

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ АВИАПРЕДПРИЯТИЯ В РАМКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

В статье на основании анализа статистического материала, проведенных исследований, а также выполненных под научным руководством и при участии автора разработок в области отраслевого и внутрифирменного планирования, оптимального проектирования социально-экономических и производственных объектов предложены концепции и принципы формирования структуры авиационной специализированной системы. Это единый комплекс научно-методических положений, математических моделей, алгоритмов и программ, предназначенный для решения оптимизационных задач в области планирования, разработки и внедрения перспективных бизнес-процессов на авиапредприятиях.

Авиатранспортные предприятия (ФГУП и предприятия других разных форм собственности) являются непосредственными производителями транспортной продукции, и каждое отдельное предприятие и их совокупность в общей транспортной системе страны представляют собой сложную социально-экономическую и производственно-техническую систему, характеризующуюся следующими свойствами:

- большой размерностью;
- сложностью выполняемых функций;
- иерархичностью структуры;
- цельностью;
- динамикой;
- сложностью взаимодействия и взаимовлияния подсистем и элементов;
- признаками воздействия внешней среды;
- неопределенностью информации о состоянии элементов в связи с непредсказуемыми воздействиями внешней среды во времени;
- наличием целей и ресурсами.

Наличие вышеперечисленных свойств создает определенные трудности в моделировании. Математическая модель авиационной специализированной системы (АСС) отождествляется с целостным множеством подсистем и элементов, связанных между собой взаимными отношениями.

Как известно [1...7], внутренние взаимосвязи в структуре АСС, заданной в форме иерархии элементов в виде ориентированного графа, имеют вид двух форм:

– преобразований функциональных и отображений (пояснения даны ниже):

$$ПЗ_{\Sigma} [N_{\Sigma}(t), T_{ОП_{\Sigma}}(t), N_{прив_{\Sigma}}(t)], \quad (1)$$

– управлений, т. е. установлений соответствия входных параметров системы по отношению к выходным в соответствии с целью и программой управления системой

$$ACC : \{X_j, Y_j, Z_k\} \rightarrow \{w_f, UB1, UB2, UB3\}, \quad (2)$$

где: АСС – управляемая система (авиационная специализированная система);

$\square$  – знак преобразования;

$\{X_j, Y_j, Z_k\}$  – главные характеризующие параметры подсистем;

$\rightarrow$  – знак перехода;

$w_f$  – критериальный вектор-параметр состояния АСС;

$UB1, UB2, UB3$  – управляющие воздействия соответствующих уровней.

Здесь:  $T_{ОП_{\Sigma}}(t)$  – операционное время работы АСС (авиапредприятия) в год в  $t$ -м году эксплуатации;

$N_{прив_{\Sigma}}(t)$  – приведенное количество взлетов и посадок в год в  $t$ -м году.

Принято, что АСС состоит из трех подсистем:

- подсистемы ВС (воздушных судов);
- подсистемы АР (авиационных работ);
- подсистемы НКМ (наземного комплекса).

Основными элементами подсистемы ВС в авиационной специализированной системе (АСС) являются воздушные суда (ВС), объединенные по типоразмеру, совокупность которых составляет парк ВС.

Состав парка ВС в  $t$ -м году можно записать в виде уравнения:

$$N_{\Sigma}(t) = N_{\Sigma}(t-1) + ПБ_{\Sigma}(t) - СП_{\Sigma}(t), \quad (3)$$

где  $N_{\Sigma}(t-1)$  – состав парка ВС в предыдущем, т. е. в  $(t-1)$  году;

$ПБ_{\Sigma}(t)$  – приобретенные ВС в  $t$ -м году;

$СП_{\Sigma}(t)$  – списанные ВС в  $t$ -м году.

