

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДВИЖЕНИЯ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАМКАХ ВОЗДУШНОГО СООБЩЕНИЯ

В статье рассмотрены отдельные множества параметров, входящие в структуру математической модели процесса воздушных перевозок гражданской авиации РФ. В соответствии со структурой математической модели более подробно рассмотрены модель режимных характеристик воздушного сообщения и режимные параметры.

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

Анализируя эффективность воздушных перевозок, на первоначальном этапе разрабатывается математическая модель процесса пассажирских перевозок гражданской авиации. Взаимовлияние всех параметров, связанных с идентификацией процесса перевозок, указать в математической модели на практике не представляется возможным. В связи с вышесказанным необходимо обратить внимание на те параметры, которые воздействуют наиболее существенно на процесс воздушных перевозок. При этом функция модели не должна быть только описательной, т. к. важна роль предсказательного характера процесса. Математическая модель состоит из нескольких ступеней:

- 1) рациональное осмысление математической модели в зависимости от целей и задач;
- 2) отождествление модели с помощью экспериментов;
- 3) сопоставление математических и теоретических исследований модели;
- 4) адекватность модели;
- 5) поэтапный просчет технологии процесса.

При формировании математической модели появляется возможность использования антиподных способов исследования. Первый – дедуктивный способ. Он основан на рассмотрении объекта от общего к частному, т. е. на разложении объекта на более мелкие элементы, в результате чего решение упрощается, не изменяя природы всего объекта. Второй способ – индуктивный. Он основан на решении системы от частных положений к общим.

Эвристическая роль индукции заключается в синтетической функции, т. к. при наложении ограничений определяется экстремум в строго математических рамках.

Основой индуктивного способа является структура математической модели технологического процесса [2], в соответствии с которой рассматриваются отдельные множества параметров:

- конструктивно-геометрические (КГП);
- технологические (ТП);
- физико-механические (ФМП);
- режимные параметры (РП) и т. д.

Используя данный структурообразующий принцип, возможно сформировать следующую модель, в соответствии с рисунком 1.

Разнообразие физико-механических параметров (ФМП), задаваемых исходя из технологических требований, представляется физико-механической моделью. Взаимодействие конструктивно-технологических (КГП) и режимных параметров (РП) процесса видится моделью взаимодействия структурных элементов авиационно-транспортной системы с воздушным судном.

Воздушное сообщение – это видоизменяющийся во времени процесс. Одной из видоизменяющихся внутренних характеристик является экономическая эффективность. В результате аккумулируются частные элементы для образования единой системы. Основными параметрами выступают конструктивно-геометрические (КГП), технологические (ТП), физико-механические (ФМП), инерционно-массовые (ИМП) и режимные параметры (РП).

Из вышесказанного следует, что для определения математической модели приоритетным направлением будет поэтапное формирование перечисленных параметров.

В реальной модели процесса пассажирских перевозок невозможно исследовать одновременно и в совокупности все отдельные

вышеперечисленные множества параметров. Поэтому подробнее остановимся на модели режимных характеристик, в соответствии с рисунком 1, и соответствующих режимных параметрах.

Скорость полета  $V$ . Скорость воздушного судна – это скорость движения ЛА (его центра масс) относительно воздушной среды, не возмущенной самим ЛА [1]. Разновидности скорости представлены на рисунке 2.

Наиболее обобщенной является *рейсовая скорость самолета* 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 [2], в километрах на час, вычисляемая по формуле:

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

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

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

$L_{\text{в.п}}$  – горизонтальная проекция пути, проходимого самолетом за время  $t_{\text{в.п}}$ , км;

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

$\Delta t_{\text{м}}$  – время, затрачиваемое на запуск и прогрев двигателей, на рулежку и маневрирование после взлета и перед посадкой, ч.

