

Б. Ж. Куатов, А. Н. Коптев, С. Ж. Куртаев, Ю. В. Мясникова

ЗАДАЧА СИНТЕЗА МОДЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

B. Zh. Kuvatov, A. N. Koptev, S. Zh. Kurtaev, Yu. V. Myasnikova

THE PROBLEM OF SYNTHESIS MODELS FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS IN THE MANUFACTURE OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF AIRCRAFTS

Аннотация. Актуальность и цели. С общих позиций сформулирована задача синтеза сети; представлены условия предпочтения из множества возможных решений задач проектирования и синтеза при построении моделей технологических процессов функционального контроля электротехнического оборудования на основе тензорного анализа и теории образов сетей объекта производства. **Материалы и методы.** Под задачей синтеза модели сети для контроля и диагностики электротехнического оборудования выбрана трехкомпонентная система, характеризующаяся актуальным состоянием; императивной моделью желаемого состояния этого предмета или моделью потребного будущего, а также условиями (ограничениями), которые должны быть выполнены в процессе перевода предмета задачи из его актуального состояния в требуемое. Границы допустимой области множества значений существенных свойств объекта определяются ресурсами, необходимыми для изготовления или использования объекта проектирования (ОП). **Результаты.** На языке логических методов анализа и синтеза схем, тензорном методе двойственных сетей доказано, что характерными особенностями объекта проектирования являются: во-первых, атомистичность структуры, обладающей различными математическими свойствами; во-вторых, характерна существенность отдельных связей на множестве введенных соединений; в-третьих, интерпретация объектов зависит от точки зрения наблюдателя, т.е. от того, каким образом он ее воспринимает; в-четвертых, должен быть точно определен характер соответствия между реальными и идеальными образами. **Выводы.** Показано, что при построении формализма образов и при изучении соответствующих структур необходимо пользоваться анализом регулярных структур в многочисленных конкретных ситуациях на базе теории образов и ее направлений, сформулированных У. Гренандером.

Ключевые слова: моделирование, синтез сети оборудования, структура объекта, задача проектирования, теория образов, тензорный анализ сетей.

Abstract. Background. The problem of network synthesis is formulated from a general point of view. Presents the conditions of preference from the set of possible solutions to design and synthesis problems when building models of technological processes of functional control of electrical equipment based on tensor analysis and the theory of images of networks of a production facility. **Materials and methods.** The three-component system, characterized by the current state, was chosen for the task of synthesizing the network model for monitoring and diagnosing electrical equipment; the imperative model of the desired state of this subject or the model of the required future, as well as the conditions (restrictions) that must be fulfilled in the process of transferring the subject of the task from its current state to the required one. The boundaries of the permissible region of the set of values of the intrinsic properties of an object are determined by the resources necessary for the manufacture or use of a design object (OP). **Results.** In the language of logical methods of analysis and synthesis of schemes, the tensor method of dual networks, it has been proved that the characteristic features of the design object are: firstly, the atomistic structure with various mathematical properties; secondly, the materiality of individual bonds on the set of introduced compounds is characteristic; thirdly, the interpretation of objects depends on the point of view of the observer, i.e. how he perceives it. Fourth, the nature of the correspondence between real and ideal images must be precisely defined. **Conclusions.** It has been shown that when building a formalism of images and studying relevant structures, it is necessary to use the analysis of regular structures in numerous specific situations based on the theory of images and its directions formulated by W. Grenander.

Keywords: modeling, network synthesis equipment, the structure of the object, the task of designing, theory of images, tensor analysis of networks.

Будем понимать под задачей синтеза модели сети для контроля и диагностики электротехнического оборудования (ЭТО) цель, данную в определенных условиях, и представим ее как трехкомпонентную систему

$$\langle D_a; D_{тр}^*; D_{усл} \rangle, \quad (1)$$

где D_a – некоторый предмет задачи в актуальном (текущем, исходном) состоянии; $D_{тр}^*$ – императивная (виртуальная) модель желаемого состояния этого предмета или модель потребного будущего; $D_{усл}$ – условия, ограничения, которые должны быть выполнены в процессе перевода предмета задачи из его актуального состояния в требуемое.

По отношению к задаче проектирования (ЗП) компоненты системы (1) интерпретируются следующим образом [1]:

D_a – заявка на ОП, представляющая потребности и мотивы, относящиеся к некоторому фрагменту действительности. Эту заявку в ЗП представляет целевая модель искомого объекта $M(O)_{ц}$;

$D_{тр}^*$ – продуктивная модель ОП $M(O)_{пр}$ – комплект технической документации для изготовления или использования объекта в производственных условиях, которая отвечает требованиям определенных стандартов (ЕСКД, ЕСТД или др.);

$D_{усл}$ – условия реализации задачи или ограничения на временные, трудовые, материальные ресурсы Q , выделяемые для решения данной ЗП.