Идентификация размерности парка выражается слагаемыми состава парка ВС в  $t$ -м году:

$$N_{\Sigma}(t) = \sum_{j=1}^m N_{C_j}(t) + \sum_{j=1}^m N_{B_j}(t) + \sum_{j=1}^m N_{МДП_j}(t), \quad (4)$$

где  $\sum_{j=1}^m N_{B_j}(t)$  – состав парка вертолетов в  $t$ -м году;

$\sum_{j=1}^m N_{МДПj}(t)$  – состав парка мотодельтапланов и сверхлегких летательных аппаратов в  $t$ -м году;

$x_{Cj}(j=1, m)$ ;  $Cj = \overline{1, Cm}$  – параметрический ряд самолетов (С) в парке ВС авиапредприятия.

Слагаемое  $ПБ_{\Sigma}(t)$  определяет программу закупок ВС авиапредприятием (авиационной специализированной системой) в  $t$ -м году.

$$ПБ_{\Sigma}(t) = \sum_{j=1}^m ПБ_{Cj}(t) + \sum_{j=1}^m ПБ_{Bj}(t) + \sum_{j=1}^m ПБ_{МДПj}(t), \quad (5)$$

где  $\sum_{j=1}^m ПБ_{Cj}(t)$  – программа закупок самолетов из параметрического ряда  $Cj = \overline{1, Cm}$  в  $t$ -м году;

$\sum_{j=1}^m ПБ_{Bj}(t)$  – программа закупок вертолетов из параметрического ряда  $Bj = \overline{1, Bm}$  в  $t$ -м году;

$\sum_{j=1}^m ПБ_{МДПj}(t)$  – программа закупок мотодельтапланов и сверхлегких летательных аппаратов (МДП) из параметрического ряда  $МДПj = \overline{1, МДПn}$  в  $t$ -м году.

Моделирование структуры парка ВС имеет свою специфику для самолетов, вертолетов и сверхлегких летательных аппаратов на пассажирских, грузовых перевозках, для специальных авиационных работ и для авиационно-химических работ. Так для пассажирских перевозок характерна более определенная регулярность, интенсивность и распределение в течение  $t \in [1, T]$ . Для транспортных грузовых перевозок присуща неопределенность условий их применения и неоднородность перевозимого груза. Для АХР и специальных авиационных работ характерно многообразие целей, для достижения которых они проводятся. Данные особенности приведены в статье [8].

По принятой классификации используем математические, алгоритмические, функциональные модели по способу описания. По видам моделирования используем управляемые модели с управляющими воздействиями разных уровней и лицом, принимающим решения (ЛПР). Вид описания – аналитический и функциональный. При этом способ получения решений – численные решения аналитических выражений.

Ограничения, определяющие допустимость

$$\begin{cases} x \in (x_1, \dots, x_m) \\ y \in (y_1, \dots, y_n) \\ z \in (z_1, \dots, z_k) \end{cases} \quad (6)$$

в  $n^3 \cdot m^4 \cdot k^2$ -мерном пространстве параметров в вышеперечисленных моделях АСС по способу описания (математические, алгоритмические, функциональные) принимают различную форму. Введем основные классы таких ограничений.

1. Ограничения на область определения отдельных параметров

$$\begin{cases} a_x \leq x \leq b_x \\ a_y \leq y \leq b_y \\ a_z \leq z \leq b_z \end{cases}, \quad (7)$$

где  $a, b$  – нижние и верхние пределы изменений параметров подсистем.

2. Ограничения, связывающие значения параметров подсистем ВС, АР и НКМ. К их числу следует отнести ограничения на поставки авиатехники, ресурсные, технологические ограничения, объемы авиаработ, по нормам летной годности и т. п.

