

## ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ



**Н.И. Плотников**

Исследуется предметная область транспортных комплексов на примере воздушного транспорта. Необходимым условием проектирования транспортных комплексов является приемлемая терминология предметной области, поиск и выбор средств формализации и постановка задачи.

*Ключевые слова:* транспортные комплексы, проект, воздушный транспорт

**В** целесообразной техногенной деятельности существует задача проектирования и организационного построения данной отрасли деятельности. Воздушный транспорт (ВТ) является частью аэрокосмической промышленности, которую часто идентифицируют как транспортный комплекс (ТК). Характеристики воздушного транспорта можно выразить в наукоемкостных, экономических, социальных и политических аспектах. Мировой рынок аэрокосмической промышленности составляет объемы, исчисляемый в триллионы долларов, что отражает наукоемкость. Авиастроение тесно связывает свою деятельность с другими отраслями и является поставщиком не только летательных аппаратов, но и новых технологий коммерческой деятельности. Социальные аспекты авиационной промышленности весьма значительны и проявляются в тенденциях миграции народонаселения и занятости: каждый 20-й житель планеты занят в отрасли, связанной с авиацией [5; 6]. Политические и оборонные аспекты авиационной промышленности заключаются в том, что весь гражданский воздушный

флот и его инфраструктура могут быть использованы в военных целях. Исследование деятельности может содержать описание существующего и возможного состояний с позиции наблюдателя. Различие в этих состояниях называют проблемами. Далее называют предмет исследования, составляется описание предметной области и задачи проектирование ТК.

### **Проблемы проектирования транспортного комплекса**

*Особенности условий избранной деятельности.*

Воздушный транспорт качественно изменил форму бытия и саму природу коммуникаций людей. Скорость и полет без физических препятствий — важнейшее преимущество воздушного транспорта. Ввиду скоростного преимущества воздушного транспорта он занимает пять процентов времени, затрачиваемого на перемещения и 95% расстояния от общих дистанций, преодолеваемых людьми иным способом и другими видами транспорта. Вместе с тем, полет в закрытом физическом теле, каким

---

**Плотников Николай Иванович**, кандидат технических наук, генеральный директор ЗАО Исследовательский проектный центр «АвиаМенеджер». Область научных интересов: теория информации, теория ресурсов, теория сложных объектов, воздушный транспорт, консалтинг. Автор более 100 научных работ, в том числе трех монографий.

является воздушное судно, является причиной специфических проблем. Эти условия являются не естественной средой обитания человека, требуют особого состояния ресурсов деятельности. Состояние воздушной массы, метеосостояния оказываются во много раз важнее, чем для других видов транспорта. Столкновения с птицами напоминают человеку, что он вторгся в их среду обитания. Условия полета становятся привлекательными для незаконного вмешательства — авиатерроризма hijacking.

*Понятийная неопределенность описания деятельности.*

В настоящее время активно обсуждаются понятийные и правовые проблемы относительно всей отрасли транспорта: транспортная деятельность, транспортная безопасность. Часть этих вопросов относится к сфере авиации. В Федеральном законе от 08.01.1998 г. №10-ФЗ «О государственном регулировании развития авиации» под термином «авиация» понимается государственная авиация, гражданская авиация, экспериментальная авиация, авиационная промышленность, авиационная инфраструктура и единая система организации воздушного движения. В Воздушном кодексе РФ отсутствуют определения терминов авиации, воздушного транспорта, авиационного транспорта. Есть определение авиационной безопасности, но отсутствует определение безопасности полетов. Есть понятийные описания государственного контроля за деятельностью авиации, но отсутствует понятие государственного регулирования и его отличие от контроля. Даже определение гражданской авиации оставляет вопросы: «Авиация, используемая в целях обеспечения потребностей граждан и экономики, относится к гражданской авиации».

