

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МЕТОДАМ ОПИСАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В связи с бурным развитием ЭВМ и их программного обеспечения математические методы все шире используются для представления, анализа и синтеза сложных систем авиаперевозок. Особенность подобных систем заключается в том, что значительная часть информации, необходимой для их математического описания, существует в форме представлений или пожеланий экспертов, т.е. людей, имеющих опыт общения с данной системой. В статье исследуются возможности, которые может внести метод рассуждений, базирующийся на таких разделах математики как "топология", "тензорный анализ", сохраняющих наглядное, геометрическое содержание, как системы точек, соединенных линиями.

С позиции геометрического подхода любая производственная система (ПС) может быть охарактеризована либо как сеть, либо как схема.

В первом случае исходной топологической структурой для методов представления является сетевая модель, т.е. логико-математическая модель комплекса технологических компонентов для выполнения взаимосвязанных работ и реализации процессов, представленных в виде ориентированного конечного графа, отображающего упорядоченность этих компонентов, работ, процессов при производстве [1].

Во втором случае исходной топологической структурой является сигнальный граф, представляющий схему производства авиаперевозок, включающую совокупность элементов (компонент) и целей связи, выполняющих в производстве основные или вспомогательные функции и разъясняющих основные принципы и последовательность работ, процессов при анализе технологической цепи, состоящей из различных служб, участков, лабораторий и т.п.

Рассмотрим математическое представление авиационных комплексов как геометрических объектов, представляющих некоторую сеть объединенных технологических компонент.

Изучение сетей предприятия таким образом, чтобы сформировать логический фундамент для познания сложных производственных структур технического обслуживания и ремонта (ТОиР), составные компоненты которых имеют более одного измерения, соединенные компонентами не сохраняется, распространение воздействий не мгновенное и т.п.

Предположим, что исследуемые комплексы ГОиР всегда можно представить как набор базовых технологических компонент, соединяемых между собой разрешенными способами в соответствии с процессами изготовления узлов, агрегатов и изделий в целом. Таким образом, объектом изучения будут ИС как таковые, рассматриваемые в рамках точного формализма, который будет использоваться в качестве концептуальной основы для анализа и синтеза этих систем. Исходными для вводимой концепции являются четыре принципа.

Во-первых, производственные системы ГОиР строятся из стандартных модулей – компонент технологического комплекса, называемых в дальнейшем образующими. Это неделимые элементы технологического комплекса, станки, сборочные стеллажи, производственные участки и т.п., которые в зависимости от этапа теоретического анализа могут быть представлены абстрактными символами, множествами, отношениями или функциями.

Во-вторых, задав образующие, вводят определенные правила, ограничивающие способы их соединения между собой. Эти правила связаны с технологическими процессами обслуживания и ремонта тех или иных изделий, и их выполнение приводит к типичным регулярностям в ИС.

В-третьих, представленные на базе формальных образующих регулярные конфигурации являются абстрактными сетями, описывающими ИС. Такое описание соответствует наблюдениям в идеальных условиях. Это описание будет настолько точным, насколько хорошо исследователь или заказчик знают ИС.

В-четвертых, для обеспечения реалистичности описания ИС в виде абстрактной сети следует рассмотреть процесс преобразования математических описаний в реальные с помощью специального механизма преобразований множества абстрактных символов в конкретные образующие сети.

Рассмотрим реализацию основной концепции формализации представлений образующих

Для математического представления базовых технологических компонент рассмотрим множество образующих, которое обозначим через A . символом для отдельной первичной компоненты будет служить a , $a \in A$

Компоненты образующие технологического комплекса – представляют собой структурные блоки этих комплексов и являются носителями информации.

Множество всех образующих A технологического комплекса состоит из непересекающихся классов образующих A^β , $A^\beta \subset A$, где β - общий индекс, индекс класса образующих. Го-

$$A = \bigcup A^\beta,$$

A^β - непересекающиеся классы.

Суть этого разбиения состоит в том, что образующие, сходные качественно, например, станки в технологическом комплексе, будут относиться к одному классу.