Имеют вид уравнений существования

$$\begin{cases} f(x) \leq 0, \\ f(y) \leq 0, \\ f(z) \leq 0. \end{cases} \quad (8)$$

3. Ограничения, имеющие логистический характер с условием, если

$$\begin{cases} f_1(x) < 0 \\ f_2(y) < 0 \\ f_3(z) > 0 \end{cases}, \quad \text{то} \quad \begin{cases} f_4(x) \geq 0 \\ f_5(y) \leq 0 \\ f_6(z) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, все многообразие ограничивающих условий

$$\begin{cases} x \in G_x \\ y \in G_y \\ z \in G_z \end{cases} \quad (10)$$

не что иное, как области предпочтительного применения (ОПП) с условиями, оговоренными выражениями в ранее опубликованных работах [8...14]. Чтобы выявить множество допустимых значений  $G_x, G_y, G_z$ , необходимо решить систему неравенств (9).

Для формулировки оптимизационной задачи необходимо, помимо ограничивающих условий (7)...(10), ввести в математическую модель общий комплексный критерий

$$F_0(x, y, z) \in W_f, \quad (11)$$

причем  $F_0(x, y, z) \rightarrow ПЗ_{\Sigma} [N_{\Sigma}(t), T_{ОП\Sigma}(t), N_{нрив\Sigma}(t)]$

$$\begin{cases} N_{\Sigma}(t) \{x_j, y_i, z_k\}, j = \overline{1, m} \\ T_{ОП\Sigma}(t) \{x_j, y_i, z_k\}, i = \overline{1, n} \\ N_{нрив\Sigma}(t) \{x_j, y_i, z_k\}, k = \overline{1, k} \end{cases} \quad (12)$$

с помощью которого оцениваются допустимые типы, типоразмеры ВС, варианты и варианто-размеры АР, классы и виды НКМ.

Сложность решения главных задач (7)...(12) во многом определяется тем, выпукла или нет минимизируемая не обязательно дифференцируемая функция  $F_0(x, y, z)$ .

Ранее было показано [7...11], что исследуемая система имеет явно многоуровневую иерархическую структуру. Поэтому необходим и реализован иерархический подход к моделированию, который основан на идее декомпозиции модели системы на ряд частных моделей и разделение решения главных задач на ряд частных моделей и задач меньшей размерности (по сравнению с исходной). Результаты решений по частным моделям координируются на основе иерархии процесса решения (двухэтапная задача), строящегося таким образом, чтобы вплотную подойти к полному решению.

Принцип декомпозиции применим к исследованию систем, обладающих свойствами, благодаря которым разложение их оказывается удобным и целесообразным. АСС представляет неограниченные возможности для разложения на отдельные подсистемы, координации – обмена информацией между этапами разных уровней (итеративное агрегирование) и периодического уточнения априорной информации (скользящее планирование).

При пространственной декомпозиции, описанной в работах [7...11], авиапредприятия (АСС) разбиваются на подсистемы ВС, АР, НКМ. Здесь координация достигается путем итеративного обмена информацией с учетом информационного обеспечения, требуемой точности и достоверности решения, вычислительными возможностями.

Заданы период  $T$  и количество подзона  $N_Q(t)$  в  $t$ -м году. Подзона характеризуется множеством авиарбот, «близких» по протяженности (зонам дальности) и интервалам интенсивности взлетов и посадок  $N_{прив}$ . Вопросы выбора и определения вышеперечисленных параметров для пассажирских перевозок подробно изложены в авторской работе [15], для АХР в монографии [12].

Для каждого  $t$  периода  $T$  известны  $T_{оп\sigma}(t)$  и  $N_{прив\sigma}(t)$ , а также объем авиарбот  $Q_{\Sigma}(t)$  в  $i$ -й подзоне. К началу рассматриваемого  $t \in [1, T]$  имеется состав парка  $N_{\Sigma}(t)$  со структурой  $\{N_{Cj}(t), N_{Bj}(t), N_{МДПj}(t)\}$  в  $t$ -м году.