Наблюдение деятельности осуществляется в измерении и оценивании категорий качества: надежности, безопасности, регулярности. Теории качества, надежности и безопасности создавались в разное время, относительно независимо и продвинуты в разной степени. Категория надежности теоретически наиболее проработана в отношении техники. Категория безопасности имеет смысловой акцент к человеку и жизнедеятельности. Надежность также применяют относительно человека, нередко отождествляют с безопасностью. Безопасность рассматривают как часть теории надежности. Понятие регулярности деятельности остается наименее исследованным. В целом, понятийная и категорийная неопределенность является следствием сложности избранной деятельности и требует рационального описания.

*Сложность методологии исследования и проектирования деятельности.*

Существующая методология исследования и проектирования сложных эргатических комплексов допу-

скает использование как системного, так и процессного подходов [1]. В системном представлении сложное «целое», называемое авиационной транспортной системой (АТС), состоит из подсистем и компонент триады «человек-машина-среда» (ЧМС). «Главной» подсистемой часто определяют «экипаж—воздушное судно», деятельность которой называют летной эксплуатацией (производство) и описывают в процессном содержании в физической среде воздушного пространства. Предмет эксплуатации воздушного транспорта отождествляется с летной эксплуатацией. Преобладает также отождествление субъектов — оператор летного труда (ОЛТ) и экипажа (Э). Это означает, что отсутствует различие индивида и группы. Между тем, экипаж является множеством, имеющим принципиально иное содержание. Смещение методологий ведет к тому, что летная эксплуатация описывается как процесс, а остальные функции представляются в системном виде.

Человеческая компонента, присутствующая в разных процессах эксплуатации транспорта, изучается с помощью наук о человеке human sciences и гуманитарных дисциплин. Машины как материальные субстраты создаются техническими дисциплинами technical sciences. Средой environment узко считают природное окружение, которое изучается естественными науками natural sciences. В настоящее время среда понимается значительно шире: природная, экологическая, политическая, экономическая, технологическая, социальная, правовая. В данном содержании среда изучается также гуманитарными дисциплинами и науками о человеке. Качественные параметры — безопасность и экономика исследуют с помощью разных дисциплин [4]. Таким образом, границы элементов триады ЧМС и используемых наук представляются нечеткими, что создает фундаментальные сложности и приводит к непродуктивности данной модели, рис. 1. Из многих следствий этого

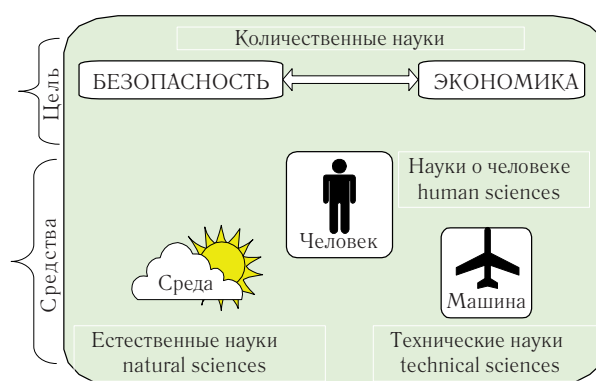


Рис. 1. Системологическая модель воздушного транспорта

является дискретное рассмотрение деятельности. Например, для выявления причин происшествий содержание изучается отдельно относительно человека, машины и среды. Из множества процессов воздушного транспорта рассматривается только конкретный полет. Другим следствием является содержание научных специализаций: дисциплина «эксплуатация воздушного транспорта» по-прежнему концентрируется в основном на технических задачах.