Время на набор высоты и снижение, на разгон самолета до крейсерской скорости и торможение и соответствующая это-

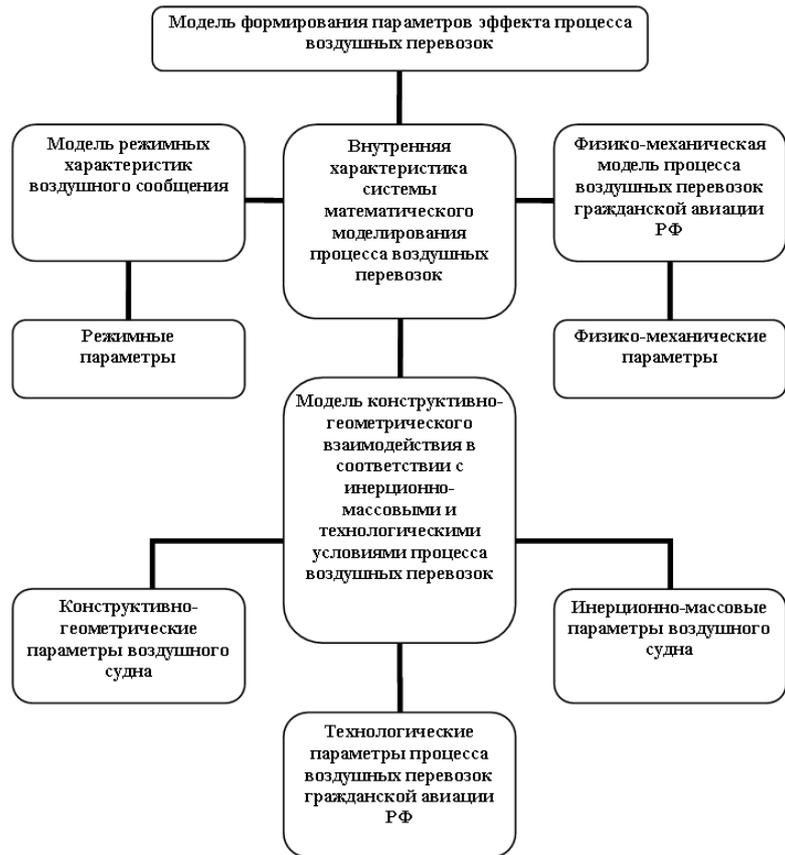


Рисунок 1. Структура математической модели процесса воздушных перевозок гражданской авиации РФ

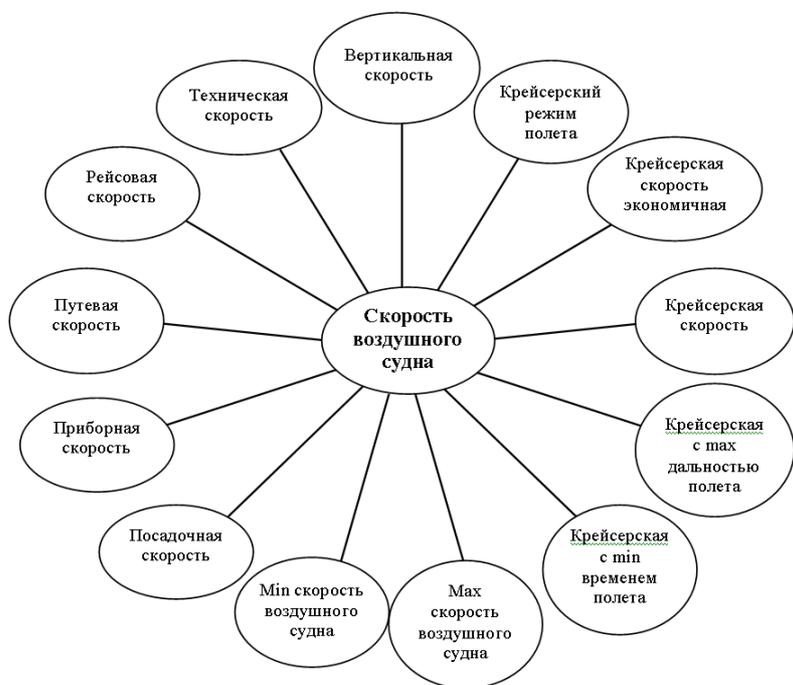


Рисунок 2. Виды скоростей воздушного судна

му времени горизонтальная проекция пути самолета берутся из аэродинамического расчета.