Если годовые эксплуатационные расходы, связанные с авиарботами, аналитически опре-

деляются и капиталовложения, связанные с приобретением авиационной техники, можно спрогнозировать, то при заданных ограничениях на финансовые, материальные и людские ресурсы необходимо пополнить состав парка и изменить структуру так, чтобы выполнить предлагаемый объем авиарбот (АР) с минимальными приведенными затратами.

Математически комплексная задача формулируется следующим образом:

минимизировать

$$\sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^k \left[ \frac{ПЭР_{ijk}(t) + КЭР_{ijk}(t)}{П_{ij}(t)} + E_H \left( \frac{K_{ниокрj} \cdot \alpha(t) + K_{освj} \cdot \alpha(t) + K_{сепj} \cdot \alpha(t) + K_{АРj} \cdot \alpha(t)}{N_{\Sigma ij}(t) П_{ij}(t) T_{наij}(t)} + \frac{K_{пр ij} \cdot \alpha(t) + K_{смп ij} \cdot \alpha(t) + K_{баз ij} \cdot \alpha(t)}{П_{ij}(t) T_{опijk}(t)} \right) \right] \right\} \quad (13)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^m N_{\Sigma ij}(t) \leq \sum_{j=1}^m [N_{\Sigma ij}(t) - СП_{\Sigma ij}(t)] + \sum_{j=1}^m ПБ_{\Sigma ij}(t);$$

$$j = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T};$$

$$\sum_{i=1}^n П_{ij}(t) N_{прив ij}(t) \geq Q_{\Sigma}(t), \quad i = \overline{1, n}; \quad t = \overline{1, T};$$

$$\sum_{j=1}^m [C_{BCj}(t) \{C_{Cj}, C_{Bj}, C_{МДПj}\} N_{BCj}(t) \{N_{Cj}, N_{Bj}, N_{МДПj}\}] \leq \bar{K},$$

$$C_j = \overline{1, C_m}, \quad B_j = \overline{1, B_m}, \quad МДП_j = \overline{1, МДП_m}, \quad j = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T};$$

$$\sum_{j=1}^m ПБ_{\Sigma ij}(t) \geq \sum_{j=1}^m \Theta_{ij}(t) \cdot [ПБ_{Cj}(t) + ПБ_{Bj}(t) + ПБ_{МДПj}(t)]$$

$$j = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T};$$

$$\Theta_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t - \tau \leq (W_{Пj} / T_{НПгодj} - 1) \\ 0, & \text{если } t - \tau > (W_{Пj} / T_{НПгодj} - 1) \end{cases}$$

$$\sum_{j=1}^m ПБ_{\Sigma ij}(t) \{ПБ_{Cj}(t), ПБ_{Bj}(t), ПБ_{МДПj}(t)\} \leq ПБ_{\max} \{ПБ_{авиапром}, ПБ_{лизинг}, ПБ_{заруб}\};$$

$$\sum_{j=1}^m ПБ_{\Sigma ij}(t) \geq 0, \quad \sum_{j=1}^m N_{\Sigma ij}(t) \geq 0, \quad j = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T};$$

$$T_{овамj} < T_{нламj} < W_{Пj};$$

$$T_{нлгодijk} + T_{нлгодijk} (T_{ТОj} + T_{ремj}) / W_{МРПj} + T_{нлгодijk} T_{Пij} (V_{ср} / L_{ср})_{ijk} + T_{простij} \leq 8760$$

Обозначим:

$ПЗ_{\Sigma}(t)$  – суммарные приведенные затраты, включающие капвложения и эксплуатационные

расходы в парк ВС, наземный комплекс и развитие подсистемы авиаработ;

$N_Q(t)$  – количество подзон в  $t$ -м году;

$Q_i(t)$  – функция, характеризующая суммарный объем авиаработ в  $t$ -м году;

$X(t)$  – вектор-функция или главные параметры, характеризующие парк ВС;

$Y(t)$  – вектор-функция или главные параметры, характеризующие конфигурацию авиасети в  $t$ -м году;