Под ЗП любых объектов, в том числе сетей передачи информации, в дальнейшем понимается задача построения продуктивной модели объекта $M(O)_{пр}$, для которого определена целевая модель $M(O)_{ц}$ и установлены условия или ресурсы Q решения задачи, ЗП в обобщенной постановке может быть представлена кортежами

$$ЗП = \langle M(O)_{ц}, M(O)_{пр}, Q \rangle = \langle \langle FnM'(O), Z', Y', X', G \rangle, M(O)_{пр}, Q \rangle, \quad (2)$$

где компоненты Z', Y', X', G являются в общем случае векторами, имеющими свои размерности [2, 3].

Требования к функциональным свойствам ОП задаются в постановке ЗП в форме модели $FnM(O) \subseteq Y_n \times Z$. Требования к условиям функционирования ОП Z' задаются допустимыми областями множества возможных состояний среды (внешних Z_v или окрестностных Z_0 условий), а также продолжительностью функционирования Y''_n .

Требования к свойствам ОП помимо $FnM(O)$ ограничивают:

а) допустимую область множества возможных значений внешних (существенных и утилитарных) свойств ОП Y' для всех $z \in Z$;

б) допустимую область множества возможных значений внутренних (сущностных) свойств объекта X' , которые характеризуют принципы его построения действия и обуславливают обладание множеством внешних свойств Y , согласованных с $FnM(O)$.

Границы допустимой области множества значений сущностных свойств объекта X' часто определяются ресурсами, необходимыми для изготовления или использования ОП. В общем случае ограничения могут касаться ресурса какого-либо одного вида (материалоемкости интегральной или по конкретным классам материалов, трудоемкости, энергоемкости, фондоемкости и т.д.) или одновременно нескольких видов.

Условия решения ЗП задаются допустимой областью значений ресурсов Q , выделенных для использования в процессе проектирования объекта. В качестве таких ресурсов обычно рассматриваются продолжительность решения, общая трудоемкость, полная стоимость решения ЗП. При этом стоимость проектирования может выражаться не только в виде денежных расходов, но и в количестве дефицитных материалов, времени использования уникального оборудования и т.п.

Условия предпочтения в допустимой области множества возможных решений ЗП определяются следующим [4–7].

1. Критерием эффективности или совершенства (КС), функцией ценности или качества объектов G , которые обобщенно характеризуют ценность данного ОП по ряду особо выделяемых его

внешних и/или внутренних свойств, а также параметров функционирования (Y'', X'', Z''). Последние признаются важнейшими по отношению к основной цели создания ОП, поэтому требования к ним представляется невозможным или нецелесообразным формулировать только в виде ограничений. В общем случае

$$G = Y'' \times X'' \times Z'' \quad (3)$$

Предпочтение должно быть отдано проектному решению с таким набором значений внешних $\bar{y} \in Y$ и внутренних $\bar{x} \in X$ свойств, реализуемых при $\bar{z} \in Z$, что

$$\bar{G}(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}) > G(X, Y, Z) \quad (4)$$

для всех допустимых $\bar{y} \in Y, \bar{x} \in X, \bar{z} \in Z$.

2. Оценочной функцией M , соотносящей внешние и внутренние свойства ОП при $\bar{z} \in Z$ с затратами (ресурсами) Q , необходимыми для реализации процесса проектирования. В общем случае

$$M : (X \times Y \times Z) \rightarrow Q, \quad (5)$$

и оценочная функция M характеризует затраты, определяемые в виде различных ресурсов (временных, трудовых, материальных и т. п.), на создание объекта с данным набором свойств. Предпочтение должно быть отдано проектному решению с таким набором внешних $\bar{y} \in Y$ и внутренних $\bar{x} \in X$ свойств, реализуемых при $\bar{z} \in Z$, что

$$\bar{M}(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}) > M(X, Y, Z) \quad (6)$$

для всех допустимых $\bar{y} \in Y, \bar{x} \in X, \bar{z} \in Z$.

Таким образом, все многообразие глобальных целевых ориентации ЗП любых ОП сводится к двум:

- а) максимизировать эффективность G проектируемого объекта (допустимые затраты на процесс проектирования Q задаются в виде ограничений);
- б) минимизировать затраты Q (временные, трудовые, материальные), необходимые для реализации процесса проектирования (требования к внешним Y , внутренним X свойствам и условиям функционирования Z ОП задаются в виде ограничений).

Для построения виртуальной сети контроля использован особый подход к процессу решения частной ЗП, который получил наименование выбора представлений для решения задачи. Этот подход предполагает существование упорядоченного и относительно устойчивого отношения предпочтения между тем, что понимается под типами представлений для решения задач, с одной стороны, и классами (наборами) методов решения задач, с другой [8].

Все множество представлений для решения задач инженерного проектирования может быть отнесено к трем основным типам: выбору из перечислений, определению в пространстве состояний, сведению задачи к подзадачам.