Высота полета  $H$ . Высота полета – это расстояние по вертикали от находившегося в полете ЛА до уровня поверхности, принятого за нулевой, различают:

- 1) абсолютную высоту полета – отсчитываемую от уровня моря;
- 2) относительную высоту полета – измеряемого от условного уровня;
- 3) истинную высоту полета – по отношению к той точке земной поверхности, над которой в данный момент пролетает воздушное судно.

Также различают предельно малые, малые, средние и большие высоты полета. Данное деление условно и изменяется с развитием авиационной техники.

Помимо высоты полета введено понятие *потолок летательного аппарата* – это наибольшая высота, которую может набрать воздушное судно при данном полетном весе, различают:

- 1) статический потолок – наибольшая высота, на которой при максимальной тяге силовой установки и при данной массе самолета возможен установившийся полет, т. е. горизонтальный полет с постоянной скоростью, в некоторых случаях он является теоретическим потолком;
- 2) практический потолок – наибольшая высота, на которой при полете с постоянной горизонтальной скоростью воздушное судно располагает наибольшим избытком тяги (мощности), достаточным для подъема с некоторой вертикальной скоростью. Данный параметр является важной характеристикой при сравнении воздушных судов различных типов и при контроле качества их серийного производства;
- 3) динамическая высота – высота полета, превышающая статический потолок воздушного судна, достигаемая в динамическом режиме полета, при котором часть кинетической энергии воздушного судна переходит в потенциальную;
- 4) динамический потолок – наибольшая высота, достигаемая самолетом в неустановившемся полете.

Расчет потолка при определении наибольшей высоты полета многомоторного са-

молета с ТРД, где  $H_{\text{пот}} > 11000$  м, при полете с частично остановленными двигателями или для самолетов с ТРД, имеющих малую тяговооруженность, тягу в килограммах, вычисляют по формуле [3]:

$$P_{\text{пот}} = P_{11} \frac{P_{H_{\text{пот}}}}{P_{11}}, \quad (2)$$

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

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

$P_{H_{\text{пот}}}$  – давление при  $H_{\text{пот}} > 11000$  м, Па.

Летающий самолет обладает энергией  $E$ , состоящей из:

- 1) кинетической энергии, в Джоулях, вычисляемой по формуле:

$$E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (3)$$

где  $m$  – масса воздушного судна, кг;

$V$  – скорость воздушного судна, км/ч;

- 2) потенциальной энергии, в Джоулях, вычисляемой по формуле:

$$E_n = G \cdot H. \quad (4)$$

Энергия, отнесенная к одному килограмму веса самолета, характеризуется *энергетической* высотой, в метрах, вычисляемой по формуле:

$$H_3 = H_k + H = \frac{V^2}{2g} + H. \quad (5)$$

Понятием энергетическая высота удобно пользоваться в тех случаях, когда при изменении высоты меняется и скорость полета, в километрах на час, вычисляют по формуле:

$$V = \sqrt{2g \cdot H_3 - H}. \quad (6)$$

В области установившихся режимов полета может быть достигнуто равенство внешних сил, действующих на самолет. Выше линии статических потолков силы не могут быть уравновешены, в связи с чем полет может быть только неустановившимся, переход в эту область возможен лишь путем преобразования части кинетической энергии самолета в потенциальную. Максимальная удельная энергия  $E$  реализуется в горизонтальном установившемся полете при максимальной тяге двигателей.