$Z(t)$  – вектор-функция или главные параметры, характеризующие состояние множества наземных комплексов;

$\{N_{Cj}, N_{Bj}, N_{МПj}\}$  – структура парка ВС в  $t$ -м году;

$\sum_{j=1}^m [N_{\Sigma ij}(t) - СП_{\Sigma ij}(t)]$  – остаток парка ВС (за счет списанных ВС в  $t$ -м году)  $j$ -го типа к концу  $t$ -го года для  $i$ -го вида авиаработ;

$C_{BCj}(t)$  – стоимость (покупная цена) воздушного судна  $j$ -го типа в  $t$ -м году;

$\tau$  – рассматриваемый год эксплуатации АСС;

$W_j$  – срок службы (технический ресурс)  $W_j = W_{Пj}$ ;

$I$  – целочисленная переменная, определяющая устаревание эксплуатируемого парка ВС;

$T_{нл год j}$  – налет в год  $j$ -ым типоразмером ВС;

$T_{нл год j} = \sum_{i=1}^n T_{нл год ij}$ ,  $T_{нл год ij}$  – налет в год  $j$ -м типоразмером ВС на  $i$ -м варианторазмере АР;

$ПБ_{max}$  – максимально теоретически возможные закупки с учетом закупок по авиапрому ( $ПБ_{авиапром}$ ), по лизингу ( $ПБ_{лизинг}$ ), по зарубежным поставкам ( $ПБ_{заруб}$ );

$\alpha(t)$  – коэффициенты дисконтирования по времени;

$\alpha(t) = 1/(1 + E)^t$ ,  $E$  – норматив приведения;

$W_{Пj} = T_{нл ам j}$ ;

$T_{нл год ijk}$  – годовой налет  $j$ -го типа ВС на  $i$ -м варианте АР при  $k$ -м виде базирования НКМ;

$T_{нл ам j} = W_{Пj}$  – установленный ресурс ВС  $j$ -го типа;

$T_{ТО j}$  – подготовка или продолжительность нахождения ВС в АТБ на регламентном техническом обслуживании (ТО) за весь межремонтный период  $j$ -го типа ВС;

$T_{рем j}$  – продолжительность одного ремонта ВС  $j$ -го типа;

$W_{МРП j}$  – межремонтный ресурс планера ВС  $j$ -го типа;

$T_{прост ij}$  – время простоя исправного ВС  $j$ -го типа на  $i$ -м варианте АР;

$T_{Пijk}$  – время подготовки ВС к производственному циклу;

$(V_{cp}, L_{cp})_{ijk}$  – средние показатели скорости и дальности за один производственный цикл.

Таким образом, в статье приведены основные результаты исследований по госбюджетной НИР «Анализ эффективности использования воздушных судов по разным сферам применения и оптимизация парка», по разделу 1 «Совершенствование системы управления авиапредприятием на основе перехода на технологии оптимизации бизнес-процессов».

Для описания и анализа (идентификации) бизнес-процессов авиапредприятия разработаны математические модели процессов функционирования авиапредприятия, выявлены основные бизнес-процессы, оптимизация которых – суть совершенствования системы управления авиапредприятием. Доказано, что ключевыми задачами перехода на технологии оптимизации бизнес-процессов авиапредприятия являются:

- оптимизация парка ВС;
- оптимизация организационных структур.

Таким образом определена необходимость создания инструмента для идентификации вышеперечисленных бизнес-процессов – построение структурной модели авиапредприятия как авиационной специализированной системы.

Обозначен объект исследования – авиапредприятие как сложная авиационная специализированная система (АСС), т. е. как совокупность множеств взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем. Доказано, что число подсистем при оптимальной степени детализации равно трем: подсистема ВС ( $X$ ), подсистема АР ( $Y$ ), подсистема НКМ ( $Z$ ).