Использование представлений на основе выбора из перечислений возможно при наличии множества готовых, ранее спроектированных объектов (систем, устройств, компонентов, элементов схем, блоки из них и т.п.), описания которых в форме модели, отражающей систему или компоненту как некоторую целостность, или функциональной модели, характеризующей их как неделимую целостность, но в отличие от предыдущей только в аспекте определенных его отношений со средой или с другими объектами (например, участия в процессах связывания) доступны проектировщикам [9].

Решение ЗП при использовании представления по типу выбора из перечислений реализуется по следующей схеме:

- поиск для построения перечислений в виде упорядоченных множеств перечисленных выше моделей, готовых проектных решений, соответствующих по уровню сущности и основным свойствам назначения тем объектам, которые составляют предмет ЗП;
- выделение из множества потенциально возможных решений первой или второй моделей подмножества допустимых и целесообразных решений;
- выбор одного из ранее существовавших, готовых объектов в качестве наиболее предпочтительного решения данной ЗП.

Тот факт, что существующие объекты представляют собой решения других, ранее поставленных ЗП с иными условиями реализации КС, ограничениями и т.п., позволяет предположить, что использованию представлений на основе выбора из перечислений должно отдаваться предпочтение во всех случаях, когда требования к свойствам ОП задаются в виде ограничений, а целевая ориентация ЗП направлена на минимизацию временных, трудовых, материальных ресурсов, реализуемых в процессе создания нового, в частности, сети. Представления на основе выбора из перечислений широко используются при решении ЗП объектов низких уровней сущности: электрических схем проводов, деталей схем, микросхем небольшого уровня интеграции [9].

Использование представлений на основе определения в пространстве состояний предполагает наличие как возможность построения полной структурно-функциональной модели объектов того класса, к которому может быть отнесен конкретный объект данной ЗП, а также существование готовых ранее спроектированных компонентов и (или) элементов, из которых данный ОП может быть синтезирован. Эта модель отображает внутренние свойства X объекта на внешние Y , т.е. состав элементов объекта, состав и схему его внутренних связей, а также свойства этих элементов и связей на внешние свойства объекта. Она характеризует пространство возможных состояний объектов определенного класса в границах своей применимости для всех допускаемых данной моделью значений X и Y . Решение ЗП при использовании представления на основе определения в пространстве состояний заключается в формировании модели проектируемого объекта, что сводится к выбору модели значений ряда параметров, наилучших в смысле выполнения условий ЗП – продвижения в пространстве допустимых значений X и Y в ней.

Решение ЗП при использовании представлений по типу определения в пространстве состояний реализуется по следующей схеме:

- заимствование или построение множества структурно-функциональных моделей, потенциально пригодных для формирования частных моделей, отображающих отдельные структуры конкретного объекта, составляющего предмет данной ЗП;

- выбор или синтез полной, отображающей все выделяемые структуры модели, наилучшей в смысле конкретного объекта, условий реализации КС и ограничений данной ЗП; функционального построения частной структурной модели проектируемого объекта, т.е. параметризации полной, наилучшей в смысле КС объекта и условий реализации данной конкретной ЗП.

Тот факт, что из множества полных моделей объектов каждого данного класса может быть отобрана или построена, а затем интерпретирована (параметризована) именно та модель, которая в наибольшей степени соответствует условиям реализации любой данной ЗП, а также особенностям КС проектируемого объекта, позволяет предположить, что использованию представлений на основе определения в пространстве состояний должно отдаваться предпочтение во всех случаях, когда целевая ориентация ЗП направлена на достижение возможно более высокого значения КС проектируемого объекта [10].

Использование представлений на основе сведения задачи к подзадачам предполагает разбиение задачи на совокупность подзадач, решения которых приводят к выполнению исходной задачи. Процесс этот применяют рекурсивно для порождения подзадач, подподзадач и т.д. до тех пор, пока, наконец, не получится множество тривиальных задач, решения которых известны. Использование представлений на основе декомпозиции исходной задачи реализует принцип «редукция сложности» и в применении к ЗП эквивалентно разбиению проектируемого объекта на подобъекты более низкого уровня сущности и установлению связи между этими подобъектами. Разбиение проектируемого объекта – неизвестного целого – на подобъекты, которые в общем случае могут иметь различную степень определенности, также означает не что иное, как построение его структурно-функциональной модели, но для случаев, когда ряд выделяемых подобъектов (компонентов, элементов) не существует и они подлежат разработке в границах соответствующих подзадач.

Решение ЗП при использовании представлений по типу сведения задачи к подзадачам реализуется по следующей схеме:

- заимствование или построение множества моделей «модели описания», потенциально пригодных для формирования интерпретаторов конкретного объекта, составляющего предмет данной ЗП (формирование множества возможных вариантов декомпозиции объекта проектирования на подобъекты);

- выбор моделей «модели описания», наилучшей в смысле возможности построения соответствующего объекта данной ЗП с учетом особенностей условий реализации задачи, КС и ограничений;
- построение «модели-интерпретатора» проектируемого объекта.