*Проблемы формализации описания транспортного комплекса.*

Фундаментальной проблемой исследования и проектирования транспортных комплексов является трудности выборов приемлемых средств формализованного описания. Задача может быть реализована в качественных оценках и частных решениях. Общую формализацию можно представить в теории множеств, например, в категориях экономики. Стоимостные ресурсные составляющие транспортного комплекса представляются как сумма затрат:

$$C_{\text{ТК}} = C_{\text{Э}} + \alpha_n (C_{\text{Т}} + C_{\text{Ч}}), \quad (1)$$

где  $C_{\text{Т}}$  – затраты создания техники;  $C_{\text{Ч}}$  – подготовка человеческих профессиональных ресурсов;  $C_{\text{Э}}$  – затраты эксплуатации;  $\alpha_n$  – нормативный коэффициент проектирования качества комплекса. Качество транспортного комплекса  $Q_{\text{ТК}}$ , оцениваемое как надежность или безопасность, представляется в виде множества:

$$Q_{\text{ТК}} = F[\{\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{W}\} \bar{\Omega}(t)], \quad (2)$$

где  $\bar{X}$  – вектор всех человеческих составляющих комплекса,  $\bar{Y}$  – вектор природной внешней среды,  $\bar{Z}$  – вектор технических факторов,  $\bar{W}$  – вектор полетных факторов,  $\bar{\Omega}(t)$  – вектор параметров неблагоприятных факторов.

Вектор  $\bar{X}$  имеет разновременную и разнопространственную характеристику деятельности всех участников транспортного комплекса. Современное представление среды значительно шире природной составляющей и вектор  $\bar{Y}$  может иметь разнообразное описание. Отклонения от нормативного качества  $Q_n$  и идентифицируется как проектная погрешность:  $\gamma = Q_n \pm \Delta Q$ . Совокупность многочисленных частных показателей представляется как:

$$E_{\text{ТК}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i E_i, \quad (3)$$

где  $E_i$  и  $\alpha_i$  – весовые и нормативные коэффициенты частных показателей качества.

Обобщенно, проблемы проектирования ТК включают нетривиальность избрания деятельности, понятийная незавершенность описания, методологическая сложность и условия формализации описания.

## Задачи проектирования транспортного комплекса

*Задачи описания предметной области воздушного транспорта.*

Предметом настоящего исследования является проектирование комплекса воздушного транспорта: эксплуатационной части авиаиндустрии. Для предметной области воздушного транспорта в настоящей работе принимаются следующие определения и понятийные описания. Воздушный транспорт – деятельность коммерческих авиаперевозчиков по удовлетворению общественных потребностей в авиаперевозках. Авиация общего назначения (АОН) – деятельность авиаперевозчиков по удовлетворению индивидуальных потребностей в авиаперевозках. Авиаперевозчик *air carrier* – субъект, который предпринимает прямо или косвенно, с помощью аренды или другим путем, найм в воздушной перевозке. Авиационная коммерческая деятельность *air commerce* – деятельность, связанная с транспортировкой на воздушных судах пассажиров, груза и почты, а также весь связанный с этим комплекс обслуживания [8]. Деятельность воздушного транспорта организуется регулированием – процессом установления отношений участвующих субъектов: стандартизации, лицензирования и сертификации. Регулирование принципиально отличается от управления отсутствием полномочий государства на директивное вмешательство в деятельность хозяйствующих субъектов при соблюдении ими предписанных норм и правил.

Для преодоления методологической сложности проектирования ТК в настоящей работе предлагается ресурсный процессный подход. Данный подход рассматривается как не сформированное направление, а как рабочая дисциплина и альтернатива системологическому подходу. Основная суть содержится в понятии сложности деятельности. Самое сложное множество это «единичное» – процесс конкретного полета и содержание профессии пилота как концентрация всех ресурсных процессов транспортного комплекса и процессов потребительской среды. Постулируются следующие основные понятия: «процесс полета» как центральный акт деятельности воздушного транспорта; основной операционный процесс – «конкретный единичный полет»; главный субъект комплекса воздушного транспорта – капитан (пилот, оператор летного труда). Главным отличием предлагаемого подхода является изменение предмета и объекта исследования [4]. Теоретичное и методологическое значение предлагаемого подхода может иметь следствия: трансформирование структуры предметной деятельности; методологическое обоснование и описание содержания деятельности в основных терминах:

комплекс, ресурс, процесс. Системный подход при этом используется в контексте.

*Контур* транспортного комплекса в теории поля.