Как правило, образующие обладают определенными свойствами, которые могут быть двух типов

Во-первых, это признаки. Образующей ставится в соответствие признак p - $p(a)$, который может принимать определенные значения: либо целые, либо действительные числа, векторы, функции и т.д. Одной из составляющих признака служит индекс класса образующей β . В то же время он располагает и другими составляющими, представляющими более специфическую информацию.

Во-вторых, это связи, которые перечисляют входные и выходные узлы для возможных абстрактных и конкретных соединений, т.е. определенной образующей соответствует некоторое число возможных соединений $m(a)$, которые могут быть разделены на входные $m_{\text{ин}}(a)$ и выходные $m_{\text{от}}(a)$. Их сумма характеризует максимальное число соединений, входящих в образующую и выходящих из нее:

$$m(a) = m_{\text{ин}}(a) + m_{\text{от}}(a). \quad (1)$$

Каждому потенциально возможному соединению соответствует показатель связи α , характер которого существенно изменяется в зависимости от прикладной области. Множество связей образующей a , соответствующим образом перенумерованное, образует структуру связей образующей, которая не определяет значения показателей, поставленных в соответствие отдельным связям.

Для того, чтобы различать используемые образующие, в дополнение к свойствам образующей необходим идентификатор или ее имя.

Для наглядного представления о свойствах образующих будем пользоваться графическим формализмом (рис. 1).

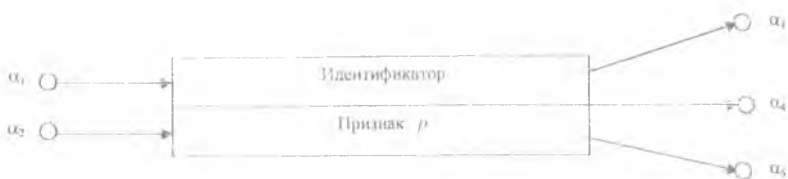


Рисунок 1. Графическое представление образующей

На этом рисунке входная характеристика равна 2 (соответствующие показатели связей α_1 и α_2), а выходная характеристика 3 (соответствующие показатели α_3 , α_4 , α_5). Тогда общая характеристика связей равна 5. При этом необходимо помнить, что связи являются частью собственно образующей.

При решении большинства прикладных задач анализа и синтеза ИС, как правило, пользуются некоторыми отображениями s множества образующих A в себя, которые не будут существенно влиять на информацию, содержащуюся в образующих. Эти преобразования представляют преобразования подобия. При этом отметим, что показатели связей преобразованной образующей sa могут отличаться от показателей связей исходной образующей a .

При анализе и синтезе технологических комплексов ИС предполагается, что образующие являются неделимыми объектами. Однако они обладают внутренней структурой и допускают разбиение на более мелкие единицы. На практике компоненты технологических комплексов, являющиеся на некотором уровне формального описания сложными объектами (сетями), состоящими из многих образующих, можем считать образующими в формализме более высокого уровня.

При решении задач необходимо определить конкретную образующую. Для этого образующая определяется на некоторой среде – носителе информации. Для конкретных образующих обычной является ситуация, когда образующая определена применительно к некоторой среде X . Опорное пространство X для различных этапов анализа и синтеза может быть практически любым, и рассматриваемом случае n -мерное пространство. В опорном пространстве могут быть заданы определенные преобразования $X \rightarrow X$, которые можно использовать для определения инвариантных свойств технологических комплексов.

Остановимся на наиболее общих определениях конкретных классов образующих, т.е. образующих, определенных в опорном пространстве X .

Определение 1. Если образующие являются элементами опорного пространства X , то они называются точечными образующими.

Определение 2. Если образующие являются подмножествами опорного пространства X , то они называются образующими-множествами.

Определение 3. Если образующие состоят из отображений опорного пространства X в сопоставленное пространство Y , то в этом случае говорят об образующих-соответствиях или образующих-функциях.

Источником множества различных образующих для построения ПС является последовательность образующих, сформированная в соответствии с технологией изготовления изделия, которая является некоторым правилом, обеспечивающим однозначно определенный результат. Простейшим случаем формирования множества образующих ПС является полное перечисление технологических компонент, при котором порядок определяется на основе некоторого признака, обеспечивающего заданный процесс изготовления детали, узла, агрегата и т.п.