Представления на основе сведения задачи к подзадачам используются во всех случаях, когда в силу высоких уровней сущности или сложности проектируемых объектов или из-за отсутствия необходимых методов и средств ЗП не может быть решена на основе других типов представлений. Они используются и в тех случаях, когда целевая ориентация ЗП предполагает максимизацию степени использования готовых проектных решений (преимущественности) на соподчиненных уровнях сущности проектируемого объекта.

Важно отметить тот факт, что в общем случае на разных стадиях решения каждой конкретной ЗП могут использоваться различные типы представлений: на высшем уровне решение по типу сведения задачи к подзадачам; на уровне составных единиц – по типу определения в пространстве состояний; на уровне элементов – по типу выбора из перечислений и т.п. При вариантном проектировании возможен «конкурс» типов представлений, когда одна и та же ЗП данного уровня сущности решается параллельно, на основе различных типов представлений, а окончательный выбор варианта производится на уровне сопоставления результатов полученных решений.

При решении ЗП различных объектов широко применяется вариантное проектирование. Оно реализуется за счет использования различных принципов построения или действия объекта данной ЗП; различных по степени полноты содержания и структуре моделей ОП для проработки каждого выбранного принципа их построения; различных методов формирования и параметризации каждой из выбранных моделей ОП.

Остановимся на постановке задач синтеза. Прежде всего остановимся на типах задач синтеза сети. При синтезе сетей передачи информации считают, что конструкционные константы (образующие непродуцируемые компоненты, используемые для построения конфигураций, подсетей и сетей в целом) не известны, и соединения между компонентами не установлены [10].

Рассмотрим постановку общей задачи синтеза сети. С общих позиций задача может быть сформулирована следующим образом.

Пусть даны определенные требуемые характеристики поведения сети передачи информации, и задача состоит в нахождении соотношения, которое должно существовать между компонентами будущей сети передачи информации, представляемой конфигурациями для решения конкретных задач, чтобы сеть работала требуемым образом. Эти соотношения между компонентами в конфигурации и сети в целом в соответствии с введенным выше определением будем называть «критерием эффективности» или «критерием требуемого поведения». Каждая конфигурация имеет свой тип критерия, определяемого ее составом и структурой.

В качестве образующей базы решения задачи синтеза любой сети используем то направление тензорного анализа, которое основал Г. Крон [1].

Для синтеза сети введем тензор синтеза C'_σ или как его компоненты тензор соединения или тензор преобразования, который занимает особое место среди тензоров, отождествляемых с компонентами этой сети.

На базе введенных понятий отметим, что теорией этих сетей является теория тензора преобразования C'_α . Фундаментальная подобность сетей, описываемых тензором C'_α , позволяет высказать предположение о существовании математического и физического подобия в технологии проектирования этих сетей и ее базовой составляющей – синтеза сети.

Для создания метода синтеза, описывающего проектирование сетей передачи информации, как многообразные преобразования набора образующих на этапах решения частных задач синтеза. Решением задачи будем называть способ получения заданного результата.

Математическая формулировка общей задачи синтеза обеспечивается следующей гипотезой, выдвинутой профессором Коптевым А. Н. [3], трансформируемой для целей данной работы следующим образом.

Процесс синтеза любой сети передачи информации есть процесс преобразования заданного пространства компонентов в пространство, состоящее из подпространств для решения конкретных задач, который может быть представлен тензорным уравнением, описывающим изменения пространства-структуры, в которое вложены как образующие, так и их соединения для реализации конкретной цели.

Таким образом, под процессом решения задачи синтеза или эквивалентным ему понятием процесса проектирования (ПП) будем понимать совокупность последовательно меняющихся состояний задачи, а значит, моделей объекта проектирования, рассматриваемых в прямой связи с действиями, реализующими эти изменения, в основе которых лежит представление о пространственной структуре.

Основы теории представлений ЭТОЛА можно записать с помощью следующего математического формализма.

В теории представлений все пространство в целом – континуальное множество точек N . Однако носителем физических свойств этого пространства служит дискретное подмножество M , каждая точка которого является не только геометрической, но и вещественной

$$N = S_q \cup M_q; S_q \cap M_q = \emptyset; q = 1, 2, 3, \quad (7)$$

где S_q – подмножество, дополнительное к M_q ; \emptyset – пустое множество.

