

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ АВИАПЕРЕВОЗОК

В настоящей статье под идентификацией понимаются процессы формулирования моделей исследуемых объектов. При этом с общих позиций идентификация связывается в большей степени с образованием ассоциаций и аналогией для более высоких ступеней обобщения и, в частности, при заданных признаках анализируемых образов исследуемых объектов – с теорией абстрагирования, обобщения, ассоциаций и аналогий, непосредственно пересекающихся с эвристикой. В этой общей постановке проблема идентификации сложных авиационных комплексов (объектов) связана с двумя сторонами исследуемых объектов – со структурой и функциональной идентификацией.

Проблемы структурной идентификации связаны с отражением структурных свойств изучаемых объектов. К этим проблемам относится задание структурных образующих, их классификация, унификация и типизация, образование наборов стандартных (типовых) образующих. Идентификация структур требует решения задач целесообразного расчленения (укрупнения) блоков объекта в соответствии с целью идентификации, изучения и обобщения прошлого опыта о связях и взаимодействиях между блоками, об относительной значимости этих связей и блоков, их содержательной интерпретации и ценности, о возможностях пренебрежения теми или иными структурными свойствами в процессе идентификации и т.д. Тесная связь процесса идентификации с содержательными, неформальными, эвристическими умозаключениями особенно отчетливо проявляется на первых этапах структурного анализа сложных объектов, проводимого в условиях неопределенности, – условиях недостаточной информации по сравнению с заданной целью анализа.

Идентификация функциональных свойств или поведения объектов и его образующих обычно называется идентификацией (определением) характеристик – динамических или статических в зависимости от рассматриваемого режима (исходного или установившегося).

Идентификация характеристик тесно связана с идентификацией структуры объекта. Если характеристики или уравнения связи переменных объекта (в динамике или статике) определяются аналитически из физических или экономических свойств и общих законов, связывающих переменные, то набор уравнений, членов уравнений или их вид (структура) та

или иначе зависят от рассматриваемой структуры объекта. И наоборот, задание характеристик определенного вида накладывает соответствующие ограничения на варианты структурного представления объекта. [1]

В основу предлагаемого в статье подхода положена сетевая интерпретация [2]. В рамках этого подхода общая теория идентификации и ее приложения требуют своего развития и, в свою очередь, сетевые представления нуждаются в точной формулировке понятий и определений. В [3] было показано, что именно язык сетевых представлений является наиболее подходящей базой для построения теории анализа сложных производственных комплексов производства летательных аппаратов и их отдельных образующих.

Строгие определения рассматриваемых сетей [3] можно дать, опираясь на теорию множеств. На базе теории множеств строятся и основные теоремы и правила преобразования сетей.

Общее понятие сети можно определить следующим образом. Пусть дано множество X объектов $x \in X$, называемых узлами сети (блоки и состояния). Выделены также подмножества X_0 и X_i ($i = 1, 2, \dots$) множества X . Устанавливается закон Q , ставящий в соответствие каждой образующей $x \in X$ некоторое из подмножеств. Тем самым определяются связи между узлами (каждой парой образующих объекта x_i и x_j , где $x_i \in X_i$ или $x_j \in X_j$). Элементы $x_0 \in X_0$ называются полюсами сети.

Множество X и соответствия Q между $x \in X$ и $x_i \in X$ ($i = 0, 1, 2, \dots$) определяют сеть.

Такое понятие сети включает понятие графа, которое определяется аналогично сети для множества точек X (вершин графа) без выделения подмножества полюсов X_0 . Пара вершин x_i и x_j (точка x_i принадлежит подмножеству X_i или точка x_j принадлежит подмножеству X_j) определяют ребро графа. Если число вершин конечно, то граф называется конечным. Граф называется ориентированным (направленным), если упорядочена всякая пара вершин, задающих ребра.

Введенные точные определения сети и ее образующих позволяют успешно решать задачи структурного анализа объектов, существенно связанного с отражением структурных свойств изучаемых объектов, т.е. рассматриваемая сеть представляет структуру, состоящую из материальных образующих и различных каналов связи, обслуживающих материальные, энергетические, информационные, финансовые потоки, которые "оживляют" структуру исследуемого объекта. Для перехода к "живой" структуре введем наиболее общие характери-

стики объекта как организации на базе теоретико-множественных и тензорных представлений [1].

Пусть организация объекта характеризуется некоторым множеством образующих и отношений (связей) между образующими, например множеством сетей.

Будем называть множество X , характеризующее организацию некоторого объекта, организацией X этого объекта.