ПС предусматривает структурное объединение компонент-образующих в технологические комплексы, которые образуют некоторые производственные структуры, называемые, в частности, участками, цехами, производствами, и в общем случае конфигурациями (сетями). Конфигурации или технологические подразделения определяются составом и структурой.

В дальнейшем будут рассматриваться технические структуры как простейшего типа, состоящие из одномерных членов, соединенных в определенных точках (точечные образующие), так и более сложные, в которых компоненты являются образующими-функциями

С геометрических позиций образующая может быть определена как нульмерный, одномерный, двумерный или трехмерный симплекс [2].

При анализе технологического процесса изготовления изделия необходимо определить класс регулярных или допустимых соединений образующих (конфигураций), который позволил бы однозначно в соответствии с заданной технологией создать изделие. В существующем производстве для изготовления изделия необходимо начать анализ с множества всех конфигураций и выделить те, которые удовлетворяют набору заданных правил или ограничений. Таким образом, в множестве существующих конфигураций будет выделена регулярная, обеспечивающая технологический процесс изготовления изделия.

При синтезе технологического комплекса для изготовления нового изделия, как правило, начинают с пустого множества и последовательно добавляют конфигурации, позволяющие реализовать изготовление деталей, узлов, агрегатов и изделия в целом, используя в качестве порождающего правила технологический процесс. Систему правил или ограничений

ний, определяющую регулярные конфигурации, обозначим через P . Множество регулярных конфигураций, получаемых с помощью множества P , будем обозначать $b(P)$. На практике A, P и $b(P)$ являются конечными.

Состав конечной конфигурации k будем определять как

$$k = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \quad (2)$$

где правая часть представляет собой просто некоторое множество, абсолютно неструктурированное.

Структура конфигураций представляет собой множество I соединений, существующих между всеми связями образующих, входящих в ее состав. Если переименовать связи как a_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$ (a_{ij}), то множество I можно задать с помощью n -матрицы, в которой единицы и нули указывают наличие или отсутствие соединения в определенных парах связей.

Структура, объединяющая множество k и множество соединений I , с геометрических позиций является геометрическим комплексом [2].

Обычно рассматривается множество всех допустимых множеств соединений I , которое будем называть типом соединения конфигураций $b(P)$ и обозначать через C . Дадим формальное определение: тип соединения C представляет собой объединение множеств C_n , где всякое множество C_n есть множество графов, заданных на n вершинах, т.е. C представляет собой объединение n матриц.

Ниже будут рассматриваться структуры, образующие которых принадлежат множеству A объектов ИС, один из них изображен на рисунке 2. У этих образующих $m_{in}(a) = m_{out}(a) = 1$



Рисунок 2. Стандартная образующая

Для характеристики структуры соединений образующих в отдельных случаях будем использовать представления последней в виде узла.

Приведем в качестве примеров несколько важнейших типов соединений.

C_0 означает свободное соединение, в котором все $I \in C_0$ - пустые. В этом случае никакие соединения не заданы и конфигурации не имеют структуры. Они представляют просто множество образующих, которое может быть, в свою очередь, задано единичной матрицей, называемой символом Кронекера и обозначаемой δ .

Если $m_{in}(a) \equiv m_{out}(a) \equiv 1$, то C означает соединения типа "линейный порядок". В этом случае у всех образующих выходная связь образующей a_i соединена с входной связью образующей a_{i+1} , $i = 1, 2, \dots, n-1$. Таким типом связей характеризуется многооперационная технологическая линия. C означает соединение типа "частичный порядок", если принимаются во внимание направления связей. В этом случае жестко определен порядок технологического процесса. Если $m_{in}(a) = 1$ и $m_{out}(a)$ произвольные, то C есть "дерево". Это означает, что образующие соединены в деревья, причем направленные связи исходят из выходных связей и входят во входные. Этот тип соединений характерен для технологических комплексов, обеспечивающих многих потребителей своей продукцией.