Индекс q имеет следующий смысл. Описание всего пространства через подпространства S_1 и M_1 оказывается только необходимым, но недостаточным, так как связность подпространства нарушается тем, что дополняется подпространством M_1 . Подпространство объекта, системы самолета или производства состоит из конечного множества точечных, дискретно расположенных компонент, каждая из которых представляет собой реальный элемент этого объекта, системы производства, обладающий конкретными специфическими свойствами. Описание этих специфических свойств компоненты требует ввода подпространства компонент, которое является дополнительным как к подпространству S_1 , так и к M_1 . Следовательно, для описания точки опорного пространства – компоненты в теории представлений производится такое переопределение координат этой компоненты, при котором дополнительное пространство (S_2 и M_2) описывается уже другой n -матрицей и другим геометрическим комплексом, т.е. становится другим, хотя по-прежнему евклидовым R^3 пространством. После описания каждой компоненты объекта или системы рассматривается единое подпространство компонент – свободное пространство объекта, системы, производства.

Сходное положение наблюдается и с описанием в третьем подпространстве с той (существенной) разницей, что в нем рассматриваются не только компоненты объекта или системы, или производства, а единое пространство различных цепей, в котором соединение узлов компонент – структура – задает само пространство этих цепей, размерность которого определяется числом линейно-независимых путей распространения в этой структуре информационных, материальных и энергетических потоков. Таким образом, каждое из континуальных подпространств S_q и дискретных M_q заполняет все пространство N , но в областях, принадлежащих дополнительным подпространствам, рассматривается только аналитическое продолжение данного подпространства.

Следовательно, принцип «дополнительности» отображен рядами дополнительных одна к другой величин, характеризующих объект или систему ЛА и производство его компонент в различных подпространствах. Каждый ряд физических величин, имеющих один и тот же смысл, выражен n -матрицей, а путь для электрических сигналов в геометрическом (топологическом) смысле представляет собой кривую, составленную из некоторого числа симплексов.

Одновременное рассмотрение всех характеризующих объект или систему величин, возможно лишь очень небольшим числом n -матриц. Организация этих величин в n -матрицы позволяет вводить новые дополнительные понятия в теории представлений ЭТО ЛА, само существование которых определяется этой организацией. С помощью n -матриц систематическим обозначением устанавливаются соотношения между известными величинами, удовлетворяющие некоторому критерию и обеспечивающие требуемое поведение объекта или системы ЭТО ЛА.

Суть применения топологии и тензорного анализа сетей в предлагаемой теории представлений заключается в следующем. Все различные объекты, системы ЛА, производства рассматриваются как проекции обобщенных объекта, системы, производства в частных системах координат пространства, структура которого различна и усложняется в зависимости от этапа их представления: для этапа макропредставления и представления компонент обычное, евклидово и дискретное, для представления различных цепей – пространство-структура. Математический аппарат теории допускает существование в пространстве нескольких взаимно и последовательно ограниченных дополнительных

одно к другому подпространств $S_1 \cup M_1, S_2 \cup M_2, S_n \cup M_n$. Набор таких подпространств, достаточный для полного описания пространств в задачах изготовления деталей, сборки, монтажа, контроля и испытаний объектов, систем ЛА или отдельных участков производства и производства в целом, обозначен $S_q \cup M_q$. Число подпространств, необходимое для полного описания N , определяется одним критерием: последнее из них ($S_n \cup M_n$) должно описывать все соединения компонент, т.е. отражать сетевую структуру рассматриваемых объектов, систем, производств.

Введем в теорию представлений основные математические объекты и соотношения, устанавливаемые между ними для решения теоретических и практических задач. Предложенная выше методика представления опирается на эволюцию их представления от совокупности точек до совокупности точек, связанных структурой отношений. Структура отношений, развиваясь, переходит в понятие «пространство сетей», т.е. физически – в пространство-структуру. Оно включает компоненты сети, соединенные тем или иным способом. Это пространство, с одной стороны, дискретно, поскольку оно существует только вдоль выделенных каналов – геометрических линий, помещенных в обычное геометрическое пространство. Геометрические линии и последовательности линий образуют в этом пространстве пути, по которым распространяются информационные, материальные потоки и потоки энергии. Тогда, с точки зрения геометрии, объектами этого пространства, его линиями, состоящими из точек, являются пути.

В теории представлений для решения задач, связанных со структурами, состоящими из соединенных элементов, будем пользоваться методами комбинаторной топологии и теории гомологии [5].

В связи с этим введем топологические эквиваленты понятий, связанных со структурами ЭТО. Для изучения геометрических свойств объектов или систем будем рассматривать их как объединение очень простых элементарных фигур – симплексов. При этом узлам – монтажным точкам ЭС будем ставить в соответствие нульмерный симплекс $[\alpha_0]$; стропу, соединяющему два узла – одномерный симплекс $[\alpha_0, \alpha_1]$, а цепи – формально составленную сумму ориентированных одномерных симплексов

$$C^1 = a_1 S_1^1 + a_2 S_2^1 + \dots + a_\alpha S_\alpha^1, \quad (8)$$

где $S_1^1, S_2^1, \dots, S_\alpha^1$ – одномерные ориентированные симплексы, $a_1, a_2, \dots, a_\alpha$ – целые числа, связанные с конкретными компонентами.