Рассмотрим два объекта: объект A с организацией X и объект B с организацией Y . Назовем отображением организации X в организации Y такое соответствие, при котором каждой образующей $x \in X$ соответствует образующая $y \in Y$. Если образующей x соответствует образующая y , то говорят, что x есть прообраз образующей y , а y — образ образующей x . При отображении какие-то образующие y могут не иметь прообразов, а другие иметь несколько и даже бесконечно много прообразов. Такое соотношение является гомоморфизмом. При взаимнооднозначном соответствии объекты изоморфны.

Информация, содержащаяся в объекте D относительно объекта A , или отображение организации X в организации Y определяется подмножеством $Y' \subset Y$, участвующим в отображении X в Y , изоморфным подмножеству $X' \subset X$, восстанавливаемому из Y' с помощью правил отображения X в Y . Иными словами, информация, содержащаяся в одной организации относительно другой, определяется любой изоморфной частью обеих организаций в соответствии с выбранными правилами изоморфного преобразования. Гомоморфное преобразование f_1 , переводящее прообразы X в образы Y' , соответствует изоморфному преобразованию f_2 , устанавливающему соответствие между Y' и X' , содержащими одинаковое количество информации.

Информация требует n -мерной характеристики. Это n -мерный тензор в выбранной системе координат или множество, сопоставляемое с некоторым базисным множеством.

Чтобы полностью описать информацию, можно поступить следующим образом. Зададим некоторое множество X — список свойств $x_i \in X$ ($i=1, 2, \dots$), которыми может обладать информация. Будем отмечать наличие свойства у данного сообщения — единицей, а отсутствие — нулем. Тогда совокупность нулей и единиц Y , упорядоченная в соответствии с элементами множества X , будет исчерпывающим кодом данного сообщения (если множество X учитывает все возможные характеристики сообщения).

Для того, чтобы размерность такого n -мерного кода была конечной и достаточно малой, необходимо ограничиться каким-то классом сообщений и их основными, наиболее характерными свойствами.

Запись самих же свойств, по отношению к которым определяется информация, также может нуждаться в пояснении. Тогда придется определить элементы множества X по отношению к новому базисному множеству X' и т.д. Отсюда становятся понятными те трудности, которые возникают при определении содержания, смысла информации, и относительность этих характеристик.

Таким образом, строго говоря, для того, чтобы математически представить полную информацию об объекте (n -мерный код, представленный n -матрицей), необходимо показать все его свойства во всех возможных системах координат. Это означает, что полное математическое задание реального объекта возможно лишь очень большим числом n -мерных матриц. В действительности при решении множества задач анализа производственного комплекса выбирается лишь одна из них в качестве базовой, что связано с определением этого объекта в одной частной системе координат частной n -матрицей. После этого задаются все оси этой частной системы координат, а также определяются другие системы координат для оставшихся задач и находится формула нахождения различных n -матриц в этих системах координат.

Чисто теоретический путь получения математического описания сложного авиационного комплекса эксплуатации воздушных судов наиболее трудоемок. Теоретическое исследование такого объекта начинается с привлечения общих законов, справедливых для данной прикладной области. Эти законы должны отражать опыт, накопленный ранее для других систем.

Непосредственное применение общих законов носит индивидуальный характер. Однако если исследователю более знакома одна из областей физических явлений, например электрические системы, то этот опыт может быть использован при изучении организационных систем производства. Ряд регулярных приемов такого подхода опирается на аналогию общих законов, изучаемых теорией подобия.

Теория подобия основана на трех теоремах.

Прямая теорема (Ньютона-Бертрана): если явления подобны, то они имеют одинаковые критерии подобия.

Подобными называются такие явления, которые описываются уравнениями (например, $F = (x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ и $F' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n) = 0$), инвариантными по отношению к преобразованию переменных вида $x'_i = \alpha_i x_i$, т.е. при такой замене переменных уравнения остаются идентичными:

$$F'(\alpha_1 x_1, \alpha_2 x_2, \dots, \alpha_n x_n) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (1)$$

При этом предполагается и инвариантность условий однозначности, т.е. дополнительных соотношений, которые необходимо добавить к уравнению, чтобы однозначно выделить его конкретное решение.

Критериями, или инвариантами подобия (Π_i), называются степенные комплексы от констант α_i , которые можно получить приведением уравнения к однородному и заменой каждого члена уравнения (степенного комплекса от x_i) эквивалентным степенным комплексом из α_i , не обращая внимание на знаки дифференцирования и интегрирования (способ интегральных аналогов). Если уравнения заданы, то данное определение позволяет просто найти критерии подобия.