Используется тип соединений, для которых $L \in C$ означает, что соединения, относящиеся к любому типу конфигураций, входят в C . В этих случаях говорят о монотонном типе соединений, который учитывает свойство технологических операций, состоящее в том, что направление возможного изменения результата операций технологического процесса зависит только от направления изменения того, над чем эта операция производится.

Любой заданный тип соединения C может быть превращен в монотонный путем использования всех подкомбинаций исходной комбинации образующих. В этом случае получаем монотонное расширение заданного типа соединений C . Это означает, что, если некоторый тип соединения C допускает определенные комбинации образующих, в которых используются некоторые или все связи, то он должен допускать также и подкомбинации, получающиеся в результате разрыва отдельных связей и исключения отдельных конфигураций. Если некоторая образующая исключается из конфигурации, то автоматически исключаются и ее связи.

Таким образом, если конфигурации k заданы как $k = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ и структура $L = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} - 1$, то ее регулярность определяется взаимным соответствием соединений связей, которое, в свою очередь, определяется отношением согласования или отношения связи v . Это отношение в случае построения технологического комплекса принимает простую форму и в хорошо спроектированных комплексах просто является равенством. Подводя под вышеприведенным рассуждением, дадим определение регулярной конфигурации.

Конфигурация k , имеющая структуру $L \in C$, является регулярной в том и только в том случае, если $\alpha \alpha'$ выполняется для любого соединения $(\alpha \alpha') \in L$.

Часть связей конфигурации $k \in b(L')$ участвует в соединениях, предусмотренных структурой L . Эти связи являются внутренними связями конфигурации. Остальные связи конфигурации являются внешними связями.

Регулярные конфигурации технологических подразделений будут представляться графической сетью.

Для представления технологического подразделения, реализующего процесс изготовления деталей, узлов, агрегатов или изделий в целом, требуется кроме структуры конфигурации I порядка $\sum m(a_i)$ матрица инцидентности для образующих, которую можно вычислить на основе матрицы структуры конфигурации I , но не наоборот.

Множество регулярных конфигураций будем записывать в виде набора из четырех элементов:

$$b(P) = (A, C_{\alpha}^a, C, v) \quad (3)$$

Объединив C - структуру и отношение связи v в правило

$$P = (C, v), \quad (4)$$

получаем набор из трех элементов

$$b(P) = (A, C_{\alpha}^a, P) \quad (5)$$

Если рассматриваются только регулярные конфигурации заданной мощности n для пространства конфигурации, можно записать

$$b_n(P) \subset b(P) \quad (6)$$

В отдельных случаях некоторые регулярные конфигурации будем рассматривать в виде подконфигурации (подсетей). В этом случае их удобно рассматривать в качестве неделимых компонент, т.е. образующих с заданными фиксированными внутренними связями. Эти подконфигурации будем называть макрообразующими, которые в технологическом комплексе ТООР представляют специальные производства.

Топологические эквиваленты, используемые при представлении технологических подразделений производственных систем ТООР в виде сети, сведены в таблицу 1

Таблица 1

| | | |
|--------------|--------------------------|--|
| Сеть | Одномерный комплекс | $C^1(K) = \left\{ \sum m_k x_k^1 \right\}$ |
| Подсеть | Подкомплекс | $c^1 = m_1 x_1^1 + \dots + m_n x_n^1$ |
| Компонента | 1- ячейка | $x_1^1 = \alpha_0 \alpha_1$ |
| Узел | 0- ячейка | $\partial x_1^1 = \alpha_0 - \alpha_1$ |
| Контур | 1- цепь | $\partial c^1 = 0$ |
| Узловые пары | Граница 1-ячейки (связи) | $\partial c^1 = \sum_{k=1}^n m_k \partial x_k^1$ |

Здесь K – гомотопический комплекс; C^1 – одномерная цепь; x_1^1 – одномерный симплекс; ∂x_1^1 – граница компоненты; ∂c_1 – граница цепи; α_0, α_1 – узлы связи.

Рассмотрим роль конфигураций (сетей образующих) различных типов и работу с ними.

Пусть несколько образующих (технологические компоненты) с сосредоточенными параметрами и взаимодействием между некоторыми из них соединены в соответствии с технологическим процессом ТООР узлов, агрегатов и изделий в целом и имеет вид сети (рисунок 3).