Дальность полета  $L$  воздушного судна. Дальность полета – это расстояние, измеренное по земной поверхности, которое воздушное судно пролетает от взлета до посадки при израсходовании определенного запаса топли-

ва, включает расстояние, пройденное воздушным судном при наборе высоты крейсерского полета в крейсерском режиме полета и при снижении, различают:

1) техническую дальность полета – расстояние, которое воздушное судно может пролететь от взлета до посадки в условиях стандартной атмосферы без ветра, с максимально возможной выработкой топлива и с нагрузкой, обусловленной техническими требованиями. Техническую дальность полета, в километрах, вычисляют по формуле:

$$L = L_{в.с} + L_{гор} + L_{сн}, \quad (7)$$

где  $L_{в.с}$  – расстояние по земной поверхности, проходимое самолетом при наборе высоты и скорости, км;

$L_{гор}$  – расстояние по земной поверхности, проходимое самолетом при горизонтальном полете с  $q_{min}$ , км;

$L_{сн}$  – расстояние по земной поверхности, проходимое самолетом при планировании с использованием всего запаса топлива на борту, км;

2) практическую дальность полета – расстояние, которое может пролететь воздушное судно при заданном состоянии атмосферы с учетом расхода топлива на запуск и опробование двигателей, руление перед взлетом, взлет, посадочный маневр, посадку, руление после посадки, с учетом аэронавигационного запаса топлива, определяемого для соответствующего типа воздушного судна нормами летной годности, существенно зависящей от массы целевой нагрузки;

3) перегоночную дальность полета – дальность полета при отсутствии коммерческой нагрузки с запасом топлива, определяемым ограничениями по прочности воздушного судна и с минимально необходимым для выполнения задания снаряжением.

При проектировании дальность полета, в километрах, вычисляют по формуле:

$$L = 1065 \left( \frac{K \cdot M_{крейс}}{C_p} \right) \ln \left( \frac{m_0}{m_{кон}} \right), \quad (8)$$

где  $K$  – аэродинамическое качество самолета;  
 $V_{крейс}$  – крейсерская скорость полета, м/с;  
 $M_{крейс}$  – крейсерское число  $M$  полета;  
 $C_p$  – средняя за полет величина удельного расхода топлива двигателями, Н/ч;

величину  $m_0/m_{кон}$  вычисляют по формуле:

$$\frac{m_0}{m_{кон}} = \frac{m_0}{m_0 - m_T} = \frac{1}{1 - m_T}. \quad (9)$$

Формула (7) была бы точна, если бы весь полет выполнялся на  $H_{крейс}$ , а если учесть потери топлива на взлет, набор высоты и разгон до крейсерской скорости, то дальность полета, в километрах, вычисляют по формуле:

$$L \approx 1020 \frac{K \cdot M_{крейс}}{C_p} \ln \frac{m_0}{m_K} = 1020 \frac{K \cdot M_{крейс}}{C_p} \frac{\bar{m}_T}{\sqrt{1 - m_T}}. \quad (10)$$

Математическая модель, сформированная из предлагаемых независимых множеств параметров (РП, КГП, ИМП, ФМП, ТП) на базе внутренней характеристики системы, позволяет разработать оптимальные режимы процесса пассажирских перевозок гражданской авиации.

#### Список использованной литературы:

1. Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г.П. Свищев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 736 с.: ил.
2. Припадчев А.Д. Влияние геометрических поверхностей виброконтакта на процесс смешивания. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 128 с.
3. Эскизное проектирование самолета. Горощенко Б.Т., Дьяченко А.А., Фадеев Н.Н. «Машиностроение», 1970, с. 332.

**Pripadchev A.D., Sultanov N.Z.**

#### THEORETICAL ASPECTS OF AIRCRAFT FLEET TRAFFIC WITHIN THE FRAME OF AIR COMMUNICATION

The article covers separate multitudes of parameters making a part of the structure of a mathematic model of the process of air transport services rendered by civil aviation of the RF. According to the mathematic model structure they study the model of operating characteristics of air communication and operating parameters in detail.

Key words: aircraft, air communication, mathematic model, operating parameters, aircraft speed, flight altitude, flying range

#### Информация об авторах:

Припадчев А.Д., доцент кафедры летательных аппаратов ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», кандидат технических наук, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел.: (3532) 271960, e-mail: aleksejj-pripadchev@rambler.ru

Султанов Н.З., доктор технических наук, заведующий кафедрой систем автоматизации производства ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», профессор, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, к. 2126, тел.: (3532) 372512, e-mail: sap@mail.osu.ru