Π -теорема (Федермана-Букингема): для явления, зависящего от n физических величин, среди которых r величин являются основными в абсолютной системе единиц, а остальные $q = n - r$ являются производными величинами, можно образовать q независимых критериев подобия. (Абсолютными называются такие системы единиц, которые среди основных содержат единицы массы, длины и времени).

Π -теорема, помимо установления количества критериев подобия, указывает иной путь их получения, не связанный с наличием уравнения, описывающего явления. Этот путь называется анализом размерностей.

Определенные из анализа размерностей критерии подобия могут быть использованы для получения уравнений. Такой анализ является одним из способов получения математического описания. Если для определения уравнения используется метод физического моделирования, то полученные критерии подобия могут быть использованы для построения подобной моделирующей системы. Последнее положение отражается третьей теоремой подобия.

Обратная теорема (Кирпичева): для подобия явлений необходимо и достаточно совпадение уравнений, описывающих явления, подобие условий однозначности и численное равенство критериев, полученных из условий однозначности.

Помимо основных теорем при анализе сложных систем, к которым несомненно относятся авиакомпании как производители услуг по авиаперевозкам, применяются принципы В.А. Вепикова:

1. Сложные системы, составленные из нескольких систем, соответственно подобных в отдельности, подобны и в целом, если подобны граничные условия отдельных систем.

2. Условия подобия, справедливые для линейных систем с постоянными параметрами, можно распространить и на системы с переменными параметрами при дополнительном условии – подобии функций времени, описывающих законы изменения параметров.

3. Условия подобия, справедливые для линейных систем, можно распространить на нелинейные системы при дополнительном условии – подобии функций переменных величин, описывающих законы изменения нелинейных параметров.

4. Условия подобия, справедливые для однородных систем, могут быть распространены и на неоднородные системы при условии подобия соответствующих неоднородностей.

Сущность метода анализа размерностей состоит в том, что для получения необходимых математических соотношений, описывающих данную физическую, экономическую или организационную системы, используются общие физические законы, которые нашли отражение в системе единиц, установленной для соответствующих физических явлений.

Отправным пунктом анализа является выбор величин, определяющих данную систему. От полноты учета всех определяющих факторов зависит качество полученной модели. Принятая гипотеза о наборе существенных переменных уточняется последующим экспериментом на модели или оригинале.

Таблица 1

Производственная система	Электрическая система
Ресурс, необходимый для осуществления авиаперевозок продукции x_a	e – напряжение в контуре
Входящий поток (материальный, энергетический, информационный, финансовый), обеспечивающий возможность авиаперевозки груза u_a	i – ток контура
Коэффициент пропорциональности, показывающий количество ресурса, необходимого для перевозки одного вида грузов	r – сопротивление контура
Перевозки грузов в технологической цепи	E – напряжение на узловой паре
Входящий поток заявок в технологическую цепь	I – воздействующий ток
Коэффициент пропорциональности, показывающий количество перевозок	Y – проводимость цепи
Коэффициент пропорциональности, показывающий взаимодействие между потоками заявок на перевозку грузов	L – индуктивность цепи
Коэффициент пропорциональности между движением заявок	C – емкость
Комплексный коэффициент пропорциональности	Z – полное сопротивление

В связи с трудоемкостью и недостатками анализа размерностей часто более эффективным способом является метод динамических аналогий, который использует аналогию сходственных величин физических, экономических и организационных систем, представленную в таблице 1.

На основе динамических аналогий возможно получить общий вид уравнения, описывающего систему, следующим приемом. Мысленно расчленив физическую систему – авиа-

онный комплекс авиане перевозок (АКАП) – на ряд элементов, которые соответствуют участкам системы, обладающим инерционностью, сопротивлением, емкостью и т.д., заменяем каждую компоненту сети АКАП соответствующим членом правого столбца таблицы 1. При этом получим эквивалентную электрическую сеть, в которой присутствуют одновременно материальная сеть, определяемая тензором полной проводимости Z или обратным тензором полного сопротивления $1/Z$, и электрические величины e, i, E, I , накладываемые на топологическую структуру АКАП, представляемого этой сетью. Обе структуры присутствуют одновременно и образуют сеть электромагнитных величин, которые способны отображать динамику поведения этого комплекса.