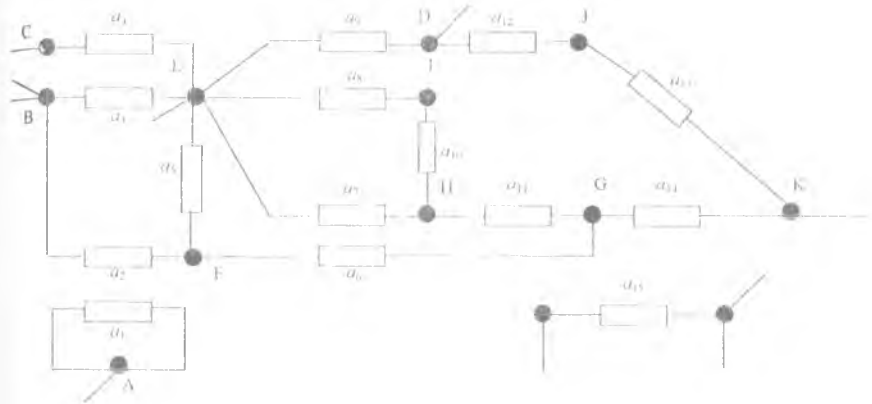


Рисунок 3 Сеть технологического комплекса

Наличие отводов от точек соединения технологических компонент (образующих $\alpha_1 \dots \alpha_{15}$) показывает, что сеть не является изолированной структурой, а в общем случае образует часть большей сети, из которой она выделена. Это означает, что отводы сами могут быть соединены с другими компонентами, которые не показаны как часть производственной системы ТООР, обеспечивающей рассматриваемый технологический комплекс.

Структурный анализ позволяет различать следующие компоненты сети:

- образующие $\alpha_1, \dots, \alpha_{15}$, которые соединяясь между собой образуют сеть – сложную техническую структуру ТООР изделий;
- два конца технологической компоненты, которыми она соединяется с другими компонентами, в соответствии с введенными выше определениями, будем называть узлами.

При этом, когда n компонент соединяются в сеть, $2n$ узлов, соединяясь между собой, сокращают их количество.

Компоненты (образующие) и их входные и выходные устройства (узлы) являются основной сетевой конфигурацией технологического комплекса. При этом всякая компонента технологического комплекса с общих позиций есть функция, т.е. операция, в рамках определения Λ . Черча [3], которая "будучи применена к чему-то как к аргументу, даст некоторую вещь в качестве значения функции для данного аргумента".

В качестве более общего многомерного анализа образующей будем использовать универсальный оператор с λ входами $x_1, x_2, \dots, x_\lambda$ и μ выходами y_1, y_2, \dots, y_μ . Область значений всякого x_i есть некоторое пространство X_i , область значений y_j — некоторое пространство Y_j . Как и прежде, считаем, что X_i и Y_j являются частями образующей.

Физическая природа рассматриваемых в работе образующих ограничена: их параметры не зависят от действия налагаемых плановых заданий. Подобное ограничение наложено и на форму математических выражений, описывающих эти образующие: они могут быть линейными операторами, интегралами, функциями времени и т.д., но не функциями плановых заданий.

Наложено ограничение и на физическую природу узлов соединения между образующими. Оно состоит в том, что узлы фиксированы для момента рассмотрения.

При анализе заданной сетевой конфигурации важно определить количество независимых сетей-компонент или подсетей, которые не имеют прямой физической связи друг с другом. Однако косвенные связи между подсетями могут существовать.

Рассмотрим более подробно аналитические составляющие технологической сети и их физическую интерпретацию.

При формализации структур организационно-технических систем (ОТС) или ее компонент рассматриваются две фундаментальные компоненты: простая компонента — объект ОТС и особая компонента сети ОТС — технологическая связь. Тогда производственная единица (производственный участок, обрабатывающий центр, рабочее место и т.п.) есть компонента ОТС, обладающая набором реальных элементов:

$$A = \{ A_1, A_2, \dots, A_n \}, \quad (7)$$

где A_i ($i = 1, n$) — реальные элементы компоненты ОТС.