Научная ценность решения данных задач заключается в концепции двухэтапной многофакторной оценки эффективности в системе применяемых критериев, отражающих показатели всех соответствующих подсистем АСС.

Обосновано использование математических, алгоритмических, функциональных моделей по способу описания; управляемых – по видам; по способу получения решений – численные решения аналитических выражений. Классифицированы ограничения: ресурсные, технологические, логистические. Реализован иерархический подход к моделированию, который основан на идее декомпозиции модели АСС на ряд частных и разделения решений главных задач на ряд частных меньшей размерности (по сравнению с исходной). Результаты решений по частным моделям координируются на основе иерархии процесса решения (двухэтапная задача), строящегося таким образом, чтобы достичь требуемой точности и достоверности ре-

шения при определенных вычислительных возможностях.

Сформулирована математическая комплексная задача минимизации критерия. Если годовые эксплуатационные расходы авиапредприятия, связанные с авиаработами, аналитически определяются, а капиталовложения, связанные с приобретением авиационной техники для дос-

тижения обусловленного конкуренцией качества, можно спрогнозировать, то при заданных ограничениях на финансовые, материальные и людские ресурсы необходимо изменить состав парка ВС и изменить его структуру так, чтобы выполнить предполагаемый объем авиаработ (АР) с минимальными приведенными затратами. Сформулированы допущения и ограничения.

---

**Список использованной литературы:**

1. Куклев Е.А. Методы математического моделирования систем. – СПб.: Издательство Академии Гражданской авиации, 1998. – 116 с.
2. Ван Гиг Дж. Прикладная общая теория систем. – М.: Мир, 1985.
3. Коршунов Ю.И. Техническая кибернетика (2-е издание). – М.: Высшая школа, 1989.
4. Советов Б.Я. Моделирование сложных систем. Часть 1 и 2. – М.: Высшая школа, 1986.
5. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Физмат, 1961.
6. Леондес Д. Современная теория управления. – М.: Мир, 1971.
7. Сиразетдинов Т. К. Динамическое моделирование экономических объектов / Академия наук РТ. – Казань: Издательство «ФЭН», 1996.
8. Портников Б.А., Султанов Н.З. Тенденции развития и технико-экономический анализ состояния качества воздушного транспорта // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. докл. шестой Российской научно-техн. конф. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003, с. 177...181.
9. Портников Б.А., Султанов Н.З. Системное и ситуационное моделирование социально-экономических и производственных объектов // Вестник Оренбургского государственного университета, №8, 2002, с. 163...171.
10. Портников Б.А., Елагин В.В., Султанов Н.З. Формализация задач организационного структурирования авиапредприятия как единой интегрированной системы / В сб.: Современные аспекты компьютерной интеграции машиностроительного производства // Сб. статей Всероссийской научно-практ. конф. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003, с. 191...194.
11. Портников Б.А., Султанов Н.З. Концепция моделирования и формализации задач функционирования авиапредприятий // Современные аспекты компьютерной интеграции машиностроительного производства / Сб. статей Всероссийской научно-практ. конф. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003, с. 195...198.
12. Портников Б.А., Абдрашитов Р.Т., Бондаренко В.А., Дибихин К.Ю., Локтионов А.П., Султанов Н.З. Инновационные процессы в авиационно-химических работах – экологический аспект / Монография. – Оренбург: ОГУ, 1998. – 200 с.
13. Портников Б.А. Минимизация нецелевого воздействия химических веществ на компоненты окружающей среды при проведении специальных авиационных работ // Автореферат диссерт. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Оренбург: ОГУ, 1998. – 24 с.
14. Портников Б.А., Локтионов А.П., Султанов Н.З. Структура и размерность парка воздушных судов сельскохозяйственной модификации и окружающая среда // Вестник ОГУ, № 3, 1999.
15. Портников Б.А., Султанов Н.З. Определение эффективности авиационной системы по вероятности выполнения основных стадий функционирования: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 35 с.