Поскольку в транспортном комплексе повсеместно присутствует человеческая компонента, составим вышеизложенные построения операционных контуров операционных контуров транспортного комплекса в теории поля [2]. Комплексу воздушного транспорта «человек-машина-среда» (ЧМС) «person-machine-environment» (PME) предписываются операции, оптимизирующие эффективное и безопасное выполнение полета. Летный экипаж концентрирует внимание на выполнении операций отдельно и связано по каждой компоненте. Это ближайший операционный контур первого рода, каждый из элементов которого имеет конфигурации следующего порядка и одновременно изменяющиеся в процессе полета. Контур следующего порядка может включать связь с диспетчером и технические средства связи. В этом случае компонент «машина» является объектом большим, чем просто летательный аппарат. Поскольку элементы разных контуров находятся в сложной взаимосвязи, то число возможных нестандартных ситуаций многократно превышает количество, предписанных руководствами.

Поведение человека behavior (B) в теории поля рассматривается как функция (F) переменных человека (P) и среды (E):

$$B = F(P, E) . \quad (4)$$

Состояние человека и среды в этой формуле не являются взаимно независимыми, а находятся в сложной взаимосвязи. Тогда эта взаимосвязь может быть выражена формулой:

$$I(P, E) = 0 . \quad (5)$$

Эту совокупность сосуществующих взаимосвязанных факторов и фактов называют полем. Здесь мы явно не выражаем одно через другое, т.к. это более общая формула. Совокупность (P, E) иначе называется жизненным пространством life space (LSp) и формула (1.11) принимает вид:

$$B = F(P, E) = F(LSp) . \quad (6)$$

Сама структура жизненного пространства может быть очень сложна, т.е. в свою очередь она может быть функцией от некоторых более простых элементов.

Экономика (эффективность) economics (efficiency) ( $\bar{E}$ ) и безопасность safety (S) управляются одними и теми же средствами и ресурсами, являются эквивалентными и функцией триады «person-machine-environment» (PME).

$$\bar{E}.controller = S.controller = F(P, M, E) . \quad (7)$$

Такая запись через точку и равенство обозначает, что элемент управления (.controller) в обоих ресурсах одинаков. В эргатических комплексах процессы полета можно описать как сложные функции взаимосвязей операционных контуров разного уровня и порядка.

$$\begin{aligned} \bar{E}.controller = S.controller = \\ = F\{(P_1, M_1, E_1)P_2, M_2, E_2], \dots, P_n, M_n, E_n\} , \quad \{8\} \end{aligned}$$

где сложность функции  $F$  увеличивается с увеличением числа контуров.

В данной формуле ресурсы ( $P_1, M_1$ ) первого контура относятся к реальной ситуации и процессу полета в настоящем времени. Ресурсы ( $P_2, M_2, E_2$ ) второго, последующих контуров и  $n$ -го контура, разнесенные по этапам полета во времени. Ресурсы ситуации case  $C_i$  есть набор ( $P_i, M_i, E_i$ ) процесса полета. Стохастическое изменение соотношений (величины связи) может оказаться сколь угодно. Мы имеем дело с функциями многих переменных, которые меняют не только свое значение, но и место во времени. Взаимозависимость параметров, входящих в функцию  $F$  можно выразить формулой:

$$C_i(P_1, M_1, E_1, \dots, P_n, M_n, E_n) = 0 . \quad (9)$$

В процессе полета связь компонент ( $P, M, E$ ) в каждом отдельном контуре меняется: в ситуациях  $C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n$ ; в произвольном порядке; в ситуации  $C_1$  имеет не смежный характер ( $M_1 - M_2$ ), а переходный типа ( $E_2 - P_2$ ). Число связей в теории поля демонстрирует уровень сложности описания транспортного комплекса и вместе с тем предоставляет возможность общей постановки задачи.

*Формальная постановка задачи проектирования ТК.*

Постановку задачи можно сформулировать следующим образом: определить предельное минимальное количество наиболее важных компонент ресурсов транспортного комплекса (ТК), признаваемых достаточными для адекватного описания предметной области и соответствующих экспериментальной и практической проверке.