Последовательность (8) представляет собой линейную комбинацию переменных $S_1^1, S_2^1, \dots, S_\alpha^1$ с коэффициентами $a_1, a_2, \dots, a_\alpha$. Умножение симплекса на -1 означает изменение его ориентации, т.е. $-1[\alpha_0, \alpha_1] = [\alpha_1, \alpha_0]$. Следует заметить, что выражение (8) представляет собой коммутативную (абелеву) группу.

Границей одномерного симплекса $S = [\alpha_0, \alpha_1]$ называется нульмерная последовательность

$$\partial S = \alpha_1 - \alpha_0, \quad (9)$$

а граница последовательности (3.3) определяется формулой

$$\partial C^1 = \sum_{i=1}^{i=\alpha} a_i \partial S_i^1. \quad (10)$$

Операция определения границы представляет собой гомеоморфизм, преобразующий группу одномерных последовательностей в группу нульмерных последовательностей. Следовательно, рассматривая подмножество R компонент системы F и обозначив через R^* последовательность вида

$$R^* = \sum_{r \in R} r_i, \quad (11)$$

дадим определение цепи через топологические понятия.

Если для подмножества R элементов топологической системы F справедливы условия

$$\partial R^* = \alpha_i - \alpha_j; \partial r_i = 0, \quad (12)$$

где $R^* = \sum_{r_i \in R} r_i$, $\alpha_i \in \alpha_l R$, $\alpha_j \in \alpha_p R$, и где $\alpha_l R$ есть элемент левосторонней области (вход), а $\alpha_p R$ –

элемент правосторонней области (выход), то множество R называется цепью системы F . Геометрическое изображение пути есть граф, в котором каждый симплекс – ребро, соединяющее вершины α_i и α_j .

Топологическим эквивалентом сети объекта или системы является комплекс (K) , т.е. совокупность одномерных симплексов, обладающая определенными свойствами [7].

Множество цепей с произвольными целыми коэффициентами α_α представляет собой объект или систему ЭТО ЛА и составляет группу цепей по сложению

$$C^1(K) = \sum_v \left\{ \sum_{k=1}^{\alpha} a_k S_k^1 \right\}. \tag{13}$$

В теории представлений ЭТО рассматриваются только детерминированные объекты, которые можно представить как упорядоченные пары

$$A = \langle S, f \rangle \tag{14}$$

множества S одномерных симплексов и описывающей функции f . Для определения многозначной функции f со значениями из множества z натуральных чисел поставим в соответствие множества S и z :

$$f: S \rightarrow z. \tag{15}$$

Откуда следует, что функция f ставит в соответствие симплексам $S_i \in S$ натуральные числа z_i

$$f(S_i) = z_i, \tag{16}$$

т.е. каждому симплексу соответствуют различные числа z_i .

Топологический эквивалент объекта ЭТО, для которой определена описывающая функция f , при решении практических задач анализа этих объектов будем называть детерминированным графом или просто графом объекта или системы ЭТО ЛА.

Совокупности симплексов произвольной размерности S^n (двухмерных, трехмерных) обладают теми же свойствами, что и совокупности одномерных симплексов, они также позволяют изучать сложные фигуры теми же методами, которые использовались для изучения фигур, построенных из одномерных симплексов. Цепи размерности n в комплексе – это функция, которая каждому n -мерному симплексу S_k^n ставит в соответствие целое число a_k , причем $a_k \neq 0$ лишь для конечного числа симплексов S_k^n . А формальная линейная сумма – это лишь удобный вид записи цепи. При этом сумма двух цепей определяется как сумма двух линейных форм. Использование абстрактных структур, состоящих из абстрактных симплексов с абстрактным отношением инцидентности $S_i^n > S_i^{n-1}$, если $(n - 1)$ -мерный симплекс входит в состав границы симплекса S_i^n , которое порождает во множестве симплексов упорядоченность, для моделирования ЭТО ЛА позволяет решить ряд очень сложных задач [11].

Рассмотрим построение формализма синтеза сети как некоторой регулярной структуры (РС). Формализм для описания синтеза РС нуждается в некоторой математической процедуре. Он должен обладать достаточной общностью для того, чтобы можно было применять ко всем тем многочисленным разновидностям РС, которые будут встречаться, но такой формализм должен обладать и гибкостью, обеспечивающей удобство пользования им, а также возможность опираться на его понятийную систему. Такой формализм не будет решать за нас задачи, но поможет точно сформулировать их, выделяя общие свойства внешне различных образующих сети (ОС). Следовательно, речь идет о построении некоторых объектов, в частности сетей, посредством комбинирования заданных объектов (образующих) в соответствии с определенными правилами их построения.

