельство о регистрации программного средства. Регистрационный номер: 471. Зарегистрировано в УФАП 04 июня 2009г. / А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ УФАП, 2009. – 2 с.
3. Припадчев, А.Д. Прикладная программа учебного назначения «Расчет массы силовой установки воздушного судна»: свидетельство о регистрации программного средства. Регистрационный номер: 545. Зарегистрировано в УФАП 23 ноября 2009г. / А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов, А.В. Чеховский. – Оренбург: ГОУ ОГУ УФАП, 2009. – 2 с.
4. Припадчев, А.Д. Программа для определения параметров потока и радиальных размеров проточной части в характерных сечениях турбореактивного двигателя. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610718. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20 января 2010 г. / А.Д. Припадчев, А.В. Чеховский. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2010. – 1 с.
5. Эскизное проектирование самолета. Горощенко Б.Т., Дьяченко А.А., Фадеев Н.Н. «Машиностроение», 1970, стр.332.

**Публикация статьи осуществлена благодаря Государственному контракту №П295 от 24.07.2009 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по конкурсу «Проведение поисковых научно-исследовательских работ по направлению «Конструирование летательных аппаратов», по проблеме «Разработка и конструирование нового типа ЛА авиации общего назначения»**

Сведения об авторе: Припадчев Алексей Дмитриевич, доцент кафедры летательных аппаратов Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук  
тел. (3532)271960, e-mail: aleksejj-pripadchev@rambler.ru

Pripadchev A.D.

ESTIMATION OF CONDITIONS AND STRUCTURALLY-GEOMETRICAL PARAMETERS OF MATHEMATICAL MODEL IN THE PROCESS OF PASSENGER TRANSPORTATIONS BY AIRCRAFTS

Parameters separate sets included in mathematical model structure process transportations in civil aviation in Russian Federation are examined in the article. According to mathematical model structure the model of conditions and structural-geometrical parameters is examined in more detail.

Key words: aircraft, air communication, mathematical model, condition parameters, structural-geometrical parameters, aircraft speed, flight height, flight distance.

Bibliography:

1. Aviation: Encyclopedia / Editor – in – chief G.P. Svishchev. – M.: Big Russian Encyclopedia, 1994. — 736 p.
2. Pripadchev A.D. Applied program of educational specification «Optimization of wing parameters and its mechanization»: certificate of software register. The register number is 471. Registered in UFAP on the 4<sup>th</sup> of June 2009./ A.D. Pripadchev, N.Z. Sultanov. — Orenburg: State University UFAP, 2009. — 2 p.
3. Pripadchev A.D. Applied program of educational specification «Estimation aircraft power plant mass»: certificate of software register. The register number is 545. Registered in UFAP on the 23<sup>th</sup> of November 2009./ A.D. Pripadchev, N.Z. Sultanov, A.V. Chovsky. — Orenburg: State University UFAP, 2009. — 2 p.
4. Pripadchev A.D. Programmer for definition of flux parameters and pacliant dimensions of flow part in typical sections in turbojet. The certificate of state register programmer for a computer №2010610718. Registered in the list for computer on the 20<sup>th</sup> of January 2010. / A.D. Pripadchev, A.V. Chovsky. — M. Federal service of intellectual property, patents and trademarks, 2010. — 1 p.
5. Goroshchenko B. T. Draft engineering of an aircraft / B.T. Goroshchenko, A.A. Dyachenko, N.N. Fadeev. — M.: Mechanical engineering, 1970 – 332 p.