Деятельность ( $A$ ) можно описать как множество действий, где элементарное действие  $a$  является элементом  $a \in A$  в комплексе или множестве условий ( $C$ ):  $a_1(C), a_2(C), \dots, a_n(C), \dots, n > 1$ . Элементарное условие ( $c$ ) является элементом множества условий  $c \in C$ . Деятельность упорядочивается множеством оценочных функций  $v \in V$  в виде множества результатов, где каждый результат  $r \in R$  наблюдается и оценивается

как позитивный или негативный. В случае различных результатов для данного комплекса условий  $r_i \in (C)$  справедливо утверждение о существовании неопределенности и риске деятельности. В действительности меняются не только условия, но и оценочные функции, и субъект оценки. Факт фиксирования случайных событий деятельности и их оценка осуществляется в эксперименте, опыте, испытании. Для множества деятельности  $A^j$  могут задаваться словесные определения событий с назначением числовых значений величины и знака [7].

Сформируем множество из минимального набора событий  $A = \{A_1, \dots, A_4\}$ , где количественная мера плана или стандарта деятельности сравнивается экспертом с фиксируемым результатом:  $A_1$  — результат соответствует плану  $\{0\}$ ;  $A_2$  — результат не соответствует плану  $\{-1, 1\}$ ;  $A_3$  — результат меньше (хуже) плана  $\{-1\}$ ;  $A_4$  — результат больше (лучше) плана  $\{1\}$ . Результаты множества событий  $A^j$  является упорядоченным множеством, поскольку формируется экспертами. Если события попарно несравнимы и связаны линейно, то они считаются тривиально упорядоченным множеством. Данное тривиальное множество  $A$  может усложняться обозначением отношений логического следования и многообразием шкал оценки.

Деятельность  $A^j$  фиксируется результатами (исходами) в виде двух множеств с нечетким разделением оценки субъектом их ценности или полезности: позитивных  $A_p^j$  и негативных  $A_n^j$  результатов. Эти результаты воспринимаются и оцениваются как события или факты, количественно и качественно соизмеряемые с планами деятельности. Многочисленные выборы в планировании структурируются классификациями. При составлении классификаций необходима система координат и шкал с взаимовязанными признаками для количественного исчисления. Признаки формулируются в терминах естественного языка, которые являются многозначными высказываниями, свидетельствующими о вероятности событий  $P(A_i) > 0$  в шкале  $[0, 1]$ : негативных и позитивных исходов деятельности. Функции принадлежности признаков и классов, разделяющих два множества  $A_p^j$  и  $A_n^j$ , являются субъективными вследствие того: кто оценивает, в какой ситуации оценивает, в каком состоянии оценивает события, факты и результаты тот или иной субъект, табл. 1.

Классификация — система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знаний и деятельности человека, используемая как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов [3]. Классификацию понимают как множество, структурированное по основанию — свойствам, признакам, сходству или подобию элементов

или подмножеств в соответствии с принятыми методами и правилами. Наиболее распространены рациональные подходы классифицирования: иерархические, фасетные. Иерархическую классификацию понимают как последовательное разделение множества на подчиненные по основанию на подмножества нижеследующих уровней. Фасетную классификацию понимают как разделение множества на списки (фасеты), не имеющие жесткой взаимосвязи и используемые для решения различных задач. Иррациональный подход классифицирования предполагает свободу субъекта в выборе при изучении предмета или объекта и построении классификаций, в зависимости от собственного видения. Таким образом, понимание классифицирования само требует структурирования. Например, ресурсы могут сводиться в группы или классы по происхождению.