Наложение электромагнитных величин на сеть топологически эквивалентно наложению цепей на ячейки [2], при этом будем использовать аналоги сетевых понятий в топологии данных в номенклатуре Такера, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Сетевые понятия	Топологические понятия	Электрические параметры
Сеть	Одномерный комплекс	$J = I + I$ – токи сети
Подсеть	Подкомплекс	Токи $(I; i)$ – компонент сети и узлов
Компонент	1 – ячейка (1 – цепь)	Ток, входящий в узел I
Узел	0 – ячейка (0 – цепь)	Абсолютный потенциал E
Контур	1 – цепь	Контурный ток i

Введенные выше понятия и определения позволяют перейти к установлению уравнения движения любой АКАП. При этом на первом этапе вопрос о том, какие параметры технологической цепи, интерпретируемой в рамках электрической цепи, известны и какие не известны, не имеет значения. На этом этапе важно решить вопрос, какие величины можно считать постоянными, а какие – переменными. После того, как уравнения движения установлены, можно ставить вопрос об известных и неизвестных величинах.

При установлении уравнений движения, представляющих поведение технологической сети или ее образующих, как электрической эквивалентной модели, переменными могут считаться два различных множества величин:

- токи i , протекающие в контурах, моделирующих отдельные образующие (подсети, компоненты и т.п.);
 - разность потенциалов E , возникающих на отдельных узловых парах или ветвях цепи.
- Использование понятия узловая пара [2], которое позволяет выбирать E между любыми двумя точками сети (цепи) в качестве переменных, обеспечивает большую гибкость анализа.

Использование постулата второго обобщения [2] и введенных понятий и определений [3] позволяет утверждать, что если образующие АКАП, представленных сетью, и их характеристики e, i, Z, Y известны для одной частной системы координат, т.е. определены в рамках конкретной авиакомпании, то для любой другой системы координат того же типа характеристики образующих и сети в целом могут быть определены с помощью тензора преобразования S , определяемого совокупностью матриц преобразования, каждая из которых определяет с помощью 2-матрицы $S = S_{\alpha}^{\alpha}$ частную систему координат.

Уравнения поведения сети технологического комплекса, записанные в терминах n -матриц с фиксированными индексами, закрепленными по сторонам n -матриц, имеют одинаковый вид для всех систем данного типа. При этом следует заметить, что технологический комплекс авиаперевозок может быть задан в любой частной системе, но при этом необходимо, чтобы уравнения поведения в терминах n -матриц были известны по крайней мере для стартовой частной системы и связанной с ней системы координат, и в этой же системе известны все характеристики (e, i, E, I, Z) образующих этого комплекса.

Для анализа уравнения движения большого числа производственных объектов, участвующих в осуществлении авиаперевозок, необходимо выделить одну частную систему и связанную с ней систему координат. При этом очень важно, чтобы в этой системе легко решались следующие вопросы:

- определение характеристик различных объектов в интерпретации производственных объектов электрической сетью, это e, i, E, I, Z ;
- установление тензоров преобразования S_{α}^{α} , показывающих отличие частной системы и связанной с ней системы координат, от любой другой системы и связанной с ней системы координат;
- определение методов вычисления параметров характеристик новых объектов.

Определенная таким образом частная система и связанная с ней система координат, выделенная из большого числа подобных производственных систем и используемая в качестве начальной точки анализа, будет называться аналогично [2] примитивной системой.

Неизменные сетевые структуры, представляющие различные производственные объекты, имеют свои примитивные системы. При этом примитивные системы тем сложнее, чем больше деталей анализируемой системы должно быть рассмотрено. Использование примитивной системы в качестве начальной точки анализа диктуется соображениями, определенными выше.

Подводя итоги введения понятия примитивной системы и ее использования в качестве начальной точки для установления уравнений одной или нескольких новых производственных систем, можно констатировать, что во всех случаях требуется одна и та же процедура, которая включает следующие этапы:

- установление тензора преобразования C ;
- вычисление новых характеристик и параметров производственных объектов с помощью формулы преобразования;
- сохранение неизменной формы уравнений движения, полученных для обобщенной системы;
- преобразование инвариантного уравнения к виду, дающему требуемый результат;
- решение полученного уравнения относительно неизвестных.