Простые компоненты и технологические связи характерны для всего множества производственных структур. Поэтому можно построить уравнение единицы структуры ОТС на базе этих фундаментальных компонент и введенной геометризации проблем теории представлений, т.е. возможностью замены реальных компонент их геометрическими эквивалентами.

ами. Например, компоненту (связь) можно заменить одномерным пространством, ограниченными точками, с помощью которых они включаются в сеть. Технологическая сеть реальной компоненты или ОТС в общем случае – сложное пространство-структура, которое может быть представлено через команд-тензор [2], т.е. тензор, представляющий компоненту или ОТС, состоящий из тензоров, описывающих относительно законченные образования (участок, стенд и т.п.). Команд-тензор лежит в основе концепций команд-сети, где каждая компонента, представленная одним символом, – сложная сеть [4, 5].

Введенное сложное пространство-структура, состоящее из различных видов подпространств-структур, комбинаторная топология и тензорная методология рассматриваются как набор взаимно и однозначно самосогласованных математических формализмов, предназначенных для решения уравнений, определяющих связь между подпространствами-структурами-преобразованиями и компонентами. В качестве фундаментального уравнения используется зависимость между сильными компонентами сети (графа) $G = (A^0, F)$ объекта или ОТС, представляемыми порожденными подграфами

$$G' = A^0 \cup R(a_k^0) \cap Q(a_k^0),$$

где A^0 – множество точек, F – отображение множества A^0 в A^0 , $R(a_k^0)$ – достижимые множества точек A^0 , $a_k^0 \in A^0$, $Q(a_k^0)$ – контрдостижимое множество с конечными ориентированными простыми цепями $C_v = \sum_{v=1}^Y m_v a_v^1$, которые представляют систему координат:

$$U \{ A^0 \cup R(a_k^0) \cap Q(a_k^0) \cup \sum_{v=1}^Y m_v a_v^0 \}. \quad (8)$$

Предложенная зависимость, рассмотренная в разных подпространствах-структурах, описанных выше для представления структур производственных объектов и ОТС в целом, формирует систему уравнений:

$$U \{ A^{0(q)} \cup R(a_k^{0(q)}) \cap Q(a_k^{0(q)}) \cup \sum_{v=1}^Y m_v a_v^0 \}. \quad (9)$$

где q – индекс данного подпространства-структуры.

Для аналитического изучения технологических сетей рассмотрение двух физических образующих (компонент и узлов) недостаточно. Для анализа поведения сети необходимо ввести некоторые специфические комбинации образующих, т.е. соединения их для реализации технологических процессов производства деталей, узлов и агрегатов. Дадим определение комбинациям и их элементам.

Во-первых, для представления замкнутых технологических циклов в сети введем понятие замкнутой цепи, которые будем называть контурами (например для сети, представленной на рис. 3, ВЕВ или ВЕЛГГ). Для нахождения минимального числа контуров в сети каждая компонента должна войти по меньшей мере в один контур.

$$\rho_1 = n_0 \cdot N_0, \quad (10)$$

$$n_1 = \eta + \rho_1. \quad (11)$$

Тогда, обозначив n_1 - число компонент, n_0 - число узлов, N_0 - число независимых подсетей, η - число контуров сети, получим основные соотношения между ними. Введем основные соотношения, устанавливающие связь через перечисленные параметры составляющих сети:

Во-вторых, два любых узла, связанных с одной и той же независимой подсетью будут определены как "узловая пара" (например, В-Е, А-Р, В-Г и т.д.). При нахождении минимального числа узловых пар каждый узел должен быть включен по меньшей мере в одну узловую пару. Число узловых пар обозначим через ρ_1 .

В-третьих, для определения последовательности технологических операций, связанных с терминами "контур" и "узловая пара" введем понятие "направление". Следовательно, с каждым контуром и с каждой узловой парой связано понятие "ориентация".

Для того, чтобы начать анализ любой технологической сети, необходимо установить число контуров сети η и число пар ρ_1 .

В результате анализа введенных выше понятий получено, что иногда необходимо заменить понятия "контур" и "узловая пара" другой совокупностью понятий (им подобных), обеспечивающих другую физическую картину. Подобными понятиями являются "вставка" и "открытый контур".

Вставка, представляет такую часть сети, в которой C состоит из линейных упорядочений так, что регулярная конфигурация, включающая n образующих имеет вид, приведенный на рисунке 4.



Рисунок 4 - Цепь n образующих

Входные $m_{in}(a_i)$ и выходные $m_{out}(a_i)$ характеристики всех n образующих и всех конфигураций равны единице, а каждая из $2(n-1)$ внутренних связей должна удовлетворять отношению согласования и для того, чтобы конфигурация была допустимой.

Ветвь может содержать один компонент или несколько последовательных компонентов. Число ветвей может заменять соответствующее число контуров на протяжении всего анализа.

Открытый контур представляет любую технологическую цепь через компонент, начинающийся в одном узле узловой пары и заканчивающийся в другом узле. Цепь открытого контура включает также отводы от узловой пары. Открытый контур в анализе может заменять соответствующую узловую пару. На рисунке 3 открытый контур для узловой пары E-F состоит из компонентов a_7, a_{11}, a_6 или из компонентов $a_9, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_6$ или из одного компонента a_5 и т.п.

Таким образом, для анализа поведения технологического комплекса ТООР введены следующие понятия: собственно сеть и ее подсети; компоненты и узлы; контуры и узловые пары; ветви и открытые контуры.

В целом пространство, которое представляет технологические комплексы, может быть определено как совокупность образующих (точечные образующие), связанных структурой отношений. Роль связывающей точки структуры технологического комплекса растет и развивается в понятие "пространства сетей", т.е. физически это пространство-структура. Оно состоит из образующих сети, ветвей, открытых контуров, соединенных тем или иным способом. Это пространство существует только вдоль выделенных ветвей или открытых контуров, рассматриваемых отдельно. В свою очередь, ветви, контуры и их последовательности образуют в этом пространстве цепи, по которым распространяются материальные потоки.

Компоненты характеризуют материальную часть технологической цепи, ее подлежащую структуру, которая является носителем потока деталей, узлов, агрегатов и изделий в целом. Эта подлежащая структура существует, как указывалось выше, независимо от наличия или отсутствия материального потока.

Введенные выше понятия существенно связаны с поведением технологических цепей, выделенных в заданном пространстве, определяемом через сеть, т.е. реакций сети на воздействия потоков, характеризуемых конкретными величинами.

Величины, определяющие поведение технологической сети или отдельной цепи, бывают двух типов:

- воздействующие величины, которые возникают вне сетей или цепи,
- величины реакции сети или цепи на воздействующие величины.

Как воздействующие величины, так и величины реакции, могут быть источниками потоков деталей, узлов, агрегатов или в общем материальными потоками, т.е. теми и другими вместе. Для целей анализа поведения технологической сети или цепи предполагается, что:

- воздействующие величины, источник и поток возникают на технологических компонентах сети;
- величины реакции возникают на введенных аналитических элементах сети: на потоках вдоль технологических контуров или на узловых парах компонент.

Поскольку при ТОиД деталей, узлов, агрегатов имеется n реально воздействующих величин в виде источников потоков и только k потоков реакции на воздействующие потоки, то при выводе k уравнений n приложенных источников потоков заменяется на k источников материальных потоков вдоль контуров. Аналогично, если имеется n реально организованных потоков и только $n-k$ вторичных потоков, то при выводе $n-k$ уравнений n организованных потоков заменяется на $n-k$ потоков на узловых парах.

При установлении уравнений движений, представляющих поведение сети, переменными могут считаться два различных множества величин:

- потоки, протекающие в контурах;
- "разности потенциалов", возникающие на узловых парах.

Введение понятия "узловая пара", которое позволяет выбирать "разности потенциалов" между любыми двумя точками сети в качестве переменных, как известных, так и неизвестных, обеспечивая большую гибкость анализа, удобство приложений и полный параллелизм с контурными методами анализа.

Для упрощения анализа технологических сетей в большинстве случаев их нужно рассматривать как совокупность контуров и узловых пар, а не как совокупность или контуров, или узловых пар, т.е. технологические комплексы представляются ортогональной сетью.