Введем основные понятия для описания объектов деятельности  $[A]$  транспортного комплекса. Структурная декомпозиция ТК состоит из компонент в широком понимании редуцированного содержания: центрального процесса — полета  $[V]$ , условий среды деятельности  $[E]$ , экипажа  $[L]$  и технической компоненты  $[T]$ . Далее объекты деятельности описываются свойствами (величинами) — измеряемыми и оцениваемыми в ресурсных состояниях, параметрах, показателях и признаках. Задача дальнейшего описания заключается в поиске приемлемого механизма формализации, например, матричного представления. Свойство (величина) компоненты полета ТК может быть представлена матрицей:

$$V_i \equiv [v\chi\zeta ij],$$

где  $v$  — индекс компоненты,  $\chi$  — индекс состояния,  $\zeta$  — индекс параметра,  $i$  — индекс показателя,  $j$  — индекс признака.

Аналогично составляются матрицы других трех компонент деятельности. Тогда описание деятельности  $A_i$  транспортного комплекса будет представлено:

$$A_i \equiv [V_i; E_i; L_i; T_i],$$

или

$$A_i \equiv [v\chi\zeta ij]; [e\chi\zeta ij]; [l\chi\zeta ij]; [t\chi\zeta ij],$$

Таблица 1

**Структурирование деятельности**

Деятельность	$A^j$	
Классы	$A_p^j$	$A_n^j$
Признаки (s)	(s) $A_p^j$	(s) $A_n^j$
Факты (f)	(f) $A_p^j$	(f) $A_n^j$



или

$$A_i \equiv [a\chi\zeta ij].$$

Условие решения задачи может быть записано следующим образом:

$$[a\chi\zeta ij]_p \equiv \{f_m^F [a\chi\zeta ij]\} \rightarrow [a\chi\zeta ij]_e,$$

где  $[a\chi\zeta ij]_p$  – проектируемая характеристика ресурсов ТК;  $[a\chi\zeta ij]_e$  – реализованный ТК, адекватность которого подтверждена эксплуатацией и практикой;  $f_m^F$  – приемлемый механизм или математический аппарат измерения, исчисления и оценивания.


При необходимости и целесообразности четыре базовых компоненты ТК могут структурироваться, например:

$$V_{jc} \equiv [v_1\chi\zeta ij]_{captain}; \left\{ [v_2\chi\zeta ij]_{copilot} [v_i\chi\zeta ij]_{i-pilot} \right\},$$

где  $V_{jc}$  – экипаж полета flight crew и описания свойств

или величин деятельности капитана –  $[v_1\chi\zeta ij]_{captain}$ , второго

пилота  $[v_2\chi\zeta ij]_{copilot}$  и  $[v_i\chi\zeta ij]_{i-pilot}$   $i$ -го члена экипажа.

Формализация процедур оценки события или факта для соотнесения результата к тому или иному признаку и автоматизации процедур возможна эвристически, экспертно и эмпирически. Экспертные оценки – это суждения экспертов на основе знаний и последующие умозаключения об удовлетворении того или иного признака к множеству вероятных результатов. В эвристических процедурах определяется правдоподобие соотнесения с реальностью свершившейся деятельности. Эмпирическая модель собирает и описывает опыт множеств результатов деятельности для планирования. Дальнейшее структурирование и формализация определяется исследователем экспертным путем и составляет содержание задач разработки проекта транспортного комплекса. 

## Литература

1. Клир Джордж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М., 1990. – 544 с.
2. Левин К. Теория поля в социальных науках. – СПб., 2000. – 368 с.
3. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. – М., 2003. – 942 с.
4. Плотников Н.И. Ресурсы воздушного транспорта. – Новосибирск: НГАЭУ, 2003. – 345 с.
5. Ткаченко В.Я., Перцев В.П. Сухопутный транспорт Сибири: формирование опорной сети железных и автомобильных дорог. – Новосибирск, 2003. – 312 с.
6. Ткаченко В.Я. и др. Оценка эффективности инвестиций в проекты транспортного строительства. – Новосибирск, 2004. – 334 с.
7. Хованов Н.В. Математические модели риска и неопределенности. – СПб, 1998. – 204 с.
8. Капе М. R. Air Transportation. – Iowa, USA. 1990, 500 p.