Правила ограничивают произвольность схем и конструкций из них: чем строже правила, тем жестче оказываются получаемые в результате их применения РС.

Как правило, при синтезе РС сети передачи информации используются геометрические образы, когда объектами служат множества, представляющие конкретные образующие, определяемые заданными правилами.

При синтезе сети встречаемся, прежде всего, с топологией структуры связей, которая представляется в явном виде. Различные понятия, которые введены выше, необходимо связать между

собой, т.е. для создания общего метода синтеза виртуальных сетей необходимо, чтобы его основные понятия естественно были согласованы друг с другом.

Примером, иллюстрирующим, что, собственно, мы имеем в виду, служит классическое понятие топологической группы. Топологическая группа – это не просто некоторое топологическое пространство – это пространство, на котором определена операция группы. Кроме того, необходимо, чтобы групповая операция была непрерывна относительно заданной топологии, т.е. алгебраические и топологические свойства связаны между собой.

Подобным же образом при формализации таких понятий, как «образующая», «конфигурация», «изображение» и т.д., должны быть согласованы, например, отношение связей соотносится с преобразованиями подобия посредством условия его A – инвариантности (инвариантности относительно группы преобразований подобия [1]). Будет встречаться и множество других ситуаций, когда будем стараться объединить различные теоретические требования в единую теорию метода.

Анализ большинства сетей как регулярных структур обладают тем общим свойством, что они сформулированы на математическом языке – логических методов анализа и синтеза схем, тензорном методе двойственных сетей.

Во-первых, очевидно, что все эти сети построены из некоторых элементарных объектов; т.е. атомистичны по своей природе. Сами эти объекты в различных конкретных случаях обладают различными математическими свойствами в соответствии с понятием «сходства», состоящем в том, что два объекта, в сущности, одинаковы, хотя не обязательно идентичны.

Во-вторых, эти объекты соединены друг с другом некоторым специальным способом, который иногда представляется схемой, описывающей топологию соединений. Существенность отдельных связей на множестве введенных соединений определяется специальными правилами. Можно сказать, что такие структуры являются комбинаторными.

В-третьих, комбинация объектов, построенным в соответствии с определенными правилами, придается путем введения идеального наблюдателя некоторая интерпретация. Интерпретация, или значение, комбинации зависит от точки зрения наблюдателя, т.е. от того, каким образом он ее воспринимает.

И наконец, в-четвертых, реальные сети и, как следствие, их образы могут концептуально отличаться от только что упомянутых идеальных и, следовательно, характер соответствия между реальными и идеальными образами должен быть точно определен. Наше обсуждение до сих пор носило концептуальный характер, и мы лишь спорадически пользовались математическим формализмом.

Теперь переключимся на математическую формализацию регулярных структур. Такая формализация, выполняемая с помощью точно определенного языка, является необходимым предварительным этапом математического синтеза регулярных структур.

При построении формализма образов и при изучении соответствующих структур необходимо пользоваться анализом регулярных структур в многочисленных конкретных ситуациях на базе теории образов и ее направлений, сформулированных У. Гренандером [11].

Библиографический список

1. Крон, Г. Тензорный анализ сетей / Г. Крон. – Москва : Совет. радио, 1978. – 720 с.
2. Multicriteria Selection of the Optimal Variant of a Complex System Based on the Interval Analysis of Fuzzy Input Data / A. Grishko, E. Danilova, I. Rybakov, E. Lapshin, N. Goryachev, N. Yurkov // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT) Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. – 2018. – P. 1–7. – DOI 10.1109/MWENT.2018.8337237
3. Юрков, Н. К. Модель оценивания риска отказа электронных средств длительного функционирования / Н. К. Юрков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2018. – Т. 1, № 1 (18). – С. 111–119.
4. Полтавский, А. В. Телекоммуникация сетевых систем на основе высотных платформ / А. В. Полтавский, З. Ф. Нгуен, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 1 (21). – С. 46–55. – DOI 10.21 685/2307-2018-1-6
5. Goryachev, N. Modelling thermoshock influence on printed units with metal ground / N. Goryachev, N. Yurkov, E. Danilova // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018 (Sochi; Russian Federation; September 2018). CFP18RUS-ART; Код 141326. – Sochi, 2018.
6. Смогунов, В. В. Инженерия алгоритмов и моделей наноразрушений гетероструктур / В. В. Смогунов, Н. С. Кузнецов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 1 (21). – С. 10–20. – DOI 10.21 685/2307-2018-1-2