Для идентификации производственных объектов и их образующих в рамках представления их в виде электрической сети будут использованы три способа рассмотрения:

- как совокупность контуров, когда переменными являются токи i , текущие в контурах и моделирующие потоки заявок на авиаперевозки;
- при анализе такой сети сначала устанавливается уравнение напряжения:

$$e = zI, \quad (2)$$

где переменными являются токи i , при этом число обычных уравнений равно числу контуров n , как следствие, числу образующих АКАП;

- как совокупность узловых пар, когда переменными считаются разности потенциалов E , возникающие на узловых парах и модулирующие перевозки, произведенных в рамках образующей или их комбинации, при анализе такой сети сначала устанавливается уравнение тока:

$$I = YE, \quad (3)$$

где переменными являются разности потенциалов E , при этом число уравнений равно числу узловых пар n , как следствие, числу образующих или их комбинаций АКАП;

- при анализе сети, представленной в наиболее общем случае, как совокупность контуров и узловых пар, где переменными являются и токи i , текущие в контурах, сначала устанавливается либо уравнение напряжения

$$E + I = z(i + I), \quad (4)$$

либо уравнение тока

$$i + I = Y(E + e), \quad (5)$$

где переменными являются i и E , при этом число уравнений точно определено и равно сумме числа контуров и узловых пар.

Выбор одного из типов описания поведения сети связан с конкретным объектом авиакомпании, при этом рассматривается реальная картина воздействующих известных величин и величины отклика, которые необходимо найти, чтобы ответить на поставленные вопросы. Сети производственных объектов авиакомпании содержат контуры, и узловые пары, и каждая из них имеет столько степеней свободы, сколько образующих имются в исходной сети. В этом случае общее уравнение напряжения имеет вид (4) и содержит пять понятий, введенных выше, т. е. в сети общего вида появляются четыре различных электрических понятия e , i , E , I , которые участвуют в анализе производственного объекта или подсистемы авиакомпании. При этом число переменных и неизвестных величин не обязательно равны друг другу. В то же время число уравнений, как правило, не равно числу переменных, что объясняется разнообразием возможных операций с множеством уравнений. Тем не менее, сначала рассматриваются полные системы, т. е. предполагается, что число неизвестных то же, что и число уравнений, и это ведет к простейшим операциям над уравнениями.

Таким образом, при идентификации процессов, протекающих в различных производственных объектах и их образующих, имеющих различную природу, можно использовать физические, а также и структурные аналогии между их понятиями и величинами. Существование аналогий позволяет моделировать одни системы с помощью других систем.

Для обсуждения вопросов идентификации управления в производственных комплексах введем следующие понятия и определения.

Определение 1. Управляемая система в АКЛП – система, в которой желаемые изменения вызываются другой системой.

Определение 2. Управляющая система в АКЛП – система, воздействие которой приводит к желаемому изменению в другой системе.

Определение 3. Цепь управления в АКЛП в ее образующих есть система, через которую управляющая подсистема производственного комплекса или образующей воздействует на управляемую подсистему этого комплекса или образующей.

Определение 4. Контур управления в АКЛП или образующей – контур с обратной связью, состоящий из управляющей, управляемой систем и цепей управления.

Определение 5. Процесс управления АКЛП или образующей – процесс, складывающийся из явлений в контуре управления.

В контуре управления с определенными функциями его образующих процесс управления есть последовательность изменений на выходе управляемой системы, изменение на входе управляющей системы, изменение на входе управляемой системы, изменение на выходе управляемой системы и т.д.

Одним из основных вопросов, возникающих при анализе систем управления в АКАП, является оценка влияния цепи управления на процесс управления и от чего это влияние зависит. В общем виде цепь управления состоит из источника воздействия, приемника воздействия и канала связи, по которому передаются сообщения. Дадим определения этих понятий.

Определение 6. Источник воздействия – система, воздействующая на другую систему контура управления.

Определение 7. Приемник воздействия – система, на которую воздействует другая система контура управления.

Рассмотрим в рамках точных формулировок, как происходит передача сообщений от источника (X) к приемнику (Y).

Система Y обладает некоторым числом состояний. При каждом отдельном сообщении (символ x_i , переданном источником X и поступившем на вход приемника Y), принимающая система переходит в некоторое состояние y_i . Это соответствие $x_i \rightarrow y_i$ определим как "взаимно однозначное отображение", а сообщение определим как физическое состояние, определенным образом отличающееся от других физических состояний в цепи управления. Для описания произвольного сообщения в цепи необходима идентифицирующая информация.

Таким образом, введенные понятия и определения разработаны для нужд анализа и синтеза АКАП и их образующих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коптев А.И., Корочнев Г.И. Тензорная методология в теории представлений организационно-технических систем // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – Самара, 2002. – № 1. – С. 20-25.
2. Крон Г. Тензорный анализ сетей. Пер. с англ./ Под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова. – М.: Сов. радио, 1978.
3. Корочнев Г.И. Топологические и тензорные методы описания производства летательных аппаратов // Ж. "Полет". – М.: Издательство "Машиностроение", 2003. – № 4.