Важно отметить, что уравнения движения, описывающие поведение сети, это выражение сложных взаимодействий внешних и внутренних источников потоков, связанных с параметрами компонент технологического комплекса. Следует также отметить, что операции с уравнениями движения сети технологического комплекса лишь изредка связаны с нахождением неизвестных величин. Основной целью таких операций является, как правило, установление некоторого соотношения между известными величинами, удовлетворяющими некоторому критерию, обеспечивающему требуемое поведение системы.

В [2] были сформулированы ряд общесистемных положений, которые устанавливают соответствие между поведением простой и сложной системы путем замены величин, характе-

ризующих один компонент, на n -матрицу, характеризующую множество компонентов сложной системы, и объединение n -матриц, описывающих различные физические понятия, присущие данной системе, в уравнении поведения всей системы.

Современные технологические комплексы ГОиР представляют собой набор многомерных пространств, соединенных вместе в единое целое и характеризующихся множеством величин, и требуют для своего описания нового подхода.

Таким подходом может быть организация множества величин, характеризующих отдельные пространства, в n -матрицу и одновременное введение понятий "преобразование", "инвариантность" и "группа". Это позволяет получить математическое представление технологического комплекса и использовать фундаментальные идеи тензорного анализа:

— в уравнениях тензорного анализа каждый математический символ соответствует физической или геометрической сущности (компонентам сети технологического комплекса);

— одному и тому же символу, представляющему компоненты сети технологического комплекса, соответствует не одна n -матрица, а большое количество n -матриц, каждая из которых имеет одну и ту же размерность, одно и то же число осей (ветвей), но отличается значениями элементов;

— представление "технологического компонента" в частной системе координат состоит из значений элементов n -матрицы и фиксированных индексов, закрепленных по сторонам этой n -матрицы.

— для математического описания технологического компонента или комплекса, представляющего некоторый компонент технологического комплекса (подсеть) выбирают и полностью задают одну n -матрицу, показывая значения всех ее элементов; задают частную систему координат, в которой определено значение всех элементов; определяют все возможные системы координат, в которых геометрический объект может представляться n -матрицей; указывают формулу преобразования, посредством которой можно рутинными преобразованиями найти все элементы n -матрицы данного геометрического объекта в любой системе координат;

— положение о том, что сеть есть набор ветвей, связанных в единое целое через тензор соединений, приводит к следующему фундаментальному выводу: при преобразованиях тензор соединения может быть интерпретирован как тензор преобразований, соединяющий различные подсети (технологические компоненты) в большую сеть (технологические комплексы), удовлетворяющую определенным требованиям;

-- две различные сети, представляющие различные реализации технологического комплекса и имеющие одни и те же ветви, рассматриваются как две различные системы координат одной и той же физической сущности и, как следствие, уравнение поведения одной сети имеет тот же вид, что и уравнение другой сети;

-- каждая отличная от стартовой система координат определяется с помощью 2-матрицы $C = C_{\alpha}^{\alpha}$, называемой "матрицей преобразования", полная совокупность матриц преобразования образует "тензор преобразования".

Таким образом, решающими утверждениями для представления технологических комплексов являются:

- тензор отражает объективную реальность;
- его компоненты преобразуются в соответствии со специальным правилом, когда изменяется система координат, определяемая элементами технологического комплекса. Это свойство показывает, что в какой-либо технической структуре производства ГОИР уравнения поведения наиболее удобно записывать в тензорной форме, поскольку тензорные свойства, которым соответствуют физические сущности, не появляются и не исчезают при преобразованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контев А.Н., Коротнев 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. Черч А. Введение в математическую логику. Пер. с англ. В.С. Чернявского. - М.: 1961. - Г. 1.
4. Кузин Л.Т., Кузнецов П.Г., Петров А.Б. Тензорный анализ сетей Г. Крона и его роль в проектировании систем //3 кн.: Г.Крон. Тензорный анализ сетей. - М.: Сов. радио, 1978. - С. 691-698.
5. Петров А.Б. Тензорная методология в теории систем. - М.: "Радио и связь", 1985.