7. О некоторых проблемах надёжно-ориентированного проектирования бортовых РЭС / С. И. Фролов, Н. В. Горячев, Г. В. Таньков, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков // *Надёжность и качество сложных систем.* – 2017. – № 2 (18). – С. 3–8. – DOI 10.21685/2307-4205-2017-2-1.
8. Смогунов, В. В. Модели динамики гетероструктур электроэнергетики / В. В. Смогунов, Н. С. Кузнецов, Н. К. Юрков // *Надёжность и качество сложных систем.* 2017. – № 3 (19). – С. 25–32. – DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-4.
9. Коптев, А. Н. Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования летательных аппаратов / А. Н. Коптев, А. А. Миненков, Б. Н. Марьин, Ю. Л. Иванов. – Москва : Машиностроение, 1998. – 296 с.
10. Артамонов, Д. В. Математическое моделирование динамики гетерогенной структуры электронного блока при ударном воздействии / Д. В. Артамонов, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // *Надёжность и качество сложных систем.* – 2017. – № 3 (19). – С. 18–24. – DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-3.
11. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Т. 1: Синтез образов / У. Гренандер. – Москва : Мир, 1979. – 383 с.

References

1. Kron G. *Tenzornyy analiz setey* [Tensor analysis of networks]. Moscow: Sovet. radio, 1978, 720 p. [In Russian]
2. Grishko A., Danilova E., Rybakov I., Lapshin E., Goryachev N., Yurkov N. *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT) Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* 2018, pp. 1–7. DOI 10.1109/MWENT.2018.8337237
3. Yurkov N. K. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Bulletin of St. Petersburg state University of civil aviation]. 2018, vol. 1, no. 1 (18), pp. 111–119. [In Russian]
4. Poltavskiy A. V., Nguen Z. F., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 1 (21), pp. 46–55. DOI 10.21 685/2307-2018-1-6 [In Russian]
5. Goryachev N., Yurkov N., Danilova E. *International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018 (Sochi; Russian Federation; September 2018). CFP18RUS-ART; Kod 141326.* Sochi, 2018.
6. Smogunov V. V., Kuznetsov N. S., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 1 (21), pp. 10–20. DOI 10.21 685/2307-2018-1-2 [In Russian]
7. Frolov S. I., Goryachev N. V., Tan'kov G. V., Kochegarov I. I., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2017, no. 2 (18), pp. 3–8. DOI 10.21685/2307-4205-2017-2-1. [In Russian]
8. Smogunov V. V., Kuznetsov N. S., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2017, no. 3 (19), pp. 25–32. DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-4. [In Russian]
9. Koptev A. N., Minenkov A. A., Mar'in B. N., Ivanov Yu. L. *Montazh, kontrol' i ispytaniya elektrotekhnicheskogo oborudovaniya letatel'nykh apparatov* [Installation, control and testing of electrical equipment of aircraft]. Moscow: Mashinostroenie, 1998, 296 p. [In Russian]
10. Artamonov D. V., Litvinov A. N., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems]. 2017, no. 3 (19), pp. 18–24. DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-3. [In Russian]
11. Grenander U. *Leksii po teorii obrazov. T. 1: Sintez obrazov* [Lectures on the theory of images. Vol. 1: Synthesis of images]. Moscow: Mir, 1979, 383 p. [In Russian]

Куатов Бауржан Жолдыбаевич

доктор PhD, доцент,
заместитель начальника по учебной
и научной работе,
Военный институт Сил воздушной обороны
Республики Казахстан им. Т. Я. Бегельдинова
(463024, Казахстан, г. Актобе пр. А. Молдагуловой, 16)
E-mail: kuatov.baurjan@mail.ru

Коптев Анатолий Никитович

доктор технических наук, профессор,
кафедра эксплуатации авиационной техники,
Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)
E-mail: eat@ssau.ru

Kuatov Baurzhan Zholdybaevich

PhD, associate professor,
deputy chief for academic and scientific works,
Air Defense Forces of the Military Institute
of the Republic of Kazakhstan
named after T. Y. Begeldinov
(463024, 16 A. Moldagulova avenue, Aktobe, Kazakhstan)

Koptev Anatoly Nikitovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of aviation maintenance technology,
Samara national research University
named after academician S. Korolev
(443086, 34 Moskovskoye highway, Samara, Russia)

Куртаев Сабит Жанбулатович

аспирант,
Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)
E-mail: sabit5@mail.ru

Kurtaev Sabit Janbulatovich

postgraduate student,
Samara national research University
named after academician S. Korolev
(443086, 34 Moskovskoye highway, Samara, Russia)

Мясникова Юлия Вадимовна

аспирант,
Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)
E-mail: eat@ssau.ru

Myasnikova Julia Vadimovna

postgraduate student,
Samara national research University
named after academician S. Korolev
(443086, 34 Moskovskoye highway, Samara, Russia)

УДК 621.3

Куатов, Б. Ж.

Задача синтеза модели для контроля и диагностики при производстве электротехнического оборудования летательных аппаратов / Б. Ж. Куатов, А. Н. Коптев, С. Ж. Куртаев, Ю. В. Мясникова // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 1 (25). – С. 77–87. